

Г. Б. Белоцерковский · РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ УСТРОЙСТВА

Г. Б. БЕЛОЦЕРКОВСКИЙ

# РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ УСТРОЙСТВА

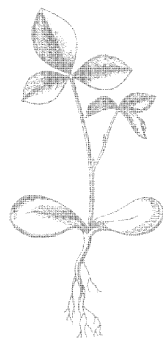
ОБОРОНЛIT  
1961

Г. Б. БЕЛОЦЕРКОВСКИЙ

# РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ УСТРОЙСТВА

*Допущено  
Министерством высшего и среднего специального образования СССР  
в качестве учебного пособия для техникумов*

ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
ОБОРОНГИЗ  
Москва 1961



Scan AAW

---

В книге описаны общие принципы работы, электрические схемы и конструктивные особенности нескольких образцов наземных и самолетных радиолокационных станций различного назначения.

При этом автор не ограничивается простым описанием выбранных образцов аппаратуры, а расширяет сведения о них на основе анализа характеристик и параметров станций, критической оценки и сопоставления различных вариантов их схем и конструкций.

В итоге читатель получает комплекс знаний, позволяющих ему самостоятельно изучать любое современное радиолокационное устройство.

В книге рассматриваются наземные станции обнаружения и наведения, станции оружейной наводки, особенности самолетных радиолокационных станций, самолетные радиовысотометры и дальнометры, станции для навигации и слепого бомбометания.

Книга рассчитана на учащихся техникумов и является учебным пособием по курсу, аналогичному названию книги. Вместе с тем она будет полезна для инженерно-технического персонала промышленности.

---

Рецензент канд. техн. наук доцент А. Г. Сайбель

Редактор канд. техн. наук П. О. Салганик

---

Зав. редакцией инж. С. Д. Красильников

# Замеченные опечатки

Стр.	Строка	Напечатано	Следует читать
15	9 снизу	приемника	передатчика
79	8 сверху	$R_{0e} = \rho Q = \frac{\rho}{\omega C}$	$R_{0e} = \rho Q = \frac{Q}{\omega C}$
122	7 сверху	$(U_{k_1} = U_k)$	$(U_{k_1} = U_{k_2})$
	16 снизу	электромагнитный	электромашинный
129	2 сверху	$U_{m \text{ вых}} = U_{m \text{ вых}}$	$U_{m \text{ вых}} = U'_{m \text{ вых}}$
132	24 сверху	0,1	0,01
143	20 снизу	350 в	300 в
164	20 снизу	C733	R733
165	16 сверху	затухания	запираания
257	10 сверху	11 111	11111
		1010 011	1010011
		0001 111	0001111
282	4 сверху	$H = \frac{G\lambda_0^2}{8\pi} \sqrt{\frac{P_{\text{н}}}{P_{\text{с}}}}$	$H = k_0 \frac{G\lambda_0}{8\pi} \sqrt{\frac{P_{\text{н}}}{P_{\text{с}}}}$
292	25 сверху	шкале	частоте
326	12 сверху	Л2А, Л2Б	Л3А, Л3Б
376	на фиг. 209, б	$i_{g2} - i_{g4}$	$i_{g2} + i_{g4}$
418	14 снизу	2	Z



---

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Книга составлена на основе материалов, опубликованных в открытой печати, преимущественно иностранной. Цель книги — подготовить учащихся к самостоятельному изучению любого современного радиолокационного устройства.

Перед рассмотрением каждой конкретной радиолокационной станции приводится общая характеристика станций данного типа, отмечаются особенности и основное направление в их развитии. При изучении конкретных образцов устройств дается обоснование выбранных для них схем и конструкций блоков, а в ряде случаев приводятся описания других более совершенных схем и конструкций.

Опыт преподавания курса «Радиолокационные устройства» в техникумах, особенно где обучение ведется без отрыва от производства, показал, что поскольку радиолокационные станции сочетают в себе различные радиотехнические устройства, то в данном курсе необходимо закрепить и развить знания учащихся по смежным радиотехническим дисциплинам. Это тем более важно, что при изучении радиолокационных станций различные радиотехнические устройства рассматриваются во взаимодействии, и происходящие в них процессы усваиваются особенно успешно. Вот почему в книге нередко приводятся основные положения по радиотехническим дисциплинам.

Автор выражает глубокую благодарность канд. техн. наук П. О. Салганику, канд. техн. наук А. Г. Сайбелю и инж. Е. И. Зиземскому за обстоятельный разбор рукописи и замечания, направленные на улучшение ее.

Отзывы о книге просьба направлять по адресу: Москва, И-51, Петровка, 24, Оборонгиз.

---

---

## ВВЕДЕНИЕ

### § 1. НАЗНАЧЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ И ИМПУЛЬСНЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ

Радиолокационные и импульсные радионавигационные станции по назначению и принципу действия имеют много общего. В данном курсе преимущественно рассматриваются радиолокационные станции, а об импульсных радионавигационных станциях приводятся лишь некоторые данные. Начнем с классификации всех этих устройств.

#### А. Радиолокационные станции

*Радиолокационными станциями (радиолокаторами) называются устройства, которые предназначены для обнаружения и определения местонахождения различных объектов наблюдения по отраженным от них радиосигналам.* Многие станции, кроме того, выполняют функции опознавания объектов по характерным для них признакам.

Радиолокаторы классифицируются по их назначению и различным техническим характеристикам.

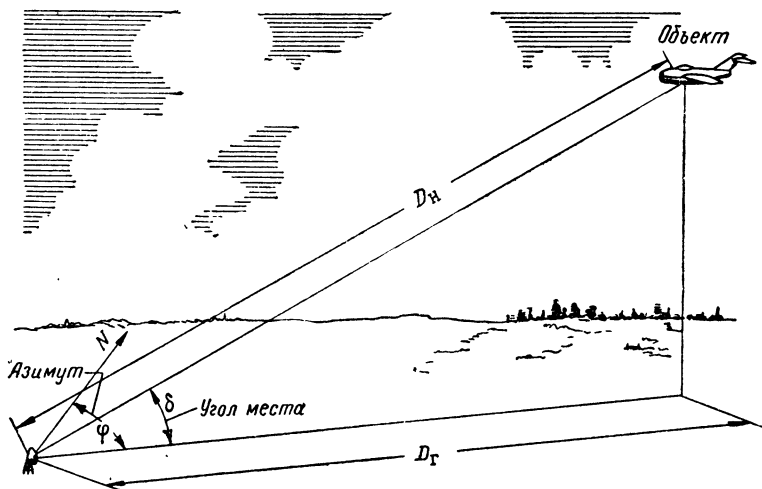
Одной из таких характеристик является вид излучаемых станцией радиосигналов. С этой точки зрения различают станции, работающие при непрерывном или импульсном излучении.

Другой характеристикой для классификации радиолокаторов служит количество измеряемых им координат. Такими координатами могут быть наклонная дальность  $D_n$ , азимут  $\varphi$  и угол места  $\delta$  (фиг. 1). Наклонная дальность  $D_n$  определяется как кратчайшее расстояние между радиолокационной станцией и объектом. Угол места  $\delta$  — угол между линией, соединяющей радиолокатор с объектом, и ее проекцией на горизонтальную плоскость, а азимут  $\varphi$  — угол между этой проекцией и направлением на север или другим условным направлением. Следовательно, направление от станции на объект определяется в горизонтальной плоскости азимутом, а в вертикальной — углом места.

Радиолокационные станции различают также по месту их установки. Существуют наземные, корабельные и самолетные радиолокаторы. Наземные радиолокаторы разделяются на стационарные и подвижные, аэродромные и береговые.

Кроме того, радиолокаторы классифицируются еще и по диапазону волн, в котором они работают, по типу применяемого в них индикатора, по схеме радиоприемника и т. д. Важнейшей из всех характеристик радиолокационной станции является ее назначение.

Приведенный далеко не полный перечень характеристик и признаков, по которым можно различать радиолокационные станции, показывает, насколько сложна их полная классификация. Учитывая это обстоятельство, целесообразно пользоваться сокращенной классификацией радиолокаторов, основанной на наиболее общих их призна-



Фиг. 1. Координаты, определяемые радиолокационной станцией.

ках. К этим признакам относятся место установки, назначение станции и количество определяемых ею координат.

Действительно, назначение радиолокатора является более общим признаком, чем, например, вид излучаемых им радиосигналов, так как радиолокатор одного и того же назначения может работать по импульсному методу или на принципе эффекта Доплера—Белопольского. При этом могут быть использованы и частотно-модулированные сигналы. Насколько общим является понятие «место установки станции», видно из того, что в группу наземных станций входят и подвижные (наземные), и аэродромные, и береговые радиолокаторы. Количество координат, измеряемых станцией, так же как назначение и место установки, является очень важной характеристикой станции. Таким образом, при определении типа станции целесообразно ограничиться указанием ее назначения, места установки и числа измеряемых ею координат. Классификация, составленная по такому принципу, приведена на фиг. 2. Эта классификация, общая для многих стран, требует некоторых пояснений.

По месту установки, как было сказано, радиолокационные станции делятся на наземные, корабельные и самолетные.



*Наземные станции* в свою очередь делятся по назначению следующим образом.

Станции дальнего обнаружения самолетов. Эти станции являются первым звеном в системе противовоздушной обороны. Они должны обнаруживать самолеты и управляемые снаряды противника на максимально далеком расстоянии (сотни, тысячи километров) и ориентировочно устанавливать координаты этих объектов (дальность, азимут, а иногда и высоту).

Дальность действия станции должна быть возможно большей, чтобы в последующих звеньях системы ПВО обнаруженная ею воздушная цель была своевременно обезврежена.

Точность определения координат может быть невысокой, но достаточной для быстрого обнаружения целей другими станциями, предоставляемыми истребительной авиацией и зенитной артиллерии.

Станции обнаружения и наведения самолетов. Сведения, полученные от станции дальнего обнаружения, обычно недостаточны для наведения на цель истребительной авиации ПВО. При больших современных скоростях полета обстановка в воздухе изменяется столь быстро, что даже в случае хорошей визуальной видимости летчику-истребителю требуется дополнительное более точное целеуказание.

Эта задача разрешается станциями обнаружения и наведения, которые на основании данных, полученных от станций дальнего обнаружения или независимо от них, обнаруживают самолеты противника и с достаточной точностью определяют все три их координаты, сообщая необходимую информацию по радио своим истребителям.

В целях увеличения точности измеряемых координат максимальную дальность действия станций наведения самолетов обычно ограничивают величиной порядка 200—300 км.

Станции орудийной наводки. Для управления зенитными орудиями прежде всего требуется точное знание текущих координат цели. Эти координаты определяются станцией орудийной наводки и автоматически вводятся в ПУАЗО (прибор управления артиллерийскими зенитными орудиями), в котором имеется счетно-решающее устройство, учитывающее, кроме текущих координат, поправки на ветер, на атмосферное давление, на взаимное расположение радиолокационной станции и зенитных орудий, скорость объекта и др. факторы. Вычисленные счетно-решающим прибором упрежденные координаты через аппаратуру синхронной связи передаются на зенитные орудия для наведения их на цель.

Текущие координаты цели станция орудийной наводки вырабатывает в режиме сопровождения (слежения). Различают ручное, полуавтоматическое и автоматическое сопровождение цели. В последнем случае слежение за целью происходит без участия оператора, что крайне важно в современных условиях, когда самолеты, а тем более управляемые ракеты и снаряды движутся с огромной скоростью.

Режиму сопровождения предшествует режим поиска, в котором

производится обнаружение цели. Для ускорения поиска операторы станций орудийной наводки используют ориентировочные координаты, полученные станциями дальнего обнаружения или дополнительными станциями целеуказания.

Максимальная дальность действия станции орудийной наводки в режиме поиска составляет несколько десятков километров, а в режиме сопровождения — несколько меньше.

Станции обнаружения кораблей — двухкоординатные (местоположение корабля полностью определяется дальностью и азимутом). Эти станции, естественно, устанавливаются на берегу и имеют целью обнаружить корабли противника для подготовки береговых батарей к обороне. Ведение огня береговыми батареями ведется с помощью дополнительных станций, которые рассчитаны на режимы поиска и автоматического сопровождения. Во втором режиме текущие координаты объектов определяются с высокой точностью.

Станции наведения ракет. Эти станции, как и радиолокационные взрыватели, применяют во многих армиях мира. Назначение станций — наведение ракет с земли на воздушные цели.

Станции наведения прожекторов. Для эффективного действия прожекторов как средств ПВО весьма важно, чтобы они в первый же момент включения были направлены на самолет противника и тем самым затруднили экипажу самолета выполнение защитных маневров. При решении этой задачи большую помощь прожекторным войскам оказывают радиолокационные станции наведения прожекторов. Станции указывают дальность и угловые координаты воздушной цели. В данном случае основными являются угловые координаты, а дальность может быть определена весьма приближенно.

Радиолокационные наземные средства иностранных армий включают также миниатюрные радиолокационные устройства, которые помещаются в снарядах зенитных орудий, — радиолокационные взрыватели. В головке такого снаряда находится антенна, излучающая радиоволны. Если на некотором расстоянии от снаряда появляется воздушная цель, то цель облучается этими волнами и отражает их от себя. Отраженные от цели волны принимаются той же антенной, а затем усиливаются и преобразуются радиовзрывателем таким образом, что взрыв снаряда происходит на расстоянии, обеспечивающем поражение цели.

Обычные взрыватели дистанционного типа взрывают снаряд на заданной дистанции, а потому они уступают радиолокационным взрывателям в эффективности стрельбы.

*Корабельные радиолокационные станции*, по материалам иностранной печати, делятся на:

- 1) станции обнаружения самолетов,
- 2) станции наведения самолетов,
- 3) станции орудийной наводки,

- 4) станции обнаружения кораблей,
- 5) станции управления торпедной стрельбой.

Первые четыре вида станций в основном аналогичны одноименным наземным станциям. Отличия определяются условиями монтажа и эксплуатации станции на корабле. Например, на работу корабельных станций существенное влияние оказывают качка корабля и ограниченные возможности в размещении аппаратуры и особенно их антенн. Эти условия отражаются не только на конструкции, но и на тактико-технических данных станций.

Назначение станций управления торпедной стрельбой — определение дальности и азимута корабля противника с необходимой точностью. Дальность действия станции небольшая и соответствует дальности действия торпедного оружия.

*Самолетные радиолокационные станции* по назначению можно классифицировать следующим образом.

*Радиовысотомеры*, предназначенные для определения одной координаты — высоты полета. Существуют радиовысотомеры малых и больших высот. Точность определения высоты должна быть по возможности высокой, особенно в радиовысотомерах малых высот.

*Радиодальномеры*, устанавливаемые на истребителях. Их назначение — определение с высокой точностью дальности до самолетов противника, находящихся в передней полусфере наблюдения истребителя. Индикатор в этой станции совмещен с оптическим прицелом. С помощью оптического прицела летчик имеет возможность направить самолет на воздушную цель, а с помощью радиодальномера — своевременно открыть по ней огонь.

Станции перехвата и прицеливания. Эти станции также устанавливаются на истребителях. Если летчик-истребитель ведет воздушный бой при плохой видимости, то станций наведения может быть недостаточно для обнаружения и преследования самолетов противника. В таких условиях на помощь приходят трехкоординатные станции перехвата и прицеливания. Эти станции работают в режиме поиска и в режиме сопровождения. Вначале производится поиск, а затем, когда истребитель достаточно сблизится с целью, станция переключается в режим автоматического сопровождения цели. Выходные данные станции вводятся в счетно-решающее устройство, которое вносит поправки, учитывающие условия ведения стрельбы. Это позволяет летчику атаковать самолет и вести по нему прицельный огонь, следя лишь за показаниями радиолокационного прицела или дублирующего его оптического прицела.

Станции для навигации и слепого бомбометания устанавливаются как на пассажирских и транспортных самолетах, так и на бомбардировщиках. В последнем случае их называют радиолокационными бомбоприцелами, так как они могут быть использованы для слепого бомбометания. Назначение этих станций — создание на индикаторе кругового обзора своеобразной карты местности, над которой летит самолет. По индикатору штурман или оператор имеет возможность установить азимут и дальность наземных и надводных объектов.



Полученные координаты и другие данные (скорость ветра, параметры бомбы и т. д.) вводятся в счетно-решающее устройство, которое на экране индикатора вырабатывает метку бомбометания. Благодаря этому без дополнительных расчетов можно вести прицельное бомбометание в любых метеорологических условиях. Такие станции весьма полезны для целей навигации.

Станции управления стрелково-пушечным вооружением бомбардировщика. На современном бомбардировщике имеется мощное вооружение в виде подвижных пушек и пулеметов. Станции управления этим оружием, работая в режиме поиска, обнаруживают самолеты противника, а затем в режиме сопровождения определяют их текущие координаты, которые используются в счетно-решающем устройстве для выработки данных, необходимых для автоматического наведения бортового и хвостового оружия бомбардировщика.

Станции защиты хвоста (задней полусферы) самолета от противника. Задняя полусфера самолета находится вне поля зрения летчика. Поэтому иногда на самолетах устанавливают специальную радиолокационную станцию. Эта станция при появлении противника со стороны задней полусферы создает световой или звуковой сигнал, предупреждающий экипаж атакуемого самолета об опасности. При современных скоростях самолетов сигнал предупреждения малоэффективен, в связи с чем названные станции совершенствуются и на них возлагаются задачи управления огневymi средствами, расположенными в задней полусфере самолета.

Станции для предупреждения столкновения самолетов и обнаружения грозовых фронтов. Увеличение скорости самолетов и интенсивности движения воздушного транспорта увеличило опасность столкновения самолетов. Эти случаи могут быть исключены применением на самолете радиолокационной станции, рассчитанной на обзор передней его полусферы, с помощью которой определяют дальность и азимут объектов, находящихся в зоне обзора. Такие же станции могут применяться для обнаружения грозовых фронтов.

## **Б. Импульсные радионавигационные устройства<sup>1</sup>**

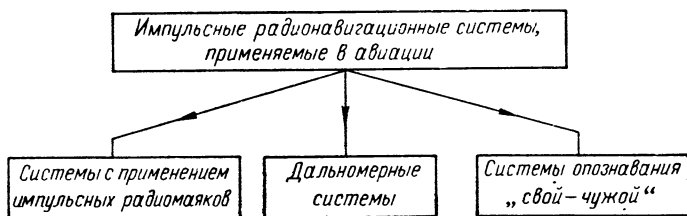
Для самолетовождения наряду с радиолокационными станциями широко применяются импульсные радионавигационные устройства. Отличительной особенностью этих устройств является то, что они неавтономны, т. е. определение координат объекта происходит путем взаимодействия их с соответствующей аппаратурой, находящейся на земле.

Приведем краткие сведения об импульсных радионавигационных системах, применяемых в авиации многих стран (фиг. 3).

---

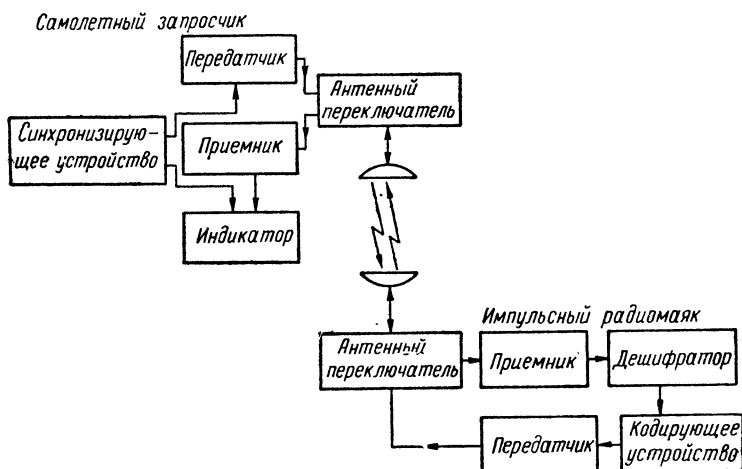
<sup>1</sup> Импульсные радионавигационные устройства. Перев. с английского под редакцией Д. Д. Дьякова. Воениздат, 1955.

Система с применением импульсных радиомаяков. В эту систему входят приемо-передающее устройство запросчика, установленного на самолете, и приемо-передающее устройство ответчика — импульсного радиомаяка, установленного на земле (фиг. 4).



Фиг. 3. Классификация импульсных радионавигационных систем, применяемых в авиации.

Синхронизирующее устройство запросчика запускает передатчик и развертку индикатора. Передатчик возбуждает в антенне радиоимпульсы с определенными параметрами. Антенна маяка принимает эти импульсы, они усиливаются и преобразуются в приемнике, после чего поступают в дешифратор, который предназначен для



Фиг. 4. Блок-схема радионавигационной системы с применением импульсного радиомаяка.

того, чтобы в следующий каскад—кодирующее устройство—пропускались лишь те импульсы, которые имеют требуемые параметры (например, определенную длительность). Кодирующее устройство формирует кодовые импульсы, которыми модулируется передатчик. Ответные импульсы маяка, пройдя через приемник самолетного запросчика, поступают в его индикатор кругового обзора. По отметке ответного импульса на экране индикатора можно судить об азимуте

и дальности самолета относительно маяка. Поскольку координаты маяка известны, можно определить местоположение самолета.

Кодирование ответных импульсов необходимо для опознавания запрашиваемого маяка и для того, чтобы избежать ошибочного приема сигналов другого маяка.

Дешифратор требуется для разгрузки маяка от связи с запросчиками, которые не должны обслуживаться данным маяком.

**Импульсные дальномерные системы.** В эти системы входят самолетная станция и две или более наземных станций. Местоположение самолета определяют путем измерения расстояния между ним и наземными станциями, координаты которых заранее известны.

В авиации применяется много различных импульсных радиодальномерных устройств. Например, имеются устройства для самоопределения и устройства так называемого «чужого» определения. В первых устройствах запросчик устанавливается на самолете, а ответчик находится на земле, благодаря чему координаты самолета измеряются непосредственно на самолете. В устройствах «чужого» определения запросчик находится на земле, а ответчик — на самолете, и координаты самолета в этом случае сообщаются его экипажу с земли.

**Наиболее употребительны системы самоопределения.**

Для облегчения отсчета координат операторы радиодальномеров пользуются картами с нанесенными на них так называемыми линиями положения. Форма этих линий может служить вторым признаком, по которому классифицируются радионавигационные системы. В авиации наиболее широко используются круговые и гиперболические радионавигационные системы.

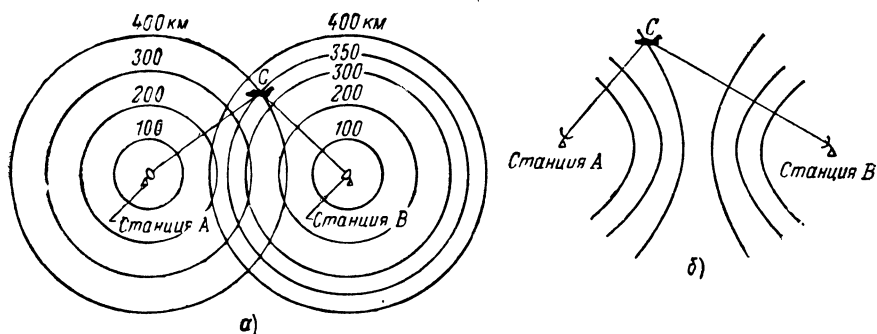
В круговых системах линии положения имеют форму окружностей, каждая из которых соответствует постоянной дальности от опорной станции (фиг. 5, а). Если, например, с помощью дальномера установлено, что самолет удален от станции *A* на 400 км, а от станции *B* на 350 км, то его местоположение на карте определяется точкой *C*, в которой пересекаются окружности соответствующих радиусов. Двухзначность отсчета устраняется дополнительной парой наземных станций или по другим навигационным приборам, грубо определяющим координаты самолета.

В гиперболических системах положение самолета определяется по разности расстояний между ним и двумя наземными станциями *A* и *B*. В таких системах линии положения имеют форму гипербол, представляющих собой геометрическое место точек, разность расстояний которых от двух других точек *A* и *B* имеет постоянную величину (фиг. 5, б).

**Системы опознавания «свой-чужой».** Эта система состоит из запросчика и ответчика. Запросчик посылает кодированные сигналы. Ответчик принимает их и направляет в дешифратор. Если кодирование импульсов соответствует коду, установленному для своих самолетов, то дешифратор пропускает поступившие импульсы и воздействует ими на кодирующее устройство, а последнее — на передатчик, в результате чего ответчик излучает кодированные

радиоимпульсы. По этим импульсам оператор запросчика убеждается в том, что ответчик «свой».

Классификация радиолокационных и радионавигационных станций, приведенная на фиг. 2 и 3, составлена в основном применительно к станциям, описываемым в настоящей книге. Поэтому классификацией не учтены радиолокационные устройства, предназначенные для метеорологической службы, радиоастрономических наблюдений, для слепой посадки самолетов и для других целей. Заметим, что некоторые станции могут совмещать в себе радиолокационное и радионавигационное устройства.



Фиг. 5. Линии положения круговых (а) и гиперболических (б) радионавигационных систем.

Области применения радиолокационной техники все более расширяются. В этом большая заслуга русских ученых.

История развития радиолокации, как и всей радиотехники, берет свое начало от изобретения радио великим русским ученым Александром Степановичем Поповым (1895 г.). Изобретатель радио обратил внимание на отражение радиоволн металлическими поверхностями (крейсером «Лейтенант Ильин»). Это явление, как известно, положено в основу радиолокации.

Для того чтобы принципы радиолокации нашли практическое применение, потребовалось более тридцати лет интенсивного развития техники радиопередающих, радиоприемных, антенно-фидерных, синхронизирующих и других радиотехнических устройств.

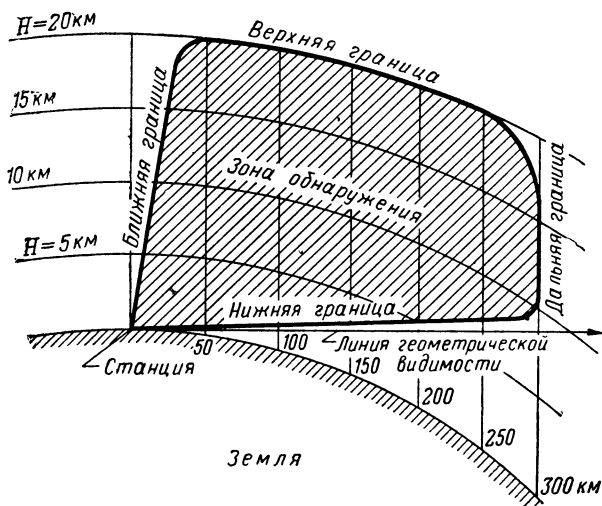
В 1932 г. М. А. Бонч-Бруевичем была разработана станция для исследования ионосферы. В основу работы станции был положен импульсный метод радиолокации. Во время советско-финской войны (1939 г.) для обороны Ленинграда от воздушных налетов использовалась станция «Ревень», основанная на применении эффекта Доплера — Белопольского. К этому времени относится также разработка первой импульсной радиолокационной станции обнаружения самолетов типа «Редут». С тех пор радиолокационная техника развивается исключительно интенсивно. Это развитие в Советском Союзе идет не только по линии укрепления обороноспособности наших Вооруженных Сил, но и в направлении всестороннего использования радиолокационной техники в народном хозяйстве.

## § 2. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ

О качестве радиолокационных станций судят не только по техническим параметрам, но и по показателям, которые определяют возможности применения станции. К таким показателям относятся:

1. Назначение станции.

2. Зона обнаружения — область пространства, в которой станция позволяет обнаружить объект и измерить его координаты с заданной точностью. Размеры зоны обнаружения зависят от метода обзора



Фиг. 6. Зона обнаружения наземной радиолокационной станции.

(кругового, спирального, винтового, пилообразного, конического) и формы диаграммы направленности.

На фиг. 6 показана возможная зона обнаружения наземной радиолокационной станции. Кривые, параллельные земной поверхности, являются линиями постоянной высоты  $H$ . Как видно из фигуры, нижняя граница зоны обнаружения несколько возвышается над линией геометрической видимости (оптическим горизонтом). Верхняя граница (потолок) определяется некоторой максимальной высотой. По мере приближения наблюдаемого объекта к зениту станции дальность ее действия уменьшается, и это определяет ближнюю границу зоны обнаружения. Что касается дальней границы зоны, то она определяется максимальной дальностью действия станции.

3. Число и наименование координат, определяемых станцией.

4. Точность измерения координат, которая зависит от назначения радиолокационной станции.

5. Разрешающая способность станции — способность отдельно наблюдать два близко расположенных объекта по их отметкам на

индикаторе. Различают разрешающую способность по дальности, численно равную минимальному расстоянию между объектами, которые расположены в одном направлении и наблюдаются раздельно, и разрешающую способность по угловым координатам, численно равную минимальной разности азимута (угла места) объектов, которые равноудалены от станции и вместе с тем наблюдаются раздельно.

6. Продолжительность одного цикла обзора пространства. Это время определяется методом обзора и скоростью движения по азимуту и углу места.

7. Время, необходимое для получения данных, вырабатываемых радиолокационной станцией.

8. Эксплуатационные данные (вес, габариты, система управления, условия размещения на объекте и др.).

9. Надежность работы. Этот качественный показатель означает, что изменения температуры, влажности, атмосферного давления, механические вибрации и другие факторы, способные нарушить работу станции, не вызывают заметного ухудшения ее качественных показателей.

10. Помехозащищенность станции. Прогресс радиолокационной техники происходит параллельно с развитием средств борьбы с радиолокацией. Поэтому одним из важнейших качественных показателей современной радиолокационной станции является ее помехозащищенность, т. е. способность станции работать при наличии помех. Иностранные специалисты делят помехи на активные и пассивные. Первые создаются специальными станциями, излучающими электромагнитные волны в спектре частот, который входит в полосу пропускания приемника. Вторые возникают в результате отражения от различных объектов, которые окружают радиолокационную станцию и вместе с тем не интересуют оператора. Средства борьбы с активными и пассивными помехами различные.

Технические показатели радиолокационных устройств находятся в прямой связи с областью их применения и методом (импульсным или непрерывным), положенным в основу работы устройства.

В радиолокации наиболее распространен импульсный метод излучения волн. Рассмотрим технические показатели основных блоков импульсной радиолокационной станции.

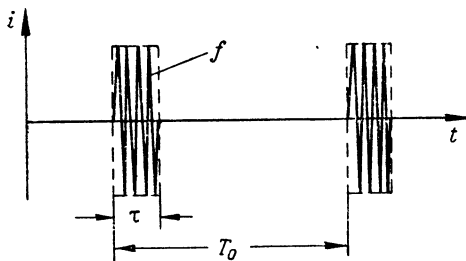
### **А. Передатчик**

К техническим показателям приемника относятся следующие.

Форма, длительность и период следования  $T_0$  (частота следования  $F_0$ ) генерируемых радиоимпульсов (фиг. 7). Желательно, чтобы огибающая радиоимпульса имела прямоугольную форму. При такой форме радиоимпульс за время  $\tau$  концентрирует в себе наибольшее количество энергии. Большая крутизна фронта и среза прямоугольного импульса позволяет с большей точностью определять координаты объекта и облегчает раздельное обнаружение близко друг к другу расположенных объектов.

Импульсы, применяемые в радиолокации, имеют длительность  $\tau$  от десятых долей до 10 и более микросекунд и частоту следования  $F_0 = \frac{1}{T_0}$  от 50 гц до 10 кц.

Несущая частота радиопульсов  $f$ . Для точного определения угловых координат объекта и увеличения максимально-го действия станции требуются остронаправленные излучение и прием радиоволн, а это можно осуществить с помощью антенн сравнительно малых размеров только в диапазоне сверхвысоких частот (СВЧ).



Фиг. 7. Радиоимпульсы.

В ряде стран в целях борьбы с активными помехами изменяют несущую частоту радиолокационной станции.

Импульсная колебательная мощность  $P_{\text{и}}$  — мощность колебаний СВЧ во время генерирования радиоимпульса.

Средняя колебательная мощность  $P_{\text{ср}}$  — средняя мощность колебаний СВЧ за период следования импульсов.

Очевидно, что средняя колебательная мощность во столько раз меньше импульсной мощности, во сколько длительность импульса меньше периода следования импульсов, т. е.

$$\frac{P_{\text{и}}}{P_{\text{ср}}} = \frac{T_0}{\tau} = q,$$

где  $q$  — скважность, численное значение которой достигает сотен — тысяч.

Средняя мощность  $P_{\text{ср}}$  в диапазоне СВЧ, согласно данным иностранной печати, достигла нескольких сот киловатт, что соответствует нескольким десяткам мегаватт импульсной мощности. Предполагается, что эти мощности достигнут соответственно 1 и 100 Мвт<sup>1</sup>.

Следует иметь в виду, что чем больше мощность передатчика, тем выше помехозащищенность станции.

К. п. д. передатчика — отношение средней колебательной мощности, поступающей на вход антенно-фидерной системы, к мощности, подводимой от источника питания передатчика.

В общем энергетическом балансе радиолокационной станции передатчик играет существенную роль, а поэтому увеличение его к. п. д. весьма желательно. Это важно не только с точки зрения экономии энергии, но и в целях уменьшения веса и габаритов источников питания.

<sup>1</sup> Холахан. Современное состояние радиолокации. Радиотехника и радиоэлектроника за рубежом. ИЛ, 1959.



## Б. Приемник

К техническим показателям радиолокационного приемника относятся.

Полоса пропускания  $\Delta f$  — спектр частот, в пределах которого коэффициент усиления приемника снижается по сравнению с максимальным значением не более чем в заданное число раз. Это число, называемое уровнем отсчета полосы пропускания, обычно равно  $\frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707$  — при отсчете полосы пропускания по напряжению или, что одно и то же,  $\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)^2 = 0,5$  — при отсчете по мощности.

Радиоимпульс как периодически повторяющееся колебание может быть представлен в виде суммы синусоидальных колебаний несущей и множества боковых частот. Чем больше составляющих импульса воспроизводится в приемнике с допустимой неравномерностью коэффициента усиления, тем более точно на индикаторе изображается огибающая радиоимпульса (видеоимпульс) и тем выше точность измерения координат и разрешающая способность радиолокационной станции.

Чувствительность  $P_{с\ min}$  — минимальная мощность сигнала на входе приемника, необходимая для нормальной работы станции.

Это определение в какой-то мере отражает особенности радиолокационных приемников. Прежде всего обращает на себя внимание то, что чувствительность приемника в данном случае оценивается минимальной мощностью, а не минимальной э. д. с. на входе приемника, как это имеет место при приеме колебаний низких радиочастот, а также метровых волн. Такое различие обусловлено тем, что прием радиолокационных сигналов зависит от соотношения между мощностью сигнала и мощностью шумов, а на низких радиочастотах эти шумы не имеют существенного значения по сравнению с промышленными и атмосферными помехами.

Допустим, что та часть приемника, которая предшествует входу видеодетектора, обладает коэффициентом усиления по мощности  $k_p$ . Тогда мощность сигнала  $P_c$ , подведенная от антенны к приемнику, создает на входе видеодетектора мощность

$$P_{с\ вых} = k_p P_c. \quad (1)$$

Наряду с этим приемник усиливает и шумы, обусловленные э. д. с., наводимой в антенне тепловым движением частиц окружающей среды. Мощность этих шумов  $P_{ш}$  тем больше, чем выше абсолютная температура  $T$  теплового движения частиц и больше полоса пропускания  $\Delta f$ :

$$P_{ш} = kT\Delta f,$$

где  $k = 1,38 \cdot 10^{-29}$  Дж/град — коэффициент пропорциональности.

Увеличение мощности шумов с расширением полосы пропускания объясняется тем, что шумы имеют сплошной спектр частот, и чем

большая часть этого спектра усиливается приемником, тем больше сказывается их влияние на радиоприем.

В процессе усиления и преобразования сигналов в приемнике шумы увеличиваются в  $k_p$  раз за счет усилительных свойств схемы и, кроме того, в  $N_{\text{ш}}$  раз за счет дробового эффекта в электронных лампах и тепловое движение электронов в сопротивлениях и колебательных контурах. Величина  $N_{\text{ш}}$  называется *коэффициентом шума*. Таким образом, на входе видеодетектора мощность шумов

$$P_{\text{ш.вых}} = k_p N_{\text{ш}} kT \Delta f. \quad (2)$$

Минимальная мощность сигнала на входе приемника  $P'_{\text{с min}}$ , при которой на входе видеодетектора мощность сигнала  $P_{\text{с.вых}}$  становится равной мощности шумов  $P_{\text{ш.вых}}$ , называется *пороговой чувствительностью приемника*. Приравняв уравнения (1) и (2), получаем

$$k_p P'_{\text{с min}} = k_p N_{\text{ш}} kT \Delta f,$$

откуда следует, что пороговая чувствительность

$$P'_{\text{с min}} = N_{\text{ш}} kT \Delta f.$$

Условия приема более полно характеризуются реальной чувствительностью приемника, которая равна минимальной мощности сигнала на входе приемника  $P_{\text{с min}}$ , необходимой для нормальной работы станции. От пороговой к реальной чувствительности можно перейти, если учесть, что для обнаружения сигнала на экране индикатора необходимо, чтобы на выходе всего приемника мощность сигнала  $P_{\text{с.вых}}$  превышала мощность шумов  $P_{\text{ш.вых}}$  по крайней мере в  $D_p$  раз. Величина  $D_p$ , называемая *коэффициентом различимости*, зависит от свойств индикатора, нелинейных каскадов приемника — видеоусилителя, а также от опытности оператора.

Следовательно, реальная чувствительность приемника

$$P_{\text{с min}} = D_p P'_{\text{с min}} = D_p N_{\text{ш}} kT \Delta f. \quad (3)$$

При температуре  $t = 17^\circ \text{C}$  ( $T = 273 + t = 290^\circ \text{K}$ ) произведение  $kT = 4 \cdot 10^{-21} \text{ вт/гц} = 4 \cdot 10^{-15} \text{ вт/Мгц}$  является постоянной величиной. Поэтому коэффициент шума  $N_{\text{ш}}$  и полоса пропускания  $\Delta f$  приемника полностью характеризуют его пороговую чувствительность, а коэффициент различимости  $D_p$ , кроме того, позволяет вычислить реальную чувствительность приемника. Абсолютной единицей измерения чувствительности радиолокационного приемника является ватт, а относительной единицей — децибел при нулевом уровне 1 милливатт (*дбм*).

Так как отраженные сигналы имеют весьма малую мощность, то чувствительность радиолокационных приемников должна быть очень высокой. В настоящее время она в абсолютных единицах достигает  $10^{-13} \text{ вт}$ , что составляет  $10^{-10}$  относительно 1 *мвт*. Это соответствует  $10 \lg 10^{10} = 100 \text{ дбм}$ <sup>1</sup>.

<sup>1</sup> А. П. Сиверс. Радиолокационные приемники. «Советское радио», 1952.

Помехозащищенность приемника. В общей системе помехозащищенности радиолокационной станции приемник играет очень важную роль.

## В. Индикаторное устройство

Под индикаторным устройством понимают те блоки радиолокационной станции, которые не только позволяют наблюдать эхосигналы и с их помощью определять координаты объектов, но и обеспечивают синхронизацию работы всей станции.

Приведем технические показатели индикаторного устройства.

Число и наименование координат, определяемых отметчиком. На практике применяются однокоординатные, двухкоординатные и трехкоординатные отметчики. Экран отметчика плоский, а поэтому каждый отметчик позволяет с достаточно большой точностью определить только две координаты, а третья координата может быть установлена лишь условно и неточно. В связи с этим во многих радиолокационных станциях применяют более одного отметчика.

К однокоординатным отметчикам относятся индикаторы дальности с линейной (типа А) и кольцевой (типа J) разверткой. Из двухкоординатных индикаторов наиболее распространены индикатор «азимут-дальность» в полярной системе координат, называемый иначе индикатором «кругового обзора (ИКО), индикатор «азимут-дальность» в прямоугольной системе координат (типа В) и индикатор «высота-дальность» (ИВД) в той же системе координат. В трехкоординатных индикаторах третью координату (угол места или дальность) получают при помощи дополнительной метки на экране трубки.

Характер поля, управляющего электронным пучком. В индикаторах радиолокационных станций используются электронно-лучевые трубки, электронный пучок которых управляется электрическим или магнитным полем. Преимущество первых — в потреблении небольшой мощности (в большом входном сопротивлении), в меньшем весе за счет отсутствия отклоняющих и фокусирующих катушек и в возможности осуществления очень быстрой развертки. Магнитные трубки выгодно отличаются от электростатических лучшей фокусировкой при большей яркости отметки и меньшей длине. Укорочение трубки возможно благодаря тому, что магнитное поле позволяет отклонить электронный луч под большим углом к оси трубки.

Отметка, используемая в индикаторе (амплитудная или яркостная). Амплитудная отметка, имеющая форму выброса в направлении, перпендикулярном линии развертки, может быть использована только в однокоординатных индикаторах, т. е. в индикаторах дальности. Яркостная отметка применяется в индикаторах, измеряющих две или три координаты. Так как в последних требуется большая яркость отметки, то двух- и трехкоординатные индикаторы дальности обычно выполняются на трубках с магнитным отклоне-

нием, а индикаторы дальности — на трубках с электростатическим отклонением.

Величина послесвечения экрана электронно-лучевой трубки. В зависимости от того, каким веществом (люминофором) покрыт экран трубки, различают экраны с коротким ( $\leq 10^{-3}$  сек.), средним ( $10^{-3} \div 10^{-1}$  сек.) и длительным ( $> 10^{-1}$  сек.) послесвечением. Трубки с малым послесвечением применяются в индикаторах с амплитудной отметкой, а в индикаторах с яркостной отметкой, где необходимо сохранить изображение до очередного цикла обзора пространства, используются трубки с большим послесвечением.

Вид и параметры напряжения развертки. В отметчиках радиолокационных станций для развертки используются напряжения различного вида: экспоненциальное, линейное, трапецеидальное, синусоидальное и специальной формы, например, гиперболическое. К параметрам развертки относятся длительность прямого и обратного хода луча, амплитуда и линейность напряжения развертки, входное и выходное сопротивления генератора развертки.

Масштаб развертки  $m$  — длина линии развертки, приходящаяся на каждую единицу измеряемой по индикатору величины. В случае равномерной (линейной) развертки дальности

$$m = \frac{l}{D},$$

где  $l$  — длина линии развертки;

$D$  — максимальная дальность, отсчитываемая по шкале индикатора.

Погрешности в измерениях, связанные с несовершенством системы отсчета координат. Здесь имеются в виду ошибки вследствие параллакса, несовершенства фокусировки пятна, расплывания линии развертки под влиянием шумов, индивидуальных ошибок оператора и т. д.

Рассмотрим влияние фокусировки на точность измерения дальности в индикаторах с амплитудной и яркостной отметкой.

Если бы фокусировка светового пятна была идеальной, то амплитудная отметка на экране трубки ограничивалась бы линией  $GBCDEF$  (фиг. 8). Из-за несовершенства фокусировки электронный луч на границе отметки описывает линию, толщина которой равна диаметру пятна  $d_n$ . В связи с утолщением этой линии внимание оператора при определении дальности (которое производится по положению фронта импульса на линии развертки  $GF$ ) фиксируется не на точке  $B$ , а в пределах от  $A$  до  $L$ . Возникает погрешность отсчета, максимальная величина которой равна половине отрезка  $AN$ :

$$\Delta l = \frac{AN}{2} = \frac{AM + MN}{2}.$$

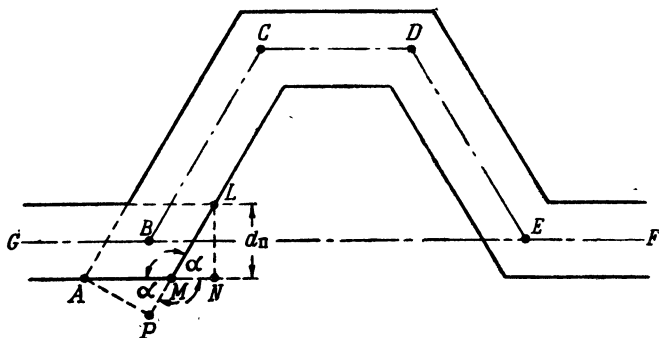
Из треугольников  $AMP$  и  $MNL$

$$AM = \frac{AP}{\sin \alpha} = \frac{d_n}{\sin \alpha}, \quad MN = \frac{LN}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{d_n}{\operatorname{tg} \alpha},$$

где  $\alpha$  — угол наклона линии фронта импульса.

Следовательно,

$$\Delta l = \frac{d_n}{2} \left( \frac{1}{\sin \alpha} + \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha} \right) = \frac{d_n}{2 \sin \alpha} (1 + \cos \alpha).$$



Фиг. 8. Влияние фокусировки светового пятна на точность определения координат в индикаторе с амплитудной отметкой.

Пользуясь масштабом развертки дальности  $m$ , погрешность отсчета дальности выразим как

$$\Delta D = \frac{\Delta l}{m} = \frac{d_n}{m \cdot 2 \sin \alpha} (1 + \cos \alpha). \quad (4)$$

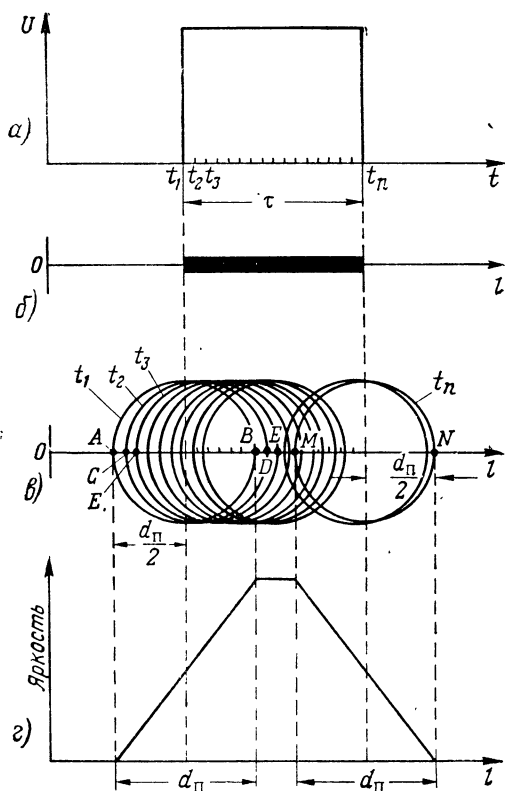
Полученное выражение показывает, что погрешность измерения дальности тем меньше, чем меньше диаметр пятна, больше масштаб дальности (т. е. каждой единице дальности соответствует больший участок линии развертки) и больше крутизна фронта импульса (больше  $\alpha$ ). Если  $\alpha = 90^\circ$ , то погрешность получается минимальной:

$$\Delta D_{\min} = \frac{d_n}{2m}.$$

В индикаторах с яркостной отметкой послесвечение экрана достаточно велико, чтобы яркость пятна определялась суммой электронов, падающих в данную точку экрана за время действия импульса.

Допустим, что яркостная отметка создается прямоугольным импульсом напряжения (фиг. 9, а) и луч сфокусирован в геометрическую точку. При этом условии в любой момент времени на протяжении импульса в соответствующую точку экрана падает равное число электронов, благодаря чему вся отметка имеет одинаковую яркость и границы отметки точно соответствуют фронту и срезу импульса (фиг. 9, б). Если же световое пятно на экране трубки имеет диаметр

$d_n$  (фиг. 9, в), то на линии развертки это пятно в момент времени  $t_1$  находится между точками  $AB$ , в момент  $t_2$  — между  $CD$ , в момент  $t_3$  — между  $EF$  и по окончании импульса ( $t_n$ ) — между  $MN$ . В результате границы отметки импульса расширяются с каждой стороны на  $d_n/2$  по сравнению с предыдущим случаем. Во-вторых, яркость отметки по линии развертки получается неодинаковой. В этом



Фиг. 9. Влияние фокусировки светового пятна на точность определения координат в индикаторе с яркостной отметкой.

При наличии шумов диаметр пятна становится еще больше и погрешность отсчета возрастает. Это сказывается тем больше, чем меньше уровень сигнала по сравнению с уровнем шумов и чем меньше длительность переднего фронта импульса  $\tau_f$ , так как с уменьшением  $\tau_f$  требуется большая полоса пропускания приемника.

Погрешности в измерениях координат, обусловленные неточностью синхронизации индикаторного устройства с передатчиком. Такого рода неточность приводит к тому, что даже при неизменных координатах объекта отметка от эхо-импульса занимает различное положение на

можно убедиться, если учесть, что через равные интервалы времени  $t_1-t_2$ ,  $t_2-t_3$ ,  $t_3-t_4$ ... в соответствующее место экрана падает равное число электронов, но так как их действие суммируется, то на среднем участке, который облучается на протяжении всего импульса, яркость получается максимальной, а по мере отклонения к границам отметки продолжительность облучения экрана уменьшается и яркость спадает до нуля (фиг. 9, г). Таким образом, отметка в начале и в конце получается размытой в пределах  $d_n$ . Это может вызвать максимальную погрешность отсчета начала отметки на  $\Delta l = d_n/2$ , что соответствует дальности

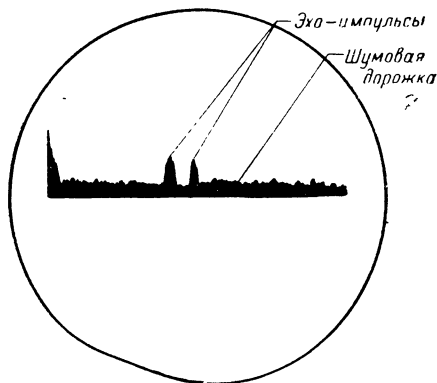
$$\Delta D = \frac{\Delta l}{m} = \frac{d_n}{2m}$$

Отсюда делаем вывод, что при использовании яркостной отметки, как и амплитудной, следует стремиться к уменьшению диаметра пятна и увеличению масштаба развертки.

экране и поэтому получается размытой. В результате возникает погрешность в измерениях координат.

Импульс, синхронизирующий работу всей станции, может подаваться на передатчик и индикатор от общего источника синусоидального напряжения или от общего источника синхронизирующих импульсов, либо может вырабатываться в передатчике, а от него поступать в индикатор. Синхронизация специальными импульсами дает наименьшие погрешности в измерениях координат, но этот способ сложнее других.

Возможность наблюдения слабых сигналов на фоне помех. Эта возможность определяется не только качеством индикатора, но и другими параметрами радиолокационной станции. Существует, например, оптимальная полоса пропускания приемника, при которой наблюдаемость сигналов получается наилучшей. Если полоса пропускания слишком мала, то наблюдаемость ухудшается из-за понижения уровня сигнала; если же полоса пропускания слишком велика, то наблюдаемость становится плохой из-за высокого уровня шумов.



Фиг. 10. Изображение на экране трубки с амплитудной отметкой при наличии шумов.

Наблюдаемость слабых сигналов улучшается с увеличением длительности ( $\tau$ ) и частоты следования ( $F_0$ ) импульсов, а также с увеличением скорости развертки. В случае амплитудной отметки это объясняется таким образом. Чем больше длительность импульса, тем больше амплитудная отметка цели отличается по форме от отметок, создаваемых шумами, и тем отчетливее наблюдаются слабые сигналы. Это особенно сильно проявляется при сохранении оптимальной полосы пропускания, соответствующей выбранной длительности импульса. Увеличение скорости развертки в известных пределах улучшает наблюдаемость сигналов вследствие расширения отметки цели.

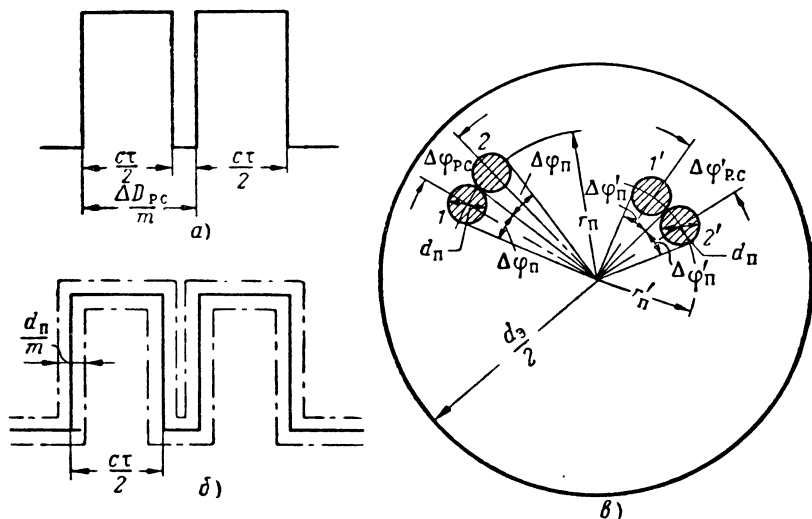
В индикаторах с амплитудной отметкой шумы сопровождаются выбросами на экране трубки (фиг. 10). Так как импульсы шумов не имеют строгой последовательности, то эти выбросы с каждым циклом развертки изменяют свое положение, благодаря чему наше зрение «усредняет» изображение на экране трубки и шумовая дорожка «затемняется». Затемнение сказывается тем больше, чем выше частота следования импульсов  $F_0$ . По этой причине с увеличением  $F_0$  улучшается различимость слабых сигналов на фоне помех.

В трубках с яркостной отметкой увеличение  $\tau$  и  $F_0$  улучшает наблюдаемость слабых сигналов потому, что при этом увеличивается яркость отметки. Такой же эффект дает уменьшение скорости вра-



щения антенны и расширение ее диаграммы направленности, так как при этом увеличивается число радиоимпульсов, облучающих объект, и соответственно повышается яркость отметки.

Ограничения разрешающей способности станции, обусловленные индикатором. Рассмотрим эти ограничения применительно к индикаторам с амплитудной отметкой в



Фиг. 11. Влияние индикатора на разрешающую способность станции.

случае измерения дальности (фиг. 11, а, б) и к индикаторам с яркостной отметкой в случае измерения угловых координат (фиг. 11, в).

Если бы пятно было сфокусировано в точку  $d_n=0$  (фиг. 11, а); то каждый импульс длительностью  $\tau$  создавал бы отметку, которая занимала бы на развертке дальности отрезок длиной  $m \frac{c\tau}{2}$ , где  $m$  — масштаб развертки, а  $\frac{c\tau}{2}$  — радиолокационная дальность, соответствующая времени  $\tau$ . Следовательно, два объекта могут быть раздельно обнаружены на экране индикатора, если они удалены на расстояние, большее, чем  $\frac{c\tau}{2}$ . В действительности вследствие несовершенной фокусировки световое пятно имеет диаметр  $d_n$ , и два объекта раздельно фиксируются, если их отметки находятся на большем расстоянии, а именно:  $m \frac{c\tau}{2} + d_n$  (фиг. 11, б). Соответственно разрешающая способность станции по дальности увеличивается до

$$\Delta D_{p.c} = \frac{c\tau}{2} + \frac{d_n}{m}.$$

Обозначим  $n$  — число пятен, укладываемых на диаметре экрана  $d_э$ , а  $D_{\max} = \frac{d_э}{m}$  — максимальную дальность, измеряемую по всей линии развертки. Тогда

$$\Delta D_{p.c} = \frac{c\tau}{2} + \frac{d_э}{mn} = \frac{c\tau}{2} + \frac{D_{\max}}{n}. \quad (5)$$

В трубках с электростатическим отклонением  $n$  не превышает 200, а в трубках с магнитным отклонением достигает 400.

На фиг. 11, в показаны отметки объектов 1 и 2 в виде пятен диаметром  $d_n$ , которые находятся на одной окружности радиуса  $r_n$ . Как видно из фиг. 11, в, эти отметки можно различить при условии, что угол между радиусами, проходящими через их центры, не меньше угловой ширины каждого пятна  $\Delta\varphi_n$ . Следовательно, в данном случае разрешающая способность станции по углу

$$\Delta\varphi_{p.c} = \Delta\varphi_n.$$

Угловая ширина пятна во столько раз меньше  $360^\circ$ , во сколько диаметр пятна меньше длины окружности, на которой находится пятно:

$$\frac{\Delta\varphi_n^\circ}{360^\circ} = \frac{d_n}{2\pi r_n} \quad \text{или} \quad \Delta\varphi_n^\circ = \frac{360^\circ}{2\pi} \frac{d_n}{r_n} = 57,3 \frac{d_n}{r_n}.$$

Выразив диаметр пятна через диаметр экрана индикатора, получим

$$\Delta\varphi_n^\circ = 57,3 \frac{d_n}{r_n} = 57,3 \frac{d_э}{nr_n}.$$

На основании этого выражения можно сделать вывод, что ограничения разрешающей способности станции по угловым координатам, создаваемые индикатором, тем больше, чем больше диаметр пятна и ближе отметка к центру экрана, а следовательно, чем меньше дальность данного объекта.

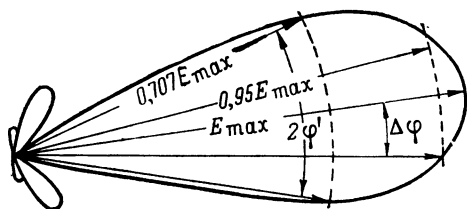
### Г. Антенно-фидерное устройство

Антенно-фидерное устройство радиолокационной станции состоит из антенны, фидерной линии и антенного переключателя. О качестве антенно-фидерного устройства станции судят по следующим показателям.

Ширина диаграммы направленности — угол  $2\varphi'$ , в пределах которого плотность потока излучаемой мощности уменьшается не более чем в 2 раза по сравнению с плотностью потока мощности, излучаемой в направлении максимального действия антенны. Поскольку мощность электромагнитной волны пропорциональна квадрату напряженности поля, то это равнозначно тому, что ширина диаграммы направленности антенны по напряженности поля отсчитывается на уровне  $\frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707$  от максимального. Иногда

отсчет ширины диаграммы направленности производят на другом уровне.

Погрешности в определении угловых координат, обусловленные диаграммой направленности антенны. Рассмотрим эти погрешности на примере антенны, имеющей раскрыв в виде прямоугольной площадки и возбуждаемой синфазно с одинаковой амплитудой. Такую форму раскрыва имеют



пирамидальные и секториальные рупоры, параболические цилиндры и некоторые другие антенны. Диаграмма направленности этих антенн в азимутальной плоскости (фиг. 12) выражается уравнением

Фиг. 12. Диаграмма направленности антенны в полярных координатах.

$$\frac{E}{E_{\max}} = \frac{\sin\left(\frac{\pi a}{\lambda} \sin \varphi\right)}{\frac{\pi a}{\lambda} \sin \varphi}, \quad (6)$$

где  $\varphi$  — угол между данным направлением и направлением максимального излучения (приема) антенны;

$a$  — горизонтальный размер раскрыва антенны;

$\lambda$  — длина волны;

$E$  — напряженность поля в направлении, соответствующем углу  $\varphi$ ;

$E_{\max}$  — напряженность поля, соответствующая  $\varphi=0$ .

Положим, что азимут определяется по методу максимума, а индикатор и приемник обеспечивают прямую пропорциональность между напряженностью поля в антенне  $E$  и высотой амплитудной отметки  $h$  индикатора. Если одна и та же антенна используется для передачи и приема, то между этими величинами существует квадратичная зависимость:

$$\frac{h}{h_{\max}} = \left(\frac{E}{E_{\max}}\right)^2.$$

Когда антенна направлена на цель ( $\varphi=0$ ), то напряженность поля и высота отметки максимальны:  $E=E_{\max}$  и  $h=h_{\max}$ . При отклонении антенны от этого направления на угол  $\Delta\varphi$  напряженность поля уменьшается до величины  $E$ , т. е. на  $\Delta E=E_{\max}-E$ , а высота отметки уменьшается до величины  $h$ , т. е. на  $\Delta h=h_{\max}-h$ . Следовательно,

$$\frac{\Delta h}{h_{\max}} = \left(\frac{\Delta E}{E_{\max}}\right)^2 = \left(\frac{E_{\max}-E}{E_{\max}}\right)^2 = 1 - \left(\frac{E}{E_{\max}}\right)^2,$$

где

$$\frac{E}{E_{\max}} = \frac{\sin\left(\frac{\pi a}{\lambda} \sin \Delta\varphi\right)}{\frac{\pi a}{\lambda} \sin \Delta\varphi}.$$

Если в полученные формулы подставить минимальное изменение высоты отметки, которое в состоянии заметить оператор,  $\Delta h = 0,1 h_{\max}$ , то угол  $\Delta\varphi$  будет означать погрешность отсчета азимута по максимуму диаграммы направленности. Таким образом,

$$0,1 = 1 - \left[ \frac{\sin\left(\frac{\pi a}{\lambda} \sin \Delta\varphi\right)}{\frac{\pi a}{\lambda} \sin \Delta\varphi} \right]^2,$$

откуда

$$\frac{\sin \frac{\pi a}{\lambda} \sin \Delta\varphi}{\frac{\pi a}{\lambda} \sin \Delta\varphi} = 0,95.$$

Так как  $\Delta\varphi$  имеет малую величину, то  $\sin \Delta\varphi \approx \Delta\varphi$ , а

$$\frac{\sin\left(\frac{\pi a}{\lambda} \Delta\varphi\right)}{\frac{\pi a}{\lambda} \Delta\varphi} = 0,95.$$

Это равенство удовлетворяется при  $\frac{\pi a}{\lambda} \Delta\varphi = 0,142\pi$  рад., что соответствует

$$\Delta\varphi = \frac{0,142\lambda}{a} \text{ рад.}$$

Ширина диаграммы направленности  $2\varphi$  определяется на уровне  $\frac{E}{E_{\max}} = 0,707$ . Подставив это условие в уравнение (6), находим, что

$$0,707 = \frac{\sin\left(\frac{\pi a}{\lambda} \sin \varphi'\right)}{\frac{\pi a}{\lambda} \sin \varphi'} \approx \frac{\sin\left(\frac{\pi a}{\lambda} \varphi'\right)}{\frac{\pi a}{\lambda} \varphi'},$$

откуда

$$\frac{\pi a}{\lambda} \varphi' = 1,39 \text{ рад.},$$

а

$$2\varphi' = \frac{2 \cdot 1,39}{\pi} \frac{\lambda}{a} = 0,89 \frac{\lambda}{a} \text{ рад.} \quad (7)$$

Следовательно, между погрешностью отсчета азимута и шириной диаграммы направленности антенны в азимутальной плоскости существует зависимость

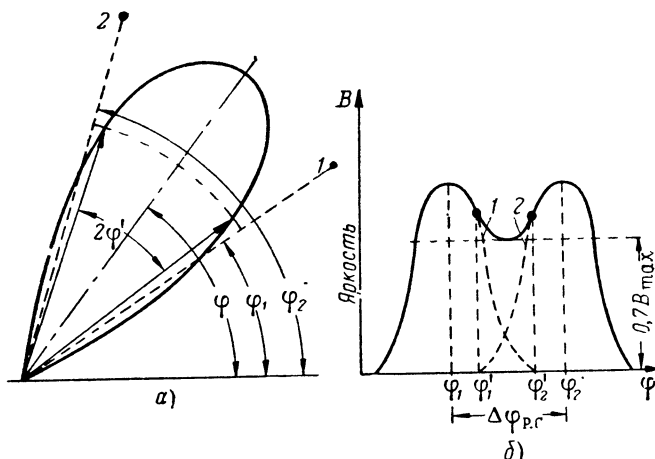
$$\frac{\Delta\varphi}{2\varphi'} = \frac{0,142\lambda}{a} \frac{a}{0,89\lambda} = 0,16.$$

В общем случае

$$\Delta\varphi = (0,1 \div 0,25) 2\varphi'. \quad (8)$$

Полученное соотношение легко объясняется: чем меньше ширина диаграммы направленности антенны, тем острее диаграмма на всех ее участках, а поэтому изменение высоты отметки фиксируется на индикаторе при меньшем отклонении антенны от направления на объект.

Ограничения разрешающей способности станции по угловым координатам, обусловлен-



Фиг. 13. Связь между шириной диаграммы направленности антенны и разрешающей способностью станции по угловым координатам.

ные диаграммой направленности антенны. Обычно индикаторы угловых координат имеют яркостную отметку. Поэтому нас интересует зависимость яркости  $B$  отметок от угла  $\varphi$ , определяющего азимутальное положение диаграммы направленности антенны (фиг. 13). Если имеются два равноудаленных объекта 1, 2, азимут которых равен  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$ , то в процессе вращения диаграммы направленности сначала изменится яркость отметки одного объекта от нуля до  $B_{max}$  и обратно до нуля, а затем аналогично изменится яркость отметки другого объекта. При этом возможно, что в диапазоне углов  $\varphi_1' - \varphi_2'$  оба объекта будут одновременно облучаться антенной и создавать отметки, яркость которых соответствует пунктирной линии. Чем больше ширина диаграммы направленности антенны, тем больше угловая ширина каждой отметки, тем больше участок  $\varphi_1' - \varphi_2'$  и яркость результирующей отметки на нем (сплошная линия). Если эта яркость превысит  $0,7B_{max}$ , то оператор не сможет различить объекты. Тем самым определится разрешающая способность станции по угловым координатам  $\Delta\varphi_{P.C.}$ , которая при данном условии приближи-

тельно равна ширине диаграммы направленности антенны в соответствующей плоскости (азимута или угла места):

$$\Delta\varphi_{p.c} \approx 2\varphi'.$$

Таким образом, усиление направленности антенны позволяет одновременно увеличить точность и разрешающую способность станции по угловым координатам.

Заметим, что ограничения разрешающей способности  $\Delta\varphi_{p.c}$ , создаваемые диаграммой направленности антенны, не зависят от дальности объекта, тогда как увеличение  $\Delta\varphi_{p.c}$ , создаваемое плохой фокусировкой пятна на экране индикатора, тем больше, чем меньше дальность объекта. Поэтому обычно разрешающая способность станции по угловым координатам для близко расположенных объектов зависит от свойств индикатора, а для дальних объектов — от диаграммы направленности антенны.

К. п. д. антенны  $\eta_A$  — отношение мощности, излучаемой антенной, ко всей мощности, подводимой к антенне. Так как радиолокационные антенны работают в диапазоне СВЧ, то их к. п. д. весьма близок к 100%.

Коэффициент направленного действия  $D$  — отношение плотности потока мощности, излучаемой антенной в направлении ее максимального действия, к плотности потока мощности, которая излучалась бы в любом направлении абсолютно ненаправленной антенной при условии равенства общей излучаемой мощности.

Простейшая радиолокационная антенна — полуволновый вибратор — имеет коэффициент направленного действия  $D=1,64$ . Наиболее совершенные антенны, применяемые в радиолокационных станциях сантиметровых волн, имеют  $D$ , исчисляемый несколькими тысячами.

Коэффициент направленного действия антенны можно выразить через ширину диаграммы направленности  $2\varphi'$ , представив этот коэффициент как отношение всей поверхности сферы радиуса  $R$  к той части поверхности сферы, которая облучается антенной:

$$D = \frac{4\pi R^2}{(2\varphi')^2 R^2} = \frac{4\pi}{(2\varphi')^2}, \quad (9)$$

где  $2\varphi'$  — телесный угол, в котором излучает антенна.

Если же диаграмма направленности антенны в горизонтальной и вертикальной плоскостях имеет различную ширину, например  $2\varphi'$  и  $2\theta'$ , то

$$D = \frac{4\pi}{(2\varphi')(2\theta')}. \quad (9')$$

Как видно из формулы (8), для увеличения коэффициента направленного действия антенны необходимо уменьшить ее ширину диаграммы направленности, а для этого согласно формуле (7) следует увеличить линейные размеры антенны по сравнению с длиной волны.

Коэффициент усиления антенны  $G$  — произведение коэффициента направленного действия на к. п. д. антенны, т. е.

$$G = D\eta_A.$$

Так как радиолокационная антенна работает с к. п. д., близким к 100%, то в данном случае коэффициенты  $G$  и  $D$  можно считать равными. Заметим, что иногда коэффициент усиления антенны определяют относительно полуволнового вибратора. Тогда

$$G = \frac{D\eta_A}{1,64}.$$

Из курса «Антенны» известно, что коэффициент усиления радиолокационной антенны связан с геометрической и эффективной поверхностями ее раскрыва  $S_A$ ,  $S_{эф}$  такой зависимостью:

$$G = \frac{4\pi}{\lambda^2} S_{эф} = \frac{4\pi}{\lambda^2} \gamma S_A, \quad (10)$$

где  $\gamma$  — коэффициент использования поверхности антенны, который в среднем имеет численное значение 0,6—0,7 при остронаправленной диаграмме и меньшие значения при диаграмме типа  $\text{cosec}^2\theta$  или другой, полученной в результате неодинакового возбуждения раскрыва антенны по амплитуде и фазе<sup>1</sup>.

Параметры механической части антенны. К таким параметрам относятся: скорость вращения антенны по азимуту и по углу места, пределы изменения этих углов и траектория движения рефлектора и облучателя. Все эти параметры зависят от способа обзора пространства, который выбирают исходя из назначения радиолокационной станции. В ряде случаев (особенно часто на метровых волнах) широко используются системы электрического развертывания, в которых направление излучения или приема изменяется при изменении фазы токов, питающих вибраторы антенны. В таких случаях антенная система характеризуется схемой электрического развертывания и ее параметрами.

Система передачи данных и ее характеристики. Основной из характеристик системы является точность передачи данных.

Система сопровождения цели. На практике применяется ручное, полуавтоматическое и автоматическое сопровождение цели. К параметрам, характеризующим систему сопровождения объекта, относятся время захвата объекта, точность и максимальная скорость сопровождения.

Коэффициент затухания линии передачи — коэффициент, определяющий степень уменьшения напряжения или тока при распространении бегущей волны на единицу длины линии. Этот коэффициент выражается в неперах или децибелах, деленных на метр.

Максимальная мощность электромагнитных волн, допустимая для передачи по фидерной

<sup>1</sup> Г. Б. Белоцерковский. Антенны, Оборонгиз, 1956.



линии. Эта мощность должна быть не меньше той, которая поступает в линию от передатчика.

**Диапазон частот**, при котором направленные свойства антенны и потери энергии в фидере находятся в допустимых пределах. Этот показатель тем более важен, что в современных станциях для защиты от помех производят перестройку частоты.

**Время срабатывания антенного переключателя на передачу и прием.** Антенный переключатель должен срабатывать не позднее чем через 0,01 мксек после появления импульса передатчика и приходить в исходное состояние не позднее чем через десятые доли — единицы мксек по окончании этого импульса<sup>1</sup>. Первое необходимо для предохранения смесителя от повреждения, а второе — для обеспечения приема сигналов, отраженных от ближайших к радиолокационной станции объектов.

**Затухание**, создаваемое антенным переключателем на входе приемника. Для импульса передатчика это затухание должно быть не менее 40—60 дБ, а для отраженного импульса — минимальным<sup>1</sup>.

### § 3. ВЫБОР ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАДИОЛОКАТОРА

Перечисленные параметры радиолокационных станций взаимно связаны. Улучшение одного из качественных показателей станции в ряде случаев сопровождается ухудшением других. Эти противоречия разрешаются по-разному в зависимости от назначения станции и ее тактических особенностей.

Одной из наиболее важных исходных величин при выборе параметров станции является *максимальная дальность действия*  $D_{\max}$ . Согласно основному уравнению радиолокации эта величина равна

$$D_{\max} = \sqrt[4]{\frac{P_n G S_{\text{эф}} \sigma_{\text{ц}}}{(4\pi)^2 P_{\text{с min}}}}, \quad (11)$$

где  $P_n$  — мощность передатчика в импульсе;

$G$  — коэффициент усиления передающей антенны;

$S_{\text{эф}}$  — эффективная поверхность приемной антенны;

$\sigma_{\text{ц}}$  — эффективная поверхность рассеяния объекта (цели);

$P_{\text{с min}}$  — чувствительность приемника.

Сделав подстановку из формулы (10) в формулу (11) и имея в виду, что в импульсных радиолокационных станциях одна и та же антенна обычно используется и для передачи и для приема, находим

$$D_{\max} = \sqrt[4]{\frac{P_n 4\pi (\gamma S_A)^2 \sigma_{\text{ц}}}{(4\pi)^2 P_{\text{с min}} \lambda^2}} = \sqrt[4]{\frac{P_n (\gamma S_A)^2 \sigma_{\text{ц}}}{4\pi P_{\text{с min}} \lambda^2}}. \quad (11')$$

Если в формуле (11) исключить  $S_{\text{эф}}$  согласно формуле (10), то получим

$$D_{\max} = \sqrt[4]{\frac{P_n G^2 \lambda^2 \sigma_{\text{ц}}}{(4\pi)^3 P_{\text{с min}}}}. \quad (11'')$$

<sup>1</sup> См. сноску на стр. 30.

Полученные формулы показывают, что максимальная дальность обнаружения пропорциональна корню четвертой степени из импульсной мощности передатчика и чувствительности приемника и корню второй степени из отношения поверхности раскрыва антенны к длине волны  $S_A/\lambda$  [см. формулу (11')] или из произведения коэффициента усиления антенны на длину волны  $G\lambda$  [см. формулу (11'')]. Это значит, что мощность передатчика и чувствительность приемника следует увеличить весьма значительно, чтобы получить сколько-нибудь заметное увеличение максимальной дальности действия станции, а увеличение  $S_A/\lambda$  или  $G\lambda$  дает больший эффект.

Рассмотрим подробнее соображения по выбору основных параметров радиолокационной станции.

**Выбор длины волны.** Согласно формуле (11') при неизменных размерах антенны ( $S_A$ ) дальность действия станции может быть увеличена за счет уменьшения длины волны. Это и понятно: с уменьшением длины волны усиливается направленность антенны и в направлении ее максимального действия облегчается обнаружение дальних объектов.

Формула (11'') показывает, что если оставить неизменным коэффициент направленного действия антенны, то увеличение  $\lambda$  способствует повышению дальности действия. Это происходит потому, что при увеличении  $\lambda$ , например, в 2 раза коэффициент направленного действия антенны

$$D = \frac{4\pi}{\lambda^2} S_{\text{эф}} = \frac{4\pi}{\lambda^2} \gamma S_A$$

остается неизменным, если площадь антенны  $S_A$  будет увеличена в 4 раза, благодаря чему мощность на входе приемника увеличится также в 4 раза. Отсюда следует вывод, что если нет значительных ограничений в размерах антенны, то целесообразно увеличить длину рабочей волны, а если условия эксплуатации станции не позволяют использовать антенну больших габаритов, то рациональнее уменьшить длину рабочей волны.

Уменьшение рабочей длины волны ограничивается рядом обстоятельств: в диапазоне СВЧ с уменьшением  $\lambda$  возрастают трудности генерирования и приема колебаний; по мере развития радиолокационной техники эти трудности успешно устраняются, однако на миллиметровых волнах проблема генерирования мощных колебаний все еще не разрешена. На волнах короче 3 см наблюдаются сильные отражения от облаков, тумана и дождя, которые затрудняют наблюдение за объектами по индикатору. Миллиметровые волны претерпевают большое затухание при распространении в атмосфере; особенно велико затухание на волнах  $\lambda=5$  мм; 2,5 мм из-за резонансного поглощения электромагнитной энергии молекулами кислорода и на волнах 1,3 см вследствие резонансного поглощения парами воды<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Г. Б. Белоцерковский. Миллиметровые волны. Госэнергониздат, 1959.

При выборе длины волны существенным также является влияние ее на отражения от земли и от местных предметов. Если волны, излучаемые антенной, касаются земной поверхности (что более вероятно при большой ширине диаграммы направленности, а следовательно, при большой длине волны  $\lambda$ ), то диаграмма направленности антенны в вертикальной плоскости становится многолепестковой. В ряде случаев это полезно, так как это увеличивает зону обзора станции и позволяет измерить угол места объекта в больших пределах. Кроме того, это удваивает напряженность поля в направлении максимумов лепестков по сравнению с излучением в свободном пространстве. С другой стороны, отражения от местных предметов маскируют полезные эхо-сигналы, а отражения от земной поверхности делают диаграмму направленности антенны неустойчивой и зависящей от электрических свойств почвы и рельефа местности. К тому же низко летящие самолеты и объекты, расположенные между соседними лепестками диаграммы направленности, могут оказаться вне зоны обзора станции.

Поскольку рабочая длина волны оказывает большое влияние на диаграмму направленности антенны, при выборе  $\lambda$  необходимо иметь в виду, что чем меньше ширина диаграммы направленности антенны, тем выше точность и разрешающая способность станции по угловым координатам.

Скорость вращения антенны выбирают из конструктивных соображений и тактико-технических данных станции. Эта скорость должна быть достаточно большой, чтобы при каждом повторном цикле обзора отметка цели не перемещалась по экрану заметными на глаз скачками, а тем более чтобы не допустить выхода цели из зоны наблюдения к концу данного цикла обзора пространства.

Вместе с тем имеются основания для понижения скорости вращения антенны. Во-первых, если антенна имеет большие габариты, то ее конструкция не всегда позволяет обеспечить вращение с большой скоростью. Во-вторых, чем меньше скорость вращения антенны, тем больше длительность облучения объекта за один цикл обзора  $T_{обл}$  и тем больше импульсов  $N$  попадает на объект за время  $T_{обл}$ , а это благодаря интегрирующему действию электронов, падающих на экран индикатора, улучшает наблюдаемость сигналов.

Если антенна совершает круговой обзор со скоростью  $n$  об/мин, то один оборот антенны происходит за  $\frac{60}{n}$  сек., и так как на долю основного лепестка диаграммы направленности приходится  $\frac{(2\varphi')^\circ}{360}$  часть оборота антенны, где  $(2\varphi')^\circ$  — ширина диаграммы направленности антенны в горизонтальной плоскости в градусах, то цель за один цикл обзора облучается в течение времени

$$T_{обл} = \frac{60}{n} \frac{(2\varphi')^\circ}{360} = \frac{(2\varphi')^\circ}{6n}. \quad (12)$$

В общем случае число импульсов, облучающих цель за один цикл обзора, равно

$$N = T_{\text{обл}} F_0, \quad (13)$$

а в данном случае, т. е. при круговом обзоре пространства,

$$N = T_{\text{обл}} F_0 = \frac{(2\varphi') F_0}{6n}. \quad (14)$$

Полученная формула подтверждает, что наблюдаемость цели на фоне помех тем лучше ( $N$  тем больше), чем шире диаграмма направленности антенны, больше частота следования импульсов и меньше скорость вращения антенны. Расширение диаграммы направленности не всегда возможно, так как это противоречит требованиям повышения точности измерения и разрешающей способности станции по угловым координатам. Скорость вращения, как было сказано, не всегда может быть понижена в связи с требованием непрерывности наблюдения сигналов.

При круговом обзоре пространства антенна вращается только по азимуту, а при винтовом, спиральном и других видах обзора движение антенны одновременно происходит по азимуту и углу места. В связи с этим в первом случае антенна за один цикл обзора совершает один оборот, а в остальных случаях — несколько. Отсюда следует, что при круговом обзоре пространства можно установить меньшую скорость вращения антенны для получения необходимых длительности облучения  $T_{\text{обл}}$  и числа импульсов  $N$ , не опасаясь при этом скачкообразного движения отметки по экрану трубки. Однако круговой метод обзора пространства может быть применен только при широкой диаграмме направленности в вертикальной плоскости, обеспечивающей большую зону обзора за один оборот антенны.

Д л и т е л ь н о с ь и м п у л ь с а  $\tau$  выбирают из следующих соображений. Уменьшение длительности импульса позволяет:

а) повысить разрешающую способность станции по дальности  $\Delta D_{\text{р.с}}$  и уменьшить минимальную дальность обнаружения  $D_{\text{min}}$ , поскольку

$$\Delta D_{\text{р.с}} \approx D_{\text{min}} \approx \frac{c\tau}{2};$$

б) увеличить скважность импульсов  $Q = \frac{T_0}{\tau}$  и тем самым уменьшить мощность рассеяния на аноде генератора СВЧ, а также мощность, подводимую к генератору;

в) увеличить крутизну фронта импульса, т. е. увеличить угол  $\alpha$ , входящий в формулу (4), благодаря чему снижается погрешность измерения дальности.

Теперь оценим влияние длительности импульса на дальность действия станции. С укорочением импульса расширяется спектр его частот; это требует расширения полосы пропускания приемника:

$$\Delta f = \frac{\xi}{\tau}, \quad (15)$$

что влечет за собой понижение чувствительности приемника. Коэффициент  $\xi$ , находящийся в пределах 1,2—3<sup>1</sup>, тем больше, чем выше требования по точности измерения дальности. С точки зрения чувствительности приемника существует наиболее выгодное (оптимальное) значение этого коэффициента  $\xi_{\text{опт}}$ . Оно определяет максимальную дальность обнаружения, которую можно выразить при помощи формул (3), (11''), (15):

$$D_{\text{max}} = \sqrt{\frac{P_{\text{и}} G^2 \lambda^2 \sigma_{\text{ц}}}{(4\pi)^3 P_{\text{с min}}}} = \sqrt{\frac{P_{\text{и}} G^2 \lambda^2 \sigma_{\text{ц}} \tau}{(4\pi)^3 D_{\text{р}} N_{\text{ш}} k T \xi_{\text{опт}}}}. \quad (16)$$

Как видно из полученного выражения, увеличение длительности импульса увеличивает дальность обнаружения непосредственно за счет повышения энергии каждого импульса  $P_{\text{и}} \tau$  и косвенно — за счет улучшения наблюдаемости сигналов (понижения коэффициента различимости  $D_{\text{р}}$ ).

Наконец, следует иметь в виду, что длительность импульса должна быть достаточно большой, чтобы на его протяжении совершилось не менее 100 полных колебаний<sup>2</sup> радиочастоты  $f$ :

$$\tau \geq \frac{100}{f}. \quad (17)$$

Если это условие не выполняется, то нормальный режим устанавливается лишь к концу генерирования радиоимпульса, вследствие чего понижается амплитуда колебаний генератора и частота этих колебаний оказывается неустойчивой.

Частота следования импульсов  $F_0$ . Нижний предел частоты следования импульсов определяется минимальным, необходимым для качественного наблюдения эхо-сигналов, числом импульсов  $N_{\text{min}}$ , облучающих цель за один цикл обзора. Судя по формуле (13), это условие можно записать так<sup>3</sup>:

$$F_0 \geq \frac{N_{\text{min}}}{T_{\text{обл}}},$$

где  $N_{\text{min}} = 5 \div 10$ . В большинстве случаев число импульсов, облучающих объект за один цикл обзора, значительно больше этой величины. Желательно, чтобы частота следования импульсов была высокой еще по той причине, что это увеличивает дальность действия станции за счет улучшения наблюдаемости сигналов на экране индикатора [уменьшения  $D_{\text{р}}$  в формуле (16)].

Верхний предел частоты  $F_0$  ограничивается максимальной дальностью действия станции  $D_{\text{max}}$ , поскольку период следования импульсов  $T_0$  должен быть достаточно велик, чтобы до появления сле-

<sup>1</sup> В. В. Мигулин. Лекции по основам радиолокации. Изд. МГУ, 1958.

<sup>2</sup> А. П. Сиверс, Н. А. Сулов. Основы радиолокации. «Советское радио», 1956.

<sup>3</sup> К. М. Листов, К. Н. Трофимов. Радио и радиолокационная техника и их применение. Воениздат, 1960.

дующего зондирующего импульса можно было принять сигнал, отраженный от объекта, расположенного на расстоянии  $D_{\max}$ :

$$T_0 \geq 1,2 \frac{2D_{\max}}{c} \text{ или } F_0 \leq \frac{c}{2,4D_{\max}}.$$

Коэффициент 1,2 учитывает необходимость увеличения периода следования импульсов на время обратного хода развертки и позволяет избежать появления на повторной развертке отметок объектов, удаленных более чем на  $D_{\max}$ .

Итак, частота  $F_0$  должна находиться в пределах

$$\frac{c}{2,4D_{\max}} \geq F_0 \geq \frac{N_{\min}}{T_{\text{обл}}}. \quad (18)$$

Частота следования импульсов должна быть увязана с длительностью импульсов, так как генератор СВЧ рассчитывается по номинальной мощности на определенную скважность импульсов:

$$q = \frac{T_0}{\tau} = F_0 \tau.$$

На этом заканчиваем изложение соображений по выбору основных параметров радиолокационной станции. В следующих главах покажем, как эти общие соображения применяются к конкретным типам радиолокационных устройств.

---

# РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ

## НАЗЕМНЫЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ СТАНЦИИ

---

### Глава I

## РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ СТАНЦИИ ОБНАРУЖЕНИЯ И НАВЕДЕНИЯ

### § 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1. Станции дальнего обнаружения и станции, предназначенные для ближнего обнаружения и наведения своих истребителей, имеют много общих элементов.

Одним из основных качественных показателей станций обнаружения является их максимальная дальность действия. Как известно, радиоволны сверхвысоких частот практически почти не обладают свойством дифракции (огибания неровностей поверхности). В связи с этим предельная дальность радиолокационных станций ограничивается прямой видимостью облучаемого объекта с учетом рефракции в нижних слоях атмосферы.

Предельная дальность  $D_{пр}$  в км вычисляется по формуле

$$D_{пр} = 4,18 (\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2}),$$

где  $H_1$  — высота антенны радиолокационной станции в м;

$H_2$  — высота облучаемого объекта в м.

В данном случае речь идет об обнаружении воздушной цели наземной радиолокационной станцией, а поэтому  $H_1 \ll H_2$ , и первым слагаемым можно пренебречь по сравнению со вторым.

В то время, когда «потолок» самолетов достигал, скажем, 10 км, предельная дальность была

$$D_{пр} = 4,18 \sqrt{H_2} = 4,18 \sqrt{10^4} = 418 \text{ км},$$

а в настоящее время, когда высота полета самолетов намного больше, эта величина значительно возросла. Например, при высоте  $H_2 = 20$  км

$$D_{пр} = 4,18 \sqrt{2 \cdot 10^4} = 4,18 \cdot 1,41 \cdot 10^2 = 589 \text{ км}.$$

В связи с тем, что управляемые снаряды совершают полет на высотах, значительно больших, чем самолеты, предельная дальность радиолокационных станций, предназначенных для обнаружения снарядов, должна быть еще больше — примерно 5000 км. Сигналы, принимаемые этими станциями, настолько слабы, что они находятся ниже уровня собственных шумов приемника. В качестве примера можно привести радиолокатор сверхдальнего обнаружения системы BMEWS, имеющий дальность действия 5500 км.

2. Когда воздушный объект появляется из-за горизонта, угол места его очень мал, а поэтому можно ограничиться определением дальности и азимута объекта. Когда же объект находится на более близком расстоянии, то необходимо также знать его высоту. Вот почему станции дальнего обнаружения иногда бывают двухкоординатными, а станции ближнего обнаружения и наведения обязательно должны быть трехкоординатными.

3. Станции обнаружения и наведения преимущественно работают по импульсному методу. Применение этого метода в данном случае оправдывается тем, что импульсная модуляция позволяет легко определять три координаты объекта и использовать одну и ту же антенну для передачи и приема.

4. Как видно из формулы (18),

$$\frac{c}{2,4D_{\max}} \geq F_0 \geq \frac{N_{\min}}{T_{\text{обл}}},$$

частота следования импульсов станций обнаружения из-за большой дальности действия  $D_{\max}$  выбирается малой ( $F_0$  не превышает 600 имп/сек) <sup>1</sup>. Вместе с тем для увеличения дальности действия необходимо обеспечить облучение цели за один цикл обзора достаточно большим числом импульсов  $N_{\min} = 4 \div 10$ . Отсюда следует, что неравенство (18) требует увеличения продолжительности облучения цели  $T_{\text{обл}}$  за один цикл обзора. Это требование наиболее легко удовлетворяется при круговом обзоре лучом, имеющим большую ширину в вертикальной плоскости. Если же обзор производить иглообразным лучом некруговым методом, то, поскольку один цикл обзора будет совершаться за несколько оборотов антенны, возникнет опасность скачкообразного движения отметки по экрану индикатора.

При круговом методе обзора пространства возникают большие трудности в измерении угла места. Дело в том, что если круговой обзор пространства производить иглообразным лучом, то зона обзора будет крайне ограничена по углу места. Если же использовать веерную диаграмму направленности, сжатую в горизонтальной плоскости, то можно обеспечить обнаружение воздушных целей в большом диапазоне по углу места и измерить азимут объекта с достаточно большой точностью, но высоту самолета определить не удастся.

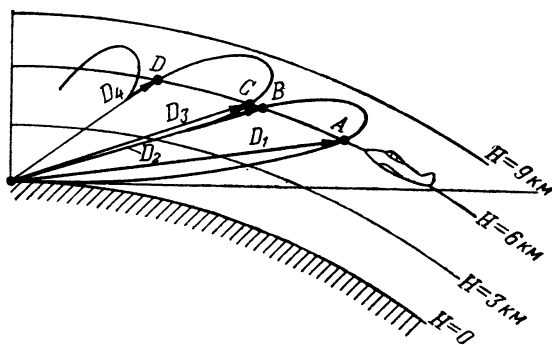
Это противоречие разрешается по-разному в зависимости от того, в каком диапазоне волн работает станция.

5. Длительное время иностранные станции обнаружения и наведения, за редкими исключениями, работали только на метровых волнах. Основанием для этого служило то обстоятельство, что на метровых волнах можно было сконструировать передатчик значительно большей мощности и приемник большей чувствительности, чем на дециметровых и сантиметровых волнах, что очень важно для станций обнаружения самолетов. Так как на метровых волнах труд-

<sup>1</sup> Техника радиолокации, ч. I, II. Перев. с англ. под редакцией В. И. Шамшура, Воениздат, 1949.



но создать большое превышение линейных размеров антенны по сравнению с длиной волны, то диаграмма направленности антенны метровых волн имеет большую ширину, в связи с чем излучаемые и принимаемые волны неизбежно отражаются от земли и это создает увеличение напряженности поля в направлении максимального действия антенны. Следует заметить, что если бы антенна была остронаправленной, то за счет большого коэффициента усиления антенны выигрыш в дальности действия станции получился бы большим. Отражение от земли делает диаграмму направленности антенны в вертикальной плоскости многолепестковой; соответственно изменяется зона обнаружения станции, по которой можно определить угол места объекта.



Фиг. 14. Определение угла места по зоне обнаружения радиолокационной станции, работающей на метровых волнах.

Высоту или угол места самолета при использовании многолепестковой диаграммы направленности измеряют так. Оператор фиксирует дальность  $D$  самолета, летящего на неизвестной высоте  $H$  (по фиг. 14  $H=6$  км), когда самолет пересекает зону первого лепестка ( $D=D_1, D_2$ ), второго лепестка ( $D=D_3, D_4$ ) и т. д. Признаком начала и конца обзора в данной зоне является появление и исчезновение отметки самолета на экране индикатора. Зная  $D_1, D_2, D_3, D_4$ , оператор наносит точки  $A, B, C, D$  на карту зоны обзора станции и таким образом определяет высоту или угол места самолета.

Другой более совершенный метод определения угла места основан на использовании горизонтальных вибраторных антенн, расположенных на разных высотах (фиг. 15, а). Каждая такая антенна имеет в вертикальной плоскости диаграмму направленности, которая описывается уравнением

$$F(\delta) = \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} h \sin \delta\right),$$

где  $h$  — высота антенны над землей;

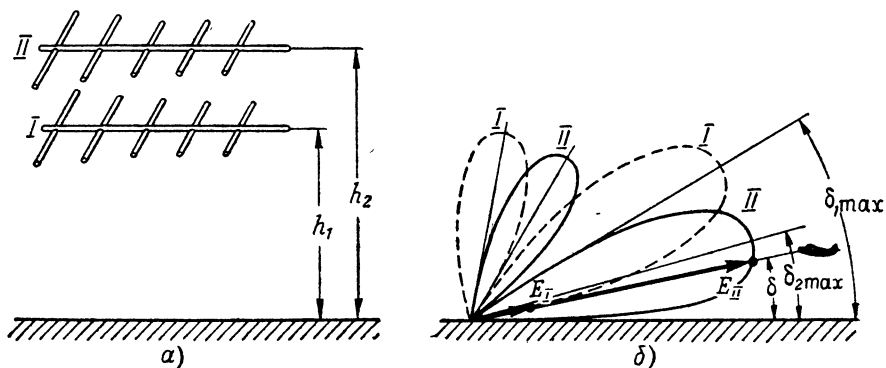
$\delta$  — угол места в данном направлении.

Максимум ближайшего к земле лепестка диаграммы направленности антенны находится под углом места  $\delta_{\max}$  согласно формуле

$$\sin \delta_{\max} = \frac{\lambda}{4h}.$$

На фиг. 15, б для сравнения показаны диаграммы направленности в вертикальной плоскости антенны *I*, расположенной на высоте  $h_1$ , и антенны *II*, имеющей высоту  $h_2 > h_1$ . Диаграмма второй антенны более «прижата» к земле, чем первой, так как ее высота больше.

В таких системах угол места можно измерить, подключая вход приемника попеременно то к антенне *I*, то к антенне *II* и синхронно смещая линию развертки по горизонтالي. В результате на экране индикатора от каждого объекта получаются две рядом расположенные отметки. Если обнаружен самолет, находящийся под каким-



Фиг. 15. Определение угла места с помощью системы антенн, имеющих различную высоту.

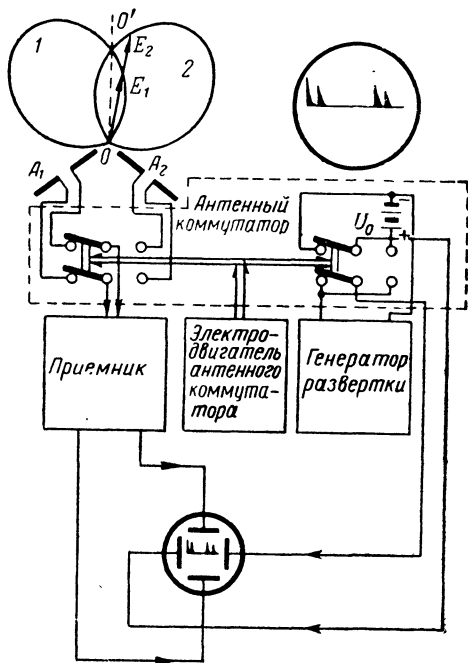
то углом места, то этот угол можно определить по соотношению амплитуд отметок при включении антенн *I* и *II* благодаря тому, что амплитуды отметок пропорциональны отрезкам  $E_I$  и  $E_{II}$  известных оператору диаграмм направленности. Для ускорения отсчета оператор пользуется предварительно построенными графиками зависимости угла места от соотношения амплитуд отметок.

Дальнейшим развитием этой системы является одновременное включение в схему обеих антенн при условии плавного регулирования их результирующей диаграммы направленности. В процессе измерений с помощью гониометра изменяется соотношение токов в антеннах. В одном крайнем положении гониометра питание поступает только в антенну *II*, и тогда получается диаграмма *II* с максимумом первого лепестка под углом  $\delta_{2\max}$ . По мере движения ползунка гониометра ток в антенне *II* уменьшается, а в антенне *I* усиливается, и когда ползунок гониометра достигает другого крайнего положения, ток полностью сосредоточивается в антенне *I*. Согласно ее диаграмме направленности (*I*) максимум излучения и приема получается под углом  $\delta_{1\max} > \delta_{2\max}$ .

Очевидно, что одновременно с изменением угла  $\delta_{\max}$  изменяется и направление минимального излучения и приема, поэтому шкалу гониометра можно градуировать по углу места, соответствующему моменту пропадания отметки объекта на экране индикатора дальности. Точность такого способа измерения выше, чем в предыдущем случае, благодаря большей крутизне лепестков диаграммы в области минимумов излучения. Не менее важным преимуществом системы с гониометром является упрощение процесса отсчета угла места.

6. Азимут в станциях обнаружения определяют по методу максимума или по методу равносигнальной зоны. Первый метод в станциях метровых волн дает большую погрешность. Например, в станции SCR-270<sup>1</sup> при длине волны  $\lambda = 3$  м восьми-этажная многовибраторная антенна, в каждом этаже которой находятся четыре полуволновых вибратора, имеет ширину диаграммы направленности в горизонтальной плоскости  $2\varphi' = 28^\circ$ , а в вертикальной плоскости —  $2\delta' = 11^\circ$ . Согласно формуле (8) точность измерения угловых координат по методу максимума составляет 0,1—0,25 ширины диаграммы направленности в соответствующей плоскости. Стало быть, в данном случае, несмотря на весьма большие размеры антенны, точность измерения азимута не превышает 3—6°. Такая погрешность велика даже для станций обнаружения.

Точность определения азимута значительно повышается при переходе к методу равносигнальной зоны. Этот метод в станциях метровых волн может быть применен следующим образом. Имеются две антенны  $A_1$  и  $A_2$  в виде одиночных вибраторов или системы вибраторов, диаграммы направленности которых пересекаются в азимутальной плоскости, как показано на фиг. 16. Антенный коммутатор, приводимый в движение электродвигателем, попеременно подключает одну из антенн к входу приемника, выход которого соединяется с вертикально отклоняющими пластинами



Фиг. 16. Блок-схема определения азимута по методу равносигнальной зоны на метровых волнах.

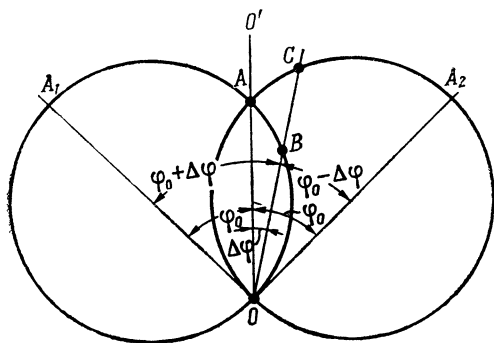
<sup>1</sup> Радиолокационная техника, ч. I, II. Перев. с англ. «Советское радио», 1949.

трубки индикатора. Синхронно антенный коммутатор производит переключения развертки: когда включена антенна  $A_1$ , то напряжение развертки подается на горизонтально отклоняющие пластины только с генератора развертки, а при включении антенны  $A_2$  последовательно с генератором развертки включается источник постоянного напряжения  $U_0$ . За счет  $U_0$  вся линия развертки смещается вправо. Если коммутация происходит достаточно быстро, то это позволяет одновременно наблюдать отметки импульсов, принятых каждой из антенн.

В процессе вращения антенной системы изменяется соотношение между э. д. с.  $E_1$  и  $E_2$ , индуцируемых в антеннах  $A_1$  и  $A_2$ , и соответственно изменяются высоты отметок 1, 2. Когда отражающий объект попадает на равносигнальное направление  $OO'$ , отметки уравниваются по высоте и отсчет азимута производится по положению антенны в данный момент времени.

В действительности оператор отмечает положение антенны, когда объект находится в пределах некоторой зоны, называемой равносигнальной. Это объясняется тем, что оператор не в состоянии заметить сколь угодно малое нарушение равенства амплитуд отметок, особенно если высота отметки колеблется под влиянием помех.

7. Для того чтобы оценить эффективность равносигнального метода, рассмотрим случай, когда обе антенны  $A_1, A_2$  используются для передачи и приема и каждая из антенн представляет собой горизонтальный



Фиг. 17. Определение азимута по методу равносигнальной зоны.

диполь Герца. Диаграмма направленности такой антенны (фиг. 17) близка к диаграмме направленности полуволнового вибратора и описывается уравнением  $F(\varphi) = \cos \varphi$ , где угол  $\varphi$  отсчитывается от направления максимума излучения антенны. Следовательно, напряжение на входе приемника

$$U = k \cos^2 \varphi,$$

где  $k$  — коэффициент пропорциональности.

Когда объект находится на равносигнальном направлении, то угол  $\varphi = \varphi_0$  и напряжение сигнала при включении любой антенны одинаково:

$$U = U_1 = U_2 = k \cos^2 \varphi_0. \quad (19)$$

В случае отклонения объекта от равносигнального направления на угол  $\Delta \varphi$  сигналы на входе приемника различны: напряженность

передающей или приемной антенны определяется отрезком  $OB = \cos(\varphi_0 + \Delta\varphi)$  для  $A_1$  и отрезком  $OC = \cos(\varphi_0 - \Delta\varphi)$  — для  $A_2$ . Следовательно, разность входных напряжений приемника

$$|\Delta U| = k |\cos^2(\varphi_0 + \Delta\varphi) - \cos^2(\varphi_0 - \Delta\varphi)|.$$

Пользуясь известной формулой тригонометрии, получаем

$$|\Delta U| = k |\sin(\varphi_0 + \Delta\varphi + \varphi_0 - \Delta\varphi) \sin(\varphi_0 + \Delta\varphi - \varphi_0 + \Delta\varphi)| = \\ = |k \sin 2\varphi_0 \sin 2\Delta\varphi|,$$

а относительное изменение напряжения с учетом формулы (19)

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{|k \sin 2\varphi_0 \sin 2\Delta\varphi|}{k \cos^2 \varphi_0} = \frac{|2 \sin \varphi_0 \cos \varphi_0 \sin 2\Delta\varphi|}{\cos^2 \varphi_0} = 2 \operatorname{tg} \varphi_0 \sin 2\Delta\varphi.$$

Поскольку угол  $\Delta\varphi$  мал, можно считать, что  $\sin 2\Delta\varphi \approx 2\Delta\varphi$ , и тогда

$$\left| \frac{\Delta U}{U} \right| = |4 \operatorname{tg} \varphi_0 \Delta\varphi|.$$

При соблюдении прямой пропорциональности между амплитудой отметки и входным напряжением приемника отношение  $\frac{\Delta U}{U}$  характеризует относительное изменение амплитуды отметки, и если принять его равным 0,1, то угол  $\Delta\varphi$  определит погрешность отсчета азимута

$$\Delta\varphi = \frac{0,1}{4 \operatorname{tg} \varphi_0} \text{ рад} = \left( 57,3 \frac{0,025}{\operatorname{tg} \varphi_0} \right)^\circ.$$

Как видно из полученного равенства, погрешность отсчета тем меньше, чем больше угол  $\varphi_0$ . Это согласуется с тем, что по мере удаления от максимума диаграммы направленности (увеличения  $\varphi_0$ ) напряженность поля изменяется быстрее, но так как одновременно снижается и уровень сигнала, то антенны располагают с таким расчетом, чтобы их диаграммы направленности пересекались при значениях, соответствующих 0,7—0,8 от максимума диаграммы по напряженности поля. Если в данном случае принять  $F(\varphi_0) = \cos \varphi_0 = 0,707$ , то  $\varphi_0 = 45^\circ$ ,  $\operatorname{tg} \varphi_0 = 1$  и погрешность отсчета азимута

$$\Delta\varphi = \left( \frac{57,3 \cdot 0,025}{\operatorname{tg} \varphi_0} \right)^\circ = 1,43^\circ.$$

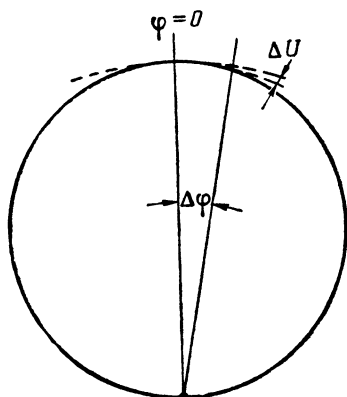
При использовании любой из антенн  $A_1$  или  $A_2$  с диаграммой направленности  $F(\varphi_0) = \cos \varphi$  для определения азимута по методу максимума (фиг. 18) получаем при  $\varphi = 0$   $U = U_{\max} = k \cos^2 \varphi = k$ , а для того чтобы входное напряжение приемника уменьшилось на 0,1 от максимального, т. е. стало равным  $0,9k$ , объект должен отклониться от максимального направления приема на угол

$$0,9k = k \cos^2(\Delta\varphi).$$

Отсюда находим  $\cos^2(\Delta\varphi) = 0,9$ ;  $\cos(\Delta\varphi) = 0,95$ , а погрешность отсчета азимута  $\Delta\varphi = 18^\circ$ . Таким образом, переход к равносигнально-

му методу позволил увеличить точность измерения азимута более чем в 12 раз.

8. К станциям обнаружения и наведения обычно предъявляются более низкие требования по точности определения координат и разрешающей способности, чем к станциям орудийной наводки и другим аналогичным по назначению радиолокаторам. Однако в станциях и обнаружения и наведения желательно иметь достаточно малую ширину диаграммы направленности по азимуту и углу места, чтобы можно было определить количество объектов, находящихся в зоне обзора станции. Кроме того, узкая диаграмма направленности в вертикальной плоскости требуется для точного определения высоты самолета, что очень важно при наведении своих самолетов и других радиолокационных станций. На метровых волнах всего этого достичь практически очень трудно. Возникает необходимость в переходе на дециметровые и сантиметровые волны. Этому пере-



Фиг. 18. Определение азимута по методу максимума.

ходу препятствует поглощение и рассеяние радиоволн в атмосфере, которое особенно ощутимо в коротковолновой части сантиметрового диапазона волн. В станциях дальнего обнаружения потери и рассеяние энергии радиоволн крайне нежелательны из-за необходимости обеспечить большую дальность действия станции.

Исходя из этих соображений, нижнюю границу диапазона волн станций обнаружения устанавливают равной примерно 8 см<sup>1</sup>. Верхняя граница диапазона в значительной мере зависит от возможностей генерирования мощных колебаний и создания остронаправленных антенн.

Состояние зарубежной радиолокационной техники таково, что лишь в последние годы появилась возможность заменить мощный генератор сантиметровых волн — магнетрон — более мощными генераторами дециметровых волн — платинотроном, клистронным усилителем и др., которые можно использовать для дальнего обнаружения объектов. В результате максимальная граница рабочей волны современных станций дальнего обнаружения, по сообщениям иностранной печати<sup>2</sup>, расширилась до 1,5 м.

9. Рассмотрим теперь, как определяются угловые координаты в станциях обнаружения, работающих на сантиметровых и дециметровых волнах.

<sup>1</sup> Генерирование электрических колебаний специальной формы, ч. I, II. Перев. с англ. под редакцией Л. Ю. Блюмберга и Т. Р. Брахмана. «Советское радио», 1951.

<sup>2</sup> Холахан. Современное состояние радиолокации. Радиотехника и радиоэлектроника за рубежом. ИЛ, 1959.

Выше было сказано, что для станций обнаружения и наведения иглообразная форма диаграммы направленности непригодна, поскольку она не обеспечивает за один оборот антенны требуемый по углу места обзор пространства. По этой причине в данном случае могут быть использованы диаграммы направленности типа либо «веерный луч» либо «V-образный луч»<sup>1</sup>.

В первом случае обнаружение и наведение производятся по существу двумя радиолокационными станциями. Обе станции имеют антенны в виде параболического цилиндра или усеченного параболоида. В одной из этих станций, называемой дальномерной, горизонтальный размер антенны значительно больше вертикального, а в другой станции, называемой автономным высотомером, вертикальный размер раскрыва антенны значительно больше горизонтального. Благодаря этому диаграммы направленности антенн имеют форму веера, который сжат в горизонтальной плоскости и вытянут в вертикальной в случае дальномера и, наоборот, сжат в вертикальной плоскости и вытянут в горизонтальной в случае высотомера. Такая форма диаграммы позволяет с большой точностью определить азимут и дальность в дальномере и угол места или высоту в высотомере.

Измерения при наличии автономного высотомера производят в такой последовательности. Сначала антенна дальномера приводится во вращение вокруг вертикальной оси, и когда цель облучается этой антенной, на экране индикатора дальномерной части станции появляется отметка, по которой оператор отсчитывает азимут и дальность цели. Затем оператор дальномера дистанционно разворачивает на известный азимут антенну высотомера. Последняя вращается вокруг горизонтальной оси в заданном секторе, и это позволяет на другом индикаторе определить высоту цели.

Точность определения координат в данной системе получается по дальности 0,5—1 км, по азимуту 0,5—1° и углу места 0,1—0,2°.

Некоторые наземные высотомеры рассчитаны на круговой или секторный поиск по азимуту, который производится с таким расчетом, чтобы независимо от дальномера можно было ориентировочно определить азимут и дальность, а затем уже установить высоту цели<sup>2</sup>.

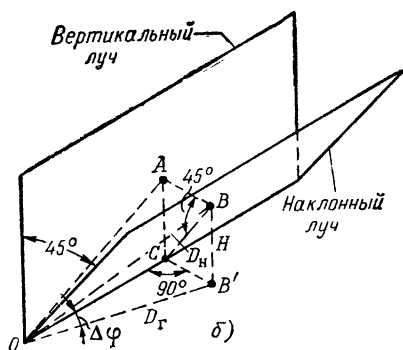
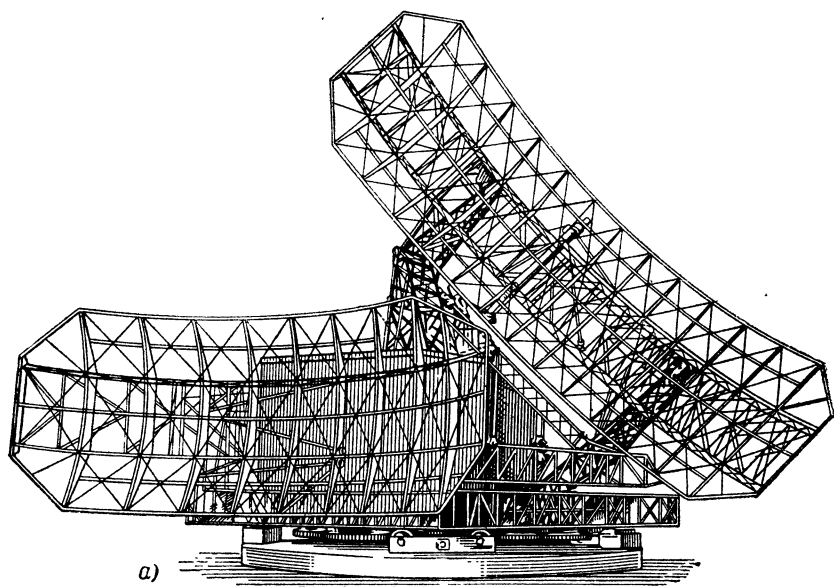
В качестве примера приведем данные наземного высотомера 1S330, предназначенного для определения высоты самолета: длина волны  $\lambda = 10$  см, длительность импульса  $\tau = 1$  мксек, частота следования  $F_0 = 500$  имп/сек, импульсная мощность передатчика  $P_{\text{и}} = 400$  кВт; обзор по углу места ведется в секторе  $\delta = 1^\circ \div +40^\circ$  с частотой 10 циклов в минуту; система позволяет обнаружить объекты на дальностях до  $D_{\text{max}} = 200$  км и на высотах до  $H = 20$  км; диаграмма направленности имеет ширину по азимуту  $2\varphi' = 4^\circ$ , а по углу места  $2\delta' = 0,8$ . Ошибка в определении высоты не превышает 7—8%.

<sup>1</sup> Импульсные радионавигационные устройства. Перев. с англ. под редакцией Д. Д. Дьякова. Воениздат, 1955; К. М. Листов, К. Н. Трофимов. Радио и радиолокационная техника и их применение. Воениздат, 1960.

<sup>2</sup> Радиолокационная техника, ч. I, II. Перев. с англ. «Советское радио», 1949.

Таким образом, автономный наземный высотомер позволяет определить высоту с ошибкой, не превышающей 150—200 м.

Недостатком станций с автономным высотомером, подобным 1S330, является то, что они одновременно определяют высоты лишь



Фиг. 19. Антенная система радиолокационной станции с V-образным лучом (а) и ее упрощенная диаграмма направленности (б).

тех целей, которые находятся на одном азимуте, а это крайне усложняет задачу наведения истребителей на группу самолетов противника. В связи с этим каждому дальномеру обычно придают несколько высотомеров.

10. Иным способом определяется высота в станциях с V-образным лучом. Антенная система такой станции содержит две антенны, расположенные под углом  $45^\circ$  (фиг. 19, а), из которых одна формирует узкий луч, расположенный в вертикальной плоскости, а другая формирует луч примерно такой же формы, но наклоненный под углом  $45^\circ$  к первому (фиг. 19, б). Антенна вращается вокруг вертикальной оси в таком направлении, что она сначала облучает самолет вертикальным лучом, а затем наклонным. Верти-



кальный луч позволяет установить дальность и азимут цели. Определение высоты основано на том, что чем выше находится самолет при данном расстоянии его от радиолокатора  $O$ , тем больше угол  $\Delta\varphi$ , на который поворачивается антенна от момента облучения вертикальным лучом (точка  $A$ ) до момента облучения наклонным лучом (точка  $B$ ).

Спроектируем точку  $B$  на горизонтальную плоскость ( $B'$ ) и получим прямоугольный треугольник  $OB'B'$ , в котором  $OB = D_n$  — наклонная дальность,  $OB' = D_r$  — горизонтальная дальность,  $BB' = H$  — высота полета самолета. Из этого треугольника

$$OB' = D_r = \sqrt{D_n^2 - H^2}.$$

Другой треугольник  $ABC$  равносторонний, так как  $\angle BAC = 90^\circ$ , а углы  $ACB$  и  $ABC$  равны  $45^\circ$ . Следовательно,  $AB = AC = H$ , но так как  $CB' = AB$ , то  $CB' = H$ . Это позволяет, решая прямоугольный треугольник  $OCB'$ , написать  $CB' = OB' \sin \Delta\varphi$  или

$$H = D_r \sin \Delta\varphi = \sqrt{D_n^2 - H^2} \sin \Delta\varphi.$$

Отсюда

$$H^2 (1 + \sin^2 \Delta\varphi) = D_n^2 \sin^2 \Delta\varphi,$$

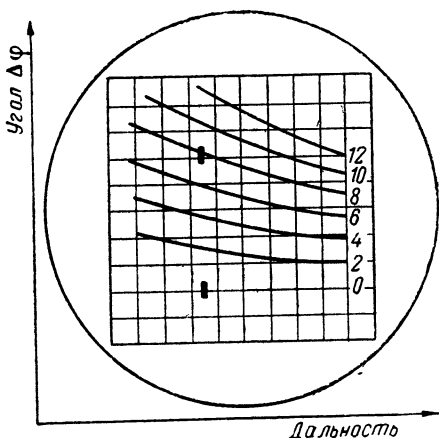
а

$$H = \frac{D_n \sin \Delta\varphi}{\sqrt{1 + \sin^2 \Delta\varphi}}. \quad (20)$$

Полученная формула показывает, что высота воздушной цели полностью определяется ее наклонной дальностью  $D_n$  и углом  $\Delta\varphi$ .

Станция имеет индикатор высоты, на котором в прямоугольной системе координат изображаются наклонная дальность (по горизонтальной оси) и угол  $\Delta\varphi$  (по вертикальной оси) (фиг. 20). Поскольку антенна вращается равномерно, развертка по вертикальной оси, так же как развертка дальности, должна быть линейной.

Перед экраном индикатора находится прозрачный визир, который можно перемещать по вертикали. На визир нанесены кривые постоянной высоты, построенные согласно уравнению (20), выражающему зависимость высоты  $H$  от дальности  $D_n$  и угла  $\Delta\varphi$ . Отсчет угла  $\Delta\varphi$  производится от горизонтальной линии, имеющейся на визире.



Фиг. 20. Индикатор высоты радиолокационной станции с V-образным лучом.

Каждый объект, облучаемый станцией, на одной и той же развертке дальности дает две отметки, смещенные по вертикали на величину, пропорциональную углу  $\Delta\varphi$ . С нижней отметкой совмещается горизонтальная линия визира, соответствующая нулевой высоте («0»), и тогда отсчет высоты производится по расположению верхней отметки относительно кривых, нанесенных на визире.

Станции обнаружения с V-образным лучом дают большую скорость отсчета координат, чем станции с автономным высотомером, но уступают им в точности измерения высоты.

11. Длительность импульсов в станциях обнаружения, как правило, превышает 1 мксек и достигает 10—20 мксек<sup>1</sup>. Такое большое значение  $\tau$  выбирают из тех соображений, что это способствует увеличению дальности действия станции и вместе с тем согласуется с требуемой скважностью импульсов  $q = \frac{1}{F_0\tau}$ : в данном случае

большое значение  $\tau$  компенсируется малой величиной частоты следования  $F_0$ . Если бы скважность импульсов была малой, то не удалось бы в полной мере использовать мощность генераторов СВЧ. Нижний предел длительности импульсов соответствует станциям наведения, работающим на сантиметровых волнах, к которым предъявляются повышенные требования по разрешающей способности, а верхний предел  $\tau$  соответствует станциям обнаружения, работающим на метровых волнах.

12. На волнах порядка 10 см находят применение многоканальные станции обнаружения<sup>2</sup>. Для них характерно наличие нескольких приемо-передатчиков одинаковой схемы и конструкции, отличающихся только по частоте (приблизительно на 10 МГц). Эти приемопередатчики поочередно подключаются к общей антенне на время, скажем, 2 мксек с интервалом в 1 мксек. Видеоимпульсы, снимаемые с выхода приемников разных каналов, комбинируются и подаются на общий индикатор.

Такая система имеет ряд преимуществ: а) принцип сложения мощностей способствует увеличению мощности станции; б) благодаря тому, что диаграмма направленности антенны в вертикальной плоскости многолепестковая и положение этих лепестков зависит от частоты радиоволн, переключение каналов сопровождается смещением диаграммы направленности и расширением зоны обзора станции; в) соответствующим сложением видеоимпульсов различных каналов можно исключить влияние искусственных помех, создаваемых для радиолокатора; г) выход из строя одного канала не лишает возможности вести наблюдение за воздушными объектами.

## § 2. ОСНОВНЫЕ БЛОКИ СТАНЦИИ

**Антенно-фидерные устройства.** В станциях метровых волн используются многовибраторные антенны, состоящие из

<sup>1</sup> Б. Ф. Высоцкий, А. Е. Харыбин. Радиолокационные устройства. Оборонгиз, 1960.

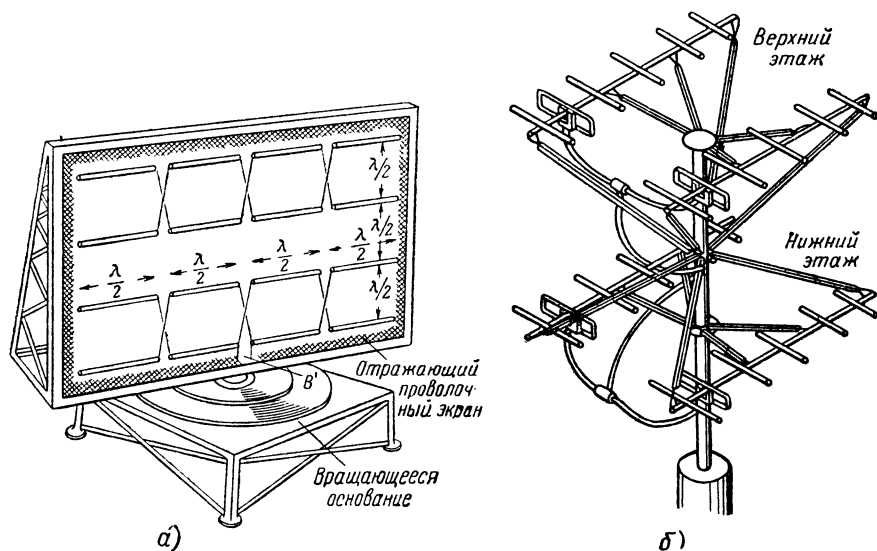
<sup>2</sup> Aviation Week, Jan. 13, 1958, vol. 69, No. 29.

полуволновых вибраторов, расположенных в одной плоскости (фиг. 21, а), или системы вибраторных антенн типа «волновой канал» (фиг. 21, б).

Число вибраторов в каждом этаже многовибраторных антенн выбирают исходя из того, что ширина диаграммы направленности в горизонтальной плоскости тем меньше, чем больше горизонтальный размер антенны по сравнению с длиной волны. Аналогично, исходя из требуемой ширины диаграммы направленности в вертикальной плоскости, устанавливают число этажей вибраторов и высоту антенны над поверхностью земли.

Антенну дополняют рефлектором в виде пассивных вибраторов, смещенных по горизонтали относительно активных вибраторов на  $0,2-0,25\lambda$ . Вся система образует единую жесткую конструкцию, которая приводится во вращение вокруг вертикальной оси.

Каждая антенна типа «волновой канал» содержит активный вибратор (обычный полуволновой или петлевой), один рефлектор и несколько директоров. Диаграмма направленности антенны в го-



Фиг. 21. Антенны станций обнаружения, работающих на метровых волнах:

а—многовибраторная синфазная антенна, б—система волновых каналов.

ризонтической плоскости тем уже, чем больше директоров в каждом волновом канале и чем больше этих каналов в каждом этаже. Число этажей директорных антенн и их высота определяют форму диаграммы направленности в вертикальной плоскости.

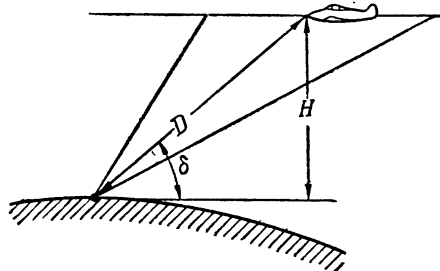
Если угловые координаты измеряют по методу максимума или минимума, то все активные вибраторы обычно питаются с равной амплитудой и синфазно. Если же измерение угла места производят по методу равносигнальной зоны или путем плавного изменения формы диаграммы направленности антенны, то токи, питающие ак-

тивные вибраторы разных этажей антенны, изменяются по фазе или амплитуде скачкообразно или плавно.

За рубежом в станциях обнаружения, работающих на волнах от 10 см до 1 м, используются антенны с параболическим отражателем или линзовые антенны. Размеры этих антенн в ряде случаев очень велики. Так, например, диаметр параболического рефлектора антенны американского радиолокатора, посредством которого ведется наблюдение за советскими искусственными спутниками Земли, равен 25,2 м. Антенна рассчитана на вращение по азимуту в пределах 360°, на наклон по углу места от 0 до 90° и имеет диаграмму направленности шириной 2—4°.

Для того чтобы диаграмма направленности антенны в горизонтальной плоскости была более узкой, чем в вертикальной, параболическому отражателю придают форму цилиндра, горизонтальный размер которого значительно больше вертикального.

Питание этих антенн производится с помощью волноводов. Поскольку поперечное сечение волноводов на волнах длиннее 10 см



Фиг. 22. К выводу уравнения диаграммы направленности антенны типа «косеканс квадрат».

велико, по ним удастся передавать электромагнитные колебания очень большой мощности, которые в данном случае необходимы.

Наиболее рациональное распределение электромагнитной энергии в зоне обзора антенны получается, если антенна имеет диаграммы типа «косеканс квадрат». В этом можно убедиться следующим образом. Если на вход приемника поступает отраженный сигнал, мощность которого  $P_c > P_{c \min}$ , то дальность обнаружения  $D$  меньше максимальной  $D_{\max}$  и формула (11'') принимает вид

$$D = \sqrt[4]{\frac{P_n G^2 \lambda^2 \sigma_{\Pi}}{(4\pi)^3 P_c}},$$

откуда

$$P_c = \frac{(4\pi)^3 D^4}{P_n G^2 \lambda^2 \sigma_{\Pi}}.$$

Дальность  $D$ , высота  $H$  и угол места  $\delta$  объекта согласно фиг. 22 связаны зависимостью

$$D = \frac{H}{\sin \delta} = H \operatorname{cosec} \delta.$$

Следовательно,

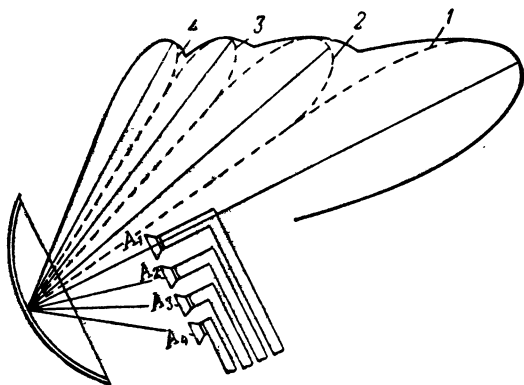
$$P_c = \frac{(4\pi)^3 H^4 \operatorname{cosec}^4 \delta}{P_n G^2 \lambda^2 \sigma_n}.$$

Необходимо, чтобы при данной высоте объекта  $H$  мощность принимаемого сигнала независимо от направления (угла  $\delta$ ) была одинаковой. Для выполнения этого условия отношение  $\frac{\operatorname{cosec}^2 \delta}{G}$  должно иметь постоянную величину  $1/k$ , поскольку  $P_n$ ,  $\lambda$ ,  $H$  и  $\sigma_n$  также являются постоянными величинами.

Таким образом, коэффициент усиления антенны должен изменяться согласно закону «косеканс квадрат».

$$G = k \operatorname{cosec}^2 \delta. \quad (21)$$

На фиг. 23 показано, как можно получить такую диаграмму направленности в наземной станции обнаружения<sup>1</sup>. Параболический отражатель антенны облучается несколькими рупорами  $A_1, A_2, A_3, A_4$ , каждый из которых питается от отдельного волновода. Все облучатели размещены по линии, перпендикулярной оси отражателя. Поэтому только один из них  $A_1$ , находящийся в фокусе отражателя, создает диаграмму направленности 1, максимум которой совпадает с осью рефлектора, а максимумы диаграмм направленности 2, 3, 4 отклоняются в направлении, противоположном смещению соответствующих облучателей  $A_2, A_3, A_4$  от фокуса отражателя. Тем самым расширяется зона обзора станции по углу места и вместе с тем сохраняется высокая направленность антенны по азимуту. Облучатели возбуждаются неравномерно: чем больше рупор смещен от фокуса отражателя, тем меньше мощность, поступающая к нему от передатчика. Благодаря этому интенсивность излучения уменьшается с увеличением угла места  $\delta$  согласно уравнению (21).



Фиг. 23. Принцип получения «косеканс квадратной» диаграммы направленности антенны наземной станции обнаружения.

Антенна с косекансной диаграммой направленности имеет приемлемые размеры на волнах порядка 10 см.

Передатчики станций обнаружения отличаются большой импульсной мощностью, достигающей в ряде случаев 10 Мвт и более<sup>2</sup>. Такая большая мощность требуется в связи с необ-

<sup>1</sup> В. И. Бекетов. Антенны сверхвысоких частот. Воениздат, 1957.

<sup>2</sup> Холыхан. Современное состояние радиолокации. Радиотехника и радиоэлектроника за рубежом. ИЛ, 1959.

ходимостью обеспечить большую дальность действия станции. Для борьбы с помехами применяют также перестройку частоты передатчика при соответствующей перестройке приемника.

Импульсные передатчики состоят из модулятора и генератора СВЧ.

Модулятор импульсного передатчика существенно отличается от модулятора передатчика непрерывных высокочастотных колебаний. Импульсный модулятор состоит из трех основных элементов: источника питания, накопителя энергии в виде реактивного сопротивления и коммутирующего прибора. В интервале между импульсами энергия от источника питания поступает в накопитель, а в короткий промежуток времени генерирования импульса накопленная энергия при помощи коммутирующего прибора подается на генератор СВЧ. Таким образом, потребляя небольшую среднюю мощность от источника питания, удается получить мощный модулирующий импульс постоянного тока.

В передатчиках станции обнаружения в качестве накопителя энергии используются конденсаторы или искусственные линии, а коммутирующими приборами служат вращающиеся разрядники, тригatronы или тирatronы. Выбор этих элементов определяется большой мощностью коммутируемых импульсов и стремлением к увеличению к. п. д. модулятора.

С той же целью увеличения к. п. д. передатчика и упрощения схемы в станциях обнаружения и наведения обычно отказываются от применения подмодулятора, а импульсы модулятора используют не только для управления генератором СВЧ, но и для запуска развертки.

Генераторы СВЧ в станциях метровых волн выполняются по двухтактной схеме. Внешними реактивными элементами в них являются отрезки двухпроводных линий, которые замыкаются коротко подвижными перемычками. Длина линий устанавливается меньше, чем  $\lambda/4$ , с таким расчетом, чтобы они имели входное сопротивление индуктивного характера. Если бы это сопротивление имело

емкостный характер, то волновое сопротивление  $\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$  и эквивалентное сопротивление колебательной системы  $R_{oe} = \rho Q$ , которые и без того малы на СВЧ, стали бы еще меньше, в результате чего генератор работал бы в сильно недонапряженном режиме с пониженной колебательной мощностью и к. п. д.

Применение отрезков длинных линий в качестве внешних индуктивностей позволяет увеличивать стабильность частоты за счет высокой добротности и жесткости конструкции длинных линий.

В станциях сантиметровых волн наиболее употребительными генераторами СВЧ являются многокамерные магнетроны. В настоящее время широкое применение находят также клистроны. Последние в импульсных станциях дальнего обнаружения работают в усилительном режиме. Возбудителем клистронного усилителя служит магнетронный генератор. Один из усилительных клистронов

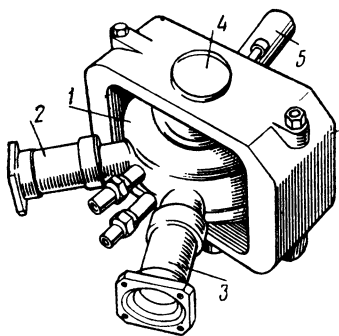
(VA-87C) имеет следующие данные: мощность в импульсе 1 Мвт, длина волны 10,3—10,7 см, коэффициент усиления по мощности 60 дб.

Зарубежная печать<sup>1</sup> сообщает о разработке нового электровакуумного прибора СВЧ — платинотрона. Этот прибор может быть использован в качестве генератора с самовозбуждением или как усилитель мощности. В первом случае платинотрон называется стабилитроном, а во втором — амплитроном. Внешний вид платинотрона показан на фиг. 24.

**Приемники.** В станциях обнаружения используются приемники только супергетеродинного типа, так как супергетеродины обладают наиболее высокой чувствительностью. Особенности приемников станций обнаружения в основном определяются характером принимаемых сигналов и диапазоном волн, в котором работают станции. Приемники станций сверхдальнего обнаружения, применяемые в ряде зарубежных стран, имеют принципиальные особенности, обусловленные необходимостью обнаружения сигналов, уровень которых ниже уровня шумов на входе приемника. Прием таких сигналов возможен, если, например, использовать молекулярные усилители, накопление (интегрирование) сигналов и др.

Основными элементами молекулярного усилителя являются: парамагнитное вещество, содержащее специально подобранный кристалл с примесью ионов соответствующего элемента; объемный резонатор, внутри которого размещается этот кристалл; электромагнит, создающий постоянное магнитное поле в резонаторе; генератор, возбуждающий в резонаторе и в кристалле электромагнитные колебания с частотой  $f_a$ , элементы ввода сигнала с частотой  $f_c$  и вывода его после усиления. Кристаллическое вещество должно быть охлаждено до очень низкой температуры, близкой к температуре абсолютного нуля. Для этого объемный резонатор помещают в криостат.

Работа молекулярного усилителя основана на следующем. В каждом атоме положительно заряженное ядро и электроны, вращающиеся вокруг ядра по эллиптическим орбитам, образуют систему, обладающую некоторой энергией. В свою очередь энергия молекулы зависит от взаимного расположения атомов и от колебательного движения этих атомов относительно своего среднего положения. Под влиянием температуры, электрических и магнитных полей и ряда других



Фиг. 24. Общий вид платинотрона.

1—анодный блок, 2—входной волновод, 3—выходной волновод, 4—постоянный магнит, 5—ввод нити накала.

<sup>1</sup> Платинотрон — новый электровакуумный сверхвысокочастотный прибор. Зарубежная радиоэлектроника. «Советское радио», 1958, № 2.

факторов энергия молекул изменяется или, как говорят, молекулы переходят с одного энергетического уровня  $W_1$  на другой энергетический уровень  $W_2$ . Каждый такой переход не может быть плавным, а происходит скачком и сопровождается поглощением (если энергетический уровень повышается) или излучением (при понижении энергетического уровня) электромагнитных волн. Частота этих волн прямо пропорциональна разности уровней  $W_2 - W_1$ :

$$W_2 - W_1 = hf.$$

Коэффициент пропорциональности  $h$  называется постоянной Планка. Состояние молекулы в веществе тем устойчивее, чем меньше ее энергетический уровень. Поэтому при отсутствии внешнего воздействия на вещество большинство молекул находится на самом низком энергетическом уровне  $W_1$ , меньшее число молекул находится на более высоком уровне  $W_2$ , еще меньшее число молекул — на уровне  $W_3$  и т. д.

Для того чтобы вызвать перераспределение молекул по энергетическим уровням, необходимо возбудить их электромагнитными волнами. В молекулярном усилителе возбуждение производится посторонним сравнительно мощным генератором на частоте  $f_b$ . Эта частота подобрана с таким расчетом, чтобы молекулы парамагнитного вещества переходили с самого низкого уровня  $W_1$ , минуя уровень  $W_2$ , на более высокий уровень  $W_3$ , т. е. выполнялось равенство

$$W_3 - W_1 = hf_b.$$

Теперь равновесие в веществе нарушено, и молекулы, обладающие повышенной энергией, стремятся перейти на более устойчивые, т. е. более низкие энергетические уровни. Такие переходы сопровождаются излучением энергии. Если на уровне  $W_2$  больше молекул, чем на уровне  $W_1$ , то молекулы с уровня  $W_2$  могут перейти на уровень  $W_1$ . Для этого достаточно воздействовать на вещество слабым сигналом частотой  $f_c$ , соответствующей разности уровней  $W_2 - W_1$ :

$$W_2 - W_1 = hf_c,$$

и тогда на той же частоте  $f_c$  произойдет излучение электромагнитных колебаний. При достаточно большой мощности возбудителя число молекул, переходящих с уровня  $W_2$  на уровень  $W_1$ , настолько велико, что излучаемая мощность намного превышает мощность сигнала. Усиление сигнала происходит за счет мощности возбудителя. Заметим, что так как  $W_3 > W_2$ , то частота возбуждения  $f_b$  должна быть больше частоты  $f_c$  усиливаемого сигнала.

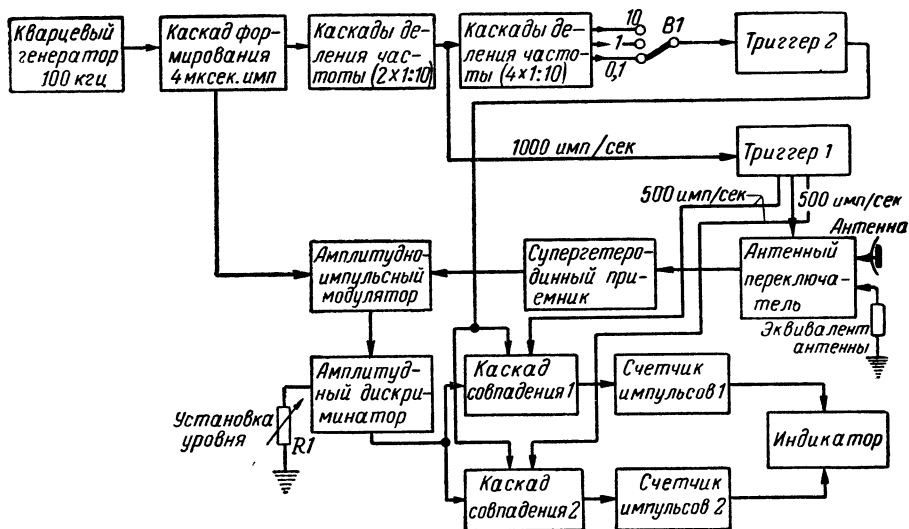
Объемный резонатор усилителя имеет две резонансные частоты  $f_o$  и  $f_b$ . Энергетические уровни, а следовательно, и частота  $f_c$  регулируются подбором постоянного магнитного поля, создаваемого электромагнитом.

Молекулярные усилители имеют преимущество перед электронными усилителями СВЧ в весьма значительном понижении уровня шумов за счет очень низкой рабочей температуры и отсутствия то-



ков проводимости. Если молекулярный усилитель включить на входе приемника, то чувствительность приемника может быть повышена в десятки раз, что для станций сверхдальнего обнаружения крайне важно.

Эффективным способом повышения чувствительности приемника является интегрирование сигналов<sup>1</sup>. Принцип интегрирования заключается в том, что перед измерением уровня отраженных импульсов они задерживаются и длительное время суммируются, благодаря чему сигнал обнаруживается даже при очень низком уровне. Блок-схема приемного устройства, работающего по методу интегрирования сигналов, показана на фиг. 25<sup>1</sup>.



Фиг. 25. Блок-схема приемного устройства, работающего по методу интегрирования импульсов.

Кварцевый генератор возбуждает синусоидальные колебания частотой 100 кГц. В следующем каскаде (ждем мультивибраторе) эти колебания используются для формирования импульсов длительностью 4 мксек и периодом следования 10 мксек, что соответствует той же частоте 100 кГц. В каскадах деления частоты, выполненных преимущественно по схемам ждущих мультивибраторов, частота следования импульсов последовательно уменьшается до 10 000, 1000, 100, 10, 1, 0,1 имп/сек. Импульсы частотой 1000 имп/сек (период 1 мсек) используются для запуска триггера 1, а импульсы частотой 10 (0,1 сек.), 1 (1 сек.) и 0,1 имп/сек (10 сек.) запускают триггер 2. С триггера 1 снимаются импульсы частотой 500 имп/сек на антенный переключатель для попеременного подключения антенны или эквивалента антенны ко входу супергетеродин-

<sup>1</sup> Обнаружение импульсных сигналов, величина которых меньше уровня шумов. Зарубежная радиоэлектроника. «Советское радио», 1958, № 6.

ного приемника. Такие же импульсы разной полярности с триггера 1 подаются на каскады совпадения 1 и 2. Таким образом достигается синхронизм в работе антенного переключателя и каскадов совпадения: когда к приемнику подключена антенна, то работает каскад совпадения 1, а когда подключается эквивалент антенны, то работает каскад совпадения 2.

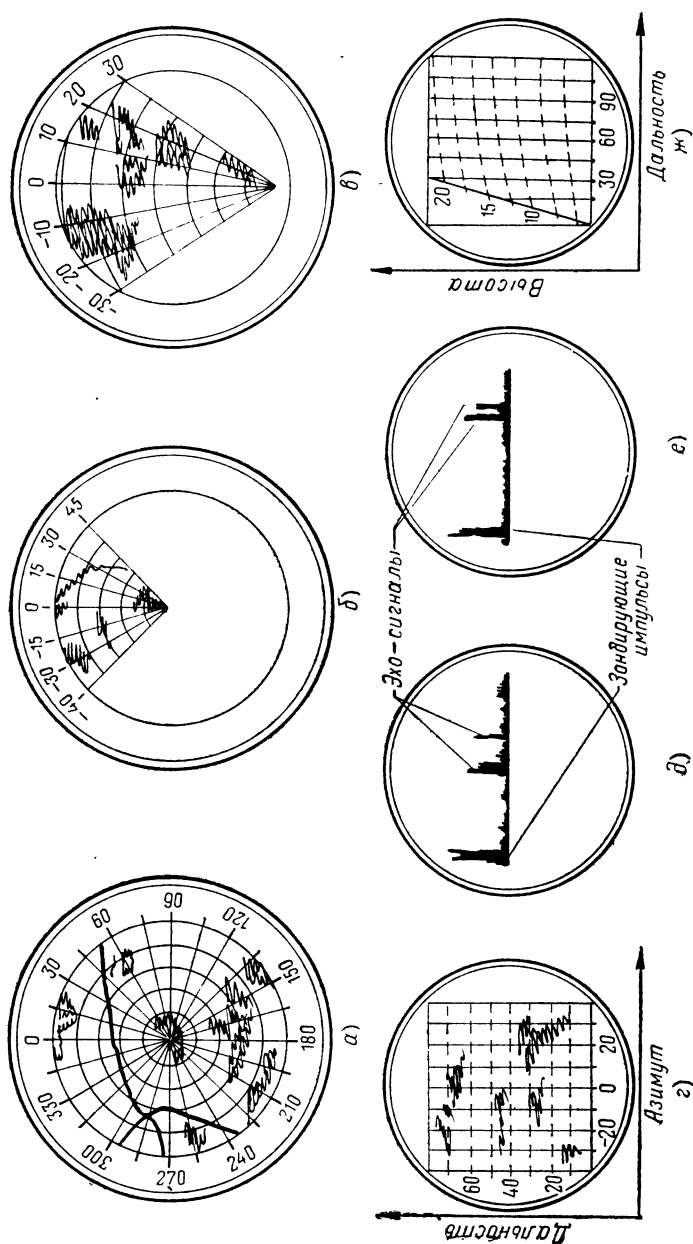
Для отпирания каскадов совпадения необходимо, чтобы с триггера 2 на них были поданы также положительные импульсы (на оба каскада совпадения эти импульсы подаются с одинаковым знаком). Так как длительность импульсов триггера 2 значительно больше длительности импульсов триггера 1, то от положения переключателя В1, подключающего тот или иной каскад деления частоты к триггеру 2, зависит время, в течение которого триггер 1 управляет каскадами совпадения 1, 2, а следовательно, и время интегрирования.

Теперь обратимся непосредственно к процессу интегрирования сигналов. Допустим, что принимаемые сигналы настолько слабы, что их уровень ниже уровня шумов на входе приемника. В таком случае напряжение на выходе приемной антенны имеет шумовой характер, причем средний уровень этого напряжения в отсутствии сигнала численно равен напряжению, которое создавалось бы в омическом сопротивлении, равном сопротивлению излучения антенны. При наличии сигнала средний уровень шумового напряжения выше. Сопротивление эквивалента антенны равно сопротивлению излучения антенны. Следовательно, если из шумового напряжения антенны вычесть шумовое напряжение эквивалента антенны, то полученная разность будет соответствовать принимаемому сигналу. Эта разность по величине ничтожно мала, а потому такое вычитание практически невозможно. Оно совершается другим способом.

Супергетеродинный приемник усиливает и преобразует напряжение, снимаемое с антенны и ее эквивалента. Со второго детектора приемника усиленное и преобразованное шумовое напряжение поступает на амплитудно-импульсный модулятор, на который также подаются импульсы длительностью 4 мксек и периодом следования 10 мксек. В результате эти импульсы изменяются по амплитуде согласно выходному напряжению второго детектора.

Далее следует амплитудный дискриминатор, представляющий собой мультивибратор, который запускается любым импульсом, превышающим по амплитуде величину, устанавливаемую потенциометром R1. Так как импульсы на входе дискриминатора промодулированы по амплитуде согласно среднему уровню шумового напряжения приемника, то число импульсов на выходе дискриминатора зависит от этого уровня в данный момент времени.

Импульсы, полученные в дискриминаторе, подаются на оба каскада совпадения. Пройдя эти каскады, они интегрируются (суммируются) в соответствующих счетчиках импульсов. Благодаря каскадам совпадения интегрирование производится в течение определенного времени, устанавливаемого переключателем В1. На выходе счетчиков получаются постоянные напряжения, пропорци-



Фиг. 26. Индикаторы, применяемые в радиолокационных станциях обнаружения и наведения.  
 а—индикатор кругового обзора, б—секторный индикатор, в—индикатор со смещенным центром, г—индикатор «дальность-азимут» в прямоугольных координатах, д—индикатор дальности типа А, е—индикатор с амплитудной отметкой для определения азимута или угла места (типа К), ж—индикатор «дальность-высота»

ональные числу проинтегрированных импульсов. Постоянные напряжения обоих счетчиков подаются на индикатор так, что они вычитаются в нем. В результате, поскольку через каскад совпадения 1 проходят импульсы, когда к приемнику подключена антенна, а через каскад совпадения 2 проходят импульсы при включенном эквиваленте антенны, индикатор дает показания, пропорциональные среднему уровню сигнала.

Преимущество описанного метода обнаружения сигналов заключается в том, что в таком устройстве измеряется не шумовое напряжение, а импульсы, промодулированные этим напряжением, причем измерению предшествует длительное накапливание (интегрирование) импульсов. В результате удастся обнаруживать сигналы, которые даже слабее напряжения шумов.

**Индикаторы.** В станциях обнаружения и наведения основным является индикатор кругового обзора, на котором измеряются наклонная дальность и азимут в полярных координатах (фиг. 26, а). В данном случае особенно важно преимущество этих индикаторов — они дают наглядное представление о воздушной обстановке вокруг радиолокационной станции и позволяют одновременно наблюдать за несколькими воздушными целями, находящимися в пределах дальности действия станций.

В ряде случаев радиолокационное наблюдение за воздушным пространством одновременно ведется несколькими станциями обнаружения, каждой из которых предоставляется определенный сектор для обзора. Если при этом никаких изменений в ИКО не производить, то экран индикатора будет использован весьма неполно (фиг. 26, б). В таких случаях целесообразно использовать тот же индикатор кругового обзора, но со смещенным центром (фиг. 26, в). В результате масштаб изображения значительно увеличивается, так как просматриваемый сектор изображается на всем экране.

В некоторых станциях обнаружения для этой же цели используется индикатор «дальность-азимут» в прямоугольных координатах типа В (фиг. 26, г). Преимущество таких индикаторов в том, что они позволяют установить любой масштаб по оси азимута. В ИКО такой возможности нет.

В станциях обнаружения и наведения обычно, кроме ИКО, имеются один или несколько индикаторов другого типа. Это может быть индикатор дальности типа А, одна из разновидностей его (например, типа К) или индикатор «дальность-высота», представленные в прямоугольных координатах.

Индикатор типа А (фиг. 26, д) в таких случаях используется для контроля импульсов в различных цепях станции и для измерения дальности целей, находящихся на большом расстоянии от станции. Такие цели создают слабый эхо-импульс, отметка которого может быть более отчетливой, чем на индикаторе кругового обзора. Наиболее распространенной разновидностью индикатора типа А является индикатор типа К (фиг. 26, е), в котором каждый эхо-импульс создает две амплитудные отметки; одна из них соответствует приему на одном лепестке диаграммы направленности, а другая отмет-

ка получается в результате приема на соседнем лепестке той же диаграммы. Сравнивая амплитуды отметок, можно определить азимут или угол места цели по методу равносигнальной зоны.

Индикатор «дальность-высота» (фиг. 26, ж) в основном предназначен для определения высоты. Так как высота

$$H = D_n \sin \delta,$$

где  $\delta$  — угол места, то развертка высоты может быть получена с помощью схемы, формирующей напряжение или ток, выраженные произведением наклонной дальности на синус угла места.

В иностранной печати приводятся данные о широком применении электронных цифровых вычислительных машин. В этом случае индикаторы играют второстепенную роль. В такие машины вводятся данные о координатах и скорости самолетов противника, полученные от радиолокационных станций обнаружения, а также данные станций опознавания своих и чужих самолетов. Электронные вычислительные машины автоматически решают задачу наиболее рационального использования имеющихся средств ПВО. На основании этих решений приводятся в действие истребительная авиация и зенитная артиллерия, в том числе зенитные управляемые ракеты.

### § 3. НАЗНАЧЕНИЕ И ТАКТИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ СТАНЦИИ ОБНАРУЖЕНИЯ П-ЗА

В качестве примера рассмотрим станцию «Пегматит» (П-ЗА), предназначенную для обнаружения и определения координат самолетов противника, находящихся от станции на расстоянии до 120 км.

Основные тактические данные станции. Станция рассчитана на определение трех координат воздушных объектов: наклонной дальности, азимута и высоты.

Пределы измерения наклонной дальности от 5 до 120 км при высоте полета от 1 до 8 км со средней ошибкой, не превышающей 850 м.

Азимут измеряется от  $\varphi = 0^\circ$  до  $\varphi = 360^\circ$  (от 0,00 до 60,00 д. у.)<sup>1</sup> с пониженной и повышенной точностью; во втором случае средняя ошибка не превышает  $\Delta\varphi = 1,3^\circ$ .

Высота  $H$  определяется в пределах угла места  $\delta = 4 \div 18^\circ$  (0,67—3,00 д. у.) со средней ошибкой, не превышающей  $\Delta H = 700$  м для  $\delta < 5^\circ$  и  $\Delta H = 300$  м для  $\delta > 5^\circ$ .

Разрешающая способность станции по дальности  $\Delta D = 2$  км. Время, необходимое для измерения трех координат, не более 25 сек.

Станция является стационарной и размещается в помещении. Питание станции производится от однофазной сети переменного тока напряжением 127 или 220 в и частотой 50 гц или от автономной

<sup>1</sup> Одно большое деление угломера (д. у.) равно  $\frac{1}{60}$  окружности или  $6^\circ$ , а одно малое деление угломера в 100 раз меньше т. е. равно  $\frac{1}{6000}$  окружности, или  $3'36''$ .

электростанции А-4,5, вырабатывающей напряжение 220 в частотой 50 гц.

Технические параметры станции. Режим работы — импульсный. Длительность радиоимпульса  $\tau = 8 \div 12$  мксек. Частота следования  $F_0 = 50$  имп/сек. Мощность в импульсе  $P_{\text{и}} = 75$  квт. Метод обзора пространства — круговой. Скорость вращения антенны изменяется ступенями от 0 до 0,6 об/мин и от 0,6 до 1,5—1,6 об/мин.

Антенная система состоит из основной приемо-передающей антенны  $A_I$  директорного типа и дополнительной приемной антенны  $A_{II}$  того же типа, но с меньшим числом и другим расположением вибраторов; вторая антенна используется для точного определения азимута.

Основная приемо-передающая антенна  $A_I$  имеет коэффициент усиления  $G = 18$  при ширине диаграммы в горизонтальной плоскости  $2\varphi' = 50^\circ$ .

Наклонная дальность измеряется при помощи индикатора типа А.

Грубое определение азимута производится по методу максимума, а точное — по методу равносигнальной зоны.

Высота измеряется по диаграммам направленности антенны с учетом отражения радиоволн от земли.

Основная антенна используется и для передачи и для приема, в связи с чем в схеме предусмотрен антенный переключатель.

Чувствительность приемника по напряжению  $E_A = 10$  мкв, а по мощности  $P_{\text{с min}} = \frac{E_A^2}{\rho_{\text{ф}}} = \frac{(10^{-5})}{75} = 1,35 \cdot 10^{-12}$  вт, где  $\rho_{\text{ф}} = 75$  ом — волновое сопротивление фидера, с которым должен быть согласован вход приемника.

Выбор частоты следования  $F_0 = 50$  имп/сек сделан из соображений крайнего упрощения синхронизации и модуляции путем использования в качестве источника синхронизации сети переменного тока, от которой питается станция. Выбранной частоте следования согласно формуле (18) соответствует максимальная дальность

$$D_{\text{max}} = \frac{c}{2,4F_0} = \frac{3 \cdot 10^8}{2,4 \cdot 50} = 25 \cdot 10^5 \text{ м} = 2500 \text{ км.}$$

Следовательно, с этой точки зрения указанная дальность  $D_{\text{max}} = 120$  км вполне обеспечивается.

Так как частота следования импульсов очень низкая, то длительность импульса может быть взята весьма значительной. В станции принята  $\tau = 8 \div 12$  мксек. При этом скважность импульсов получается равной

$$q = \frac{1}{F_0 \tau} = \frac{1}{50 \cdot 10 \cdot 10^{-6}} = 2000.$$

Проверка длительности импульса на соответствие заданной раз-

решающей способности по дальности показывает, что и это требование удовлетворяется:

$$\Delta D = \frac{rc}{2} = \frac{12 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 10^8}{2} = 1800 \text{ м},$$

что меньше величины  $\Delta D = 2 \text{ км}$ , указанной при перечислении тактических данных станции.

Основная приемо-передающая антенна  $A_1$  имеет в горизонтальной плоскости ширину диаграммы  $2\varphi' = 50^\circ$ .

При грубом определении азимута по методу максимума точность отсчета в данном случае равна  $\Delta\varphi = (0,1 \div 0,2) 2\varphi' = (5 \div 10)^\circ$ . В целях повышения точности измерения азимута в антенную систему введена дополнительная антенна  $A_{II}$ , благодаря чему возможно использовать более точный метод равносигнальной зоны.

Высоту самолета измеряют применением многолепестковой диаграммы направленности антенны в вертикальной плоскости, полученной благодаря отражению радиоволн от земли. Для того чтобы основные лепестки диаграммы были узкими и число их было достаточно для получения требуемого обзора по углу места, антенна  $A_1$  составлена из двух этажей горизонтальных вибраторов, поднятых на большую высоту.

При помощи гониометра можно изменять соотношение между амплитудами токов, питающих нижний и верхний этажи антенны, и таким образом управлять диаграммой направленности в вертикальной плоскости. В результате появляется возможность шкалу гониометра проградуировать в углах места и единицах высоты.

Все перечисленные обстоятельства определили большие габариты и вес антенны, а это заставило установить скорость ее вращения не более  $n = (1,5 \div 1,6)$  об/мин. Согласно формуле (14) при этой скорости число импульсов, облучающих самолет за один оборот антенны, равно

$$N = \frac{(2\varphi')^\circ F_0}{6n} = \frac{50 \cdot 50}{6 \cdot 1,5} = 277.$$

Индикатор дальности типа А является единственным в станции. При точном измерении азимута по методу равносигнальной зоны этот же индикатор преобразуется в одну из разновидностей его — индикатор типа К.

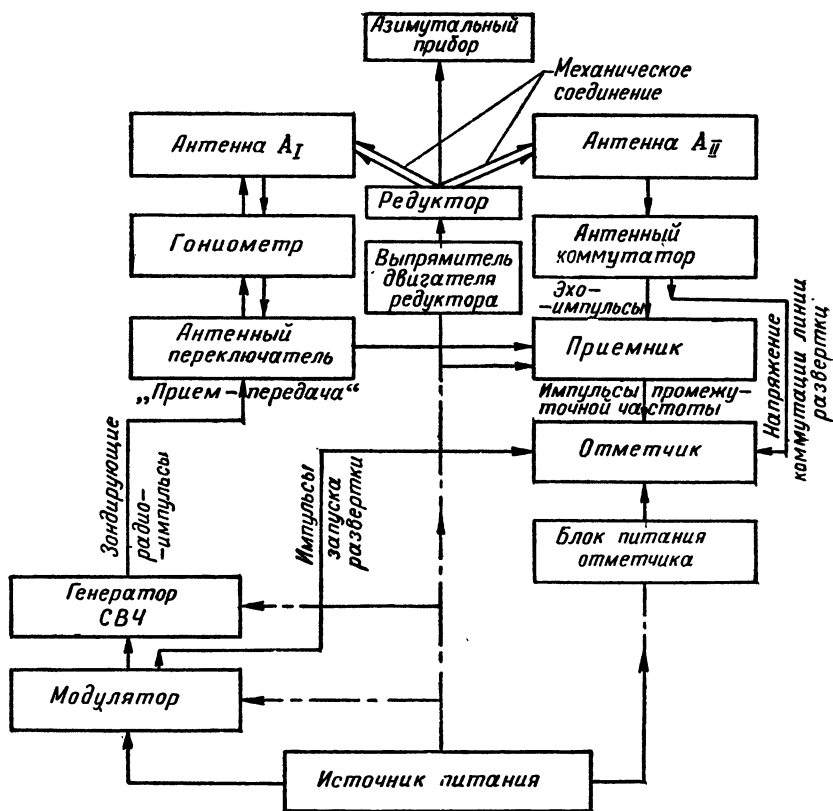
Производя расчет максимальной дальности действия станции, следует учитывать отражение от земли. При высокой проводимости земли отражение от нее удваивает напряженность поля в направлении максимального действия антенны, и так как одна и та же антенна используется для передачи и приема, то получается четырехкратное увеличение напряженности поля, что равнозначно увеличению излучаемой мощности в 16 раз. Имея в виду это обстоятельство и перечисленные технические данные станции, можно убедиться в том, что указанная дальность  $D_{\max} = 120 \text{ км}$  обеспечивается только при достаточной эффективной поверхности рассеяния объекта, порядка  $50 \text{ м}^2$ .

#### § 4. БЛОК-СХЕМА СТАНЦИИ П-3А

Прежде чем перейти к детальному изучению отдельных блоков станции, опишем в общих чертах их взаимодействие (фиг. 27).

Модулятор, запускаемый от сети питания, вырабатывает импульсы постоянного тока с частотой следования  $F_0 = 50$  имп/сек. и длительностью  $\tau = 15 \div 20$  мксек. Импульсы модулятора воздействуют на генератор СВЧ, в результате чего получаются радиоимпульсы с той же частотой следования, но меньшей длительностью —  $8 \div 12$  мксек.

Мощный радиоимпульс передатчика проходит через антенный переключатель и гониометр в основную антенну  $A_I$ . Ее диаграмма направленности в горизонтальной плоскости, показанная на фиг. 28, а, выражается функцией  $F(\varphi)$ , которая имеет максимум при



Фиг. 27. Блок-схема радиолокационной станции П-3А.

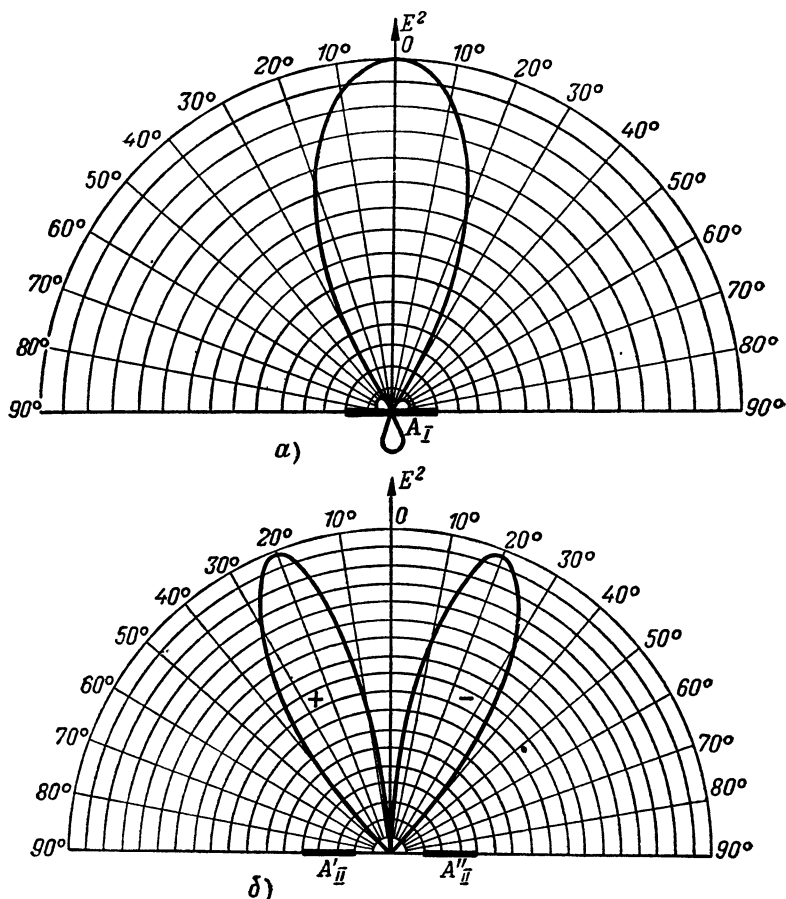
$\varphi = 0$  (в экваториальной плоскости) и плавно уменьшается до нуля с увеличением  $\varphi$  до  $\pm 90^\circ$  (в направлении осей вибраторов). Гониометр (фиг. 27) предназначен для того, чтобы плавно изменять форму диаграммы направленности в вертикальной плоскости посредством



вом перераспределения излучаемой (так же как и принимаемой) энергии между двумя этажами вибраторов антенны.

Последняя непрерывно вращается от электродвигателя через редуктор. Электродвигатель и редуктор образуют единую конструкцию. В процессе вращения антенна последовательно облучает заданную зону обзора. Угловое положение антенны в любой момент времени контролируется азимутальным прибором.

Если в облучаемом пространстве имеется объект, то появляется отраженный импульс, который улавливается той же антенной  $A_I$ .



Фиг. 28. Диаграмма направленности в горизонтальной плоскости:  
а—основной антенны  $A_I$ . б—азимутальной антенны  $A_{II}$ .

проходит через гониометр и антенный переключатель в приемник и после требуемого усиления и преобразования поступает в отметчик.

Благодаря антенному переключателю приемник защищен от мощных зондирующих импульсов во время передачи, а отраженные им-

пульсы во время приема беспрепятственно проходят в приемник и не ответвляются в передатчик.

В станции применен индикатор типа А. На горизонтально отклоняющие пластины подается напряжение от генератора развертки, запускаемого импульсом передатчика, а на вертикально отклоняющие пластины поступают выходные импульсы приемника.

Так как развертка запускается импульсом модулятора, то начало развертки всегда совпадает с моментом излучения зондирующего импульса передатчика, а расстояние между отметками отраженного и зондирующего импульсов, отсчитанное по линии развертки, позволяет судить о дальности воздушного объекта.

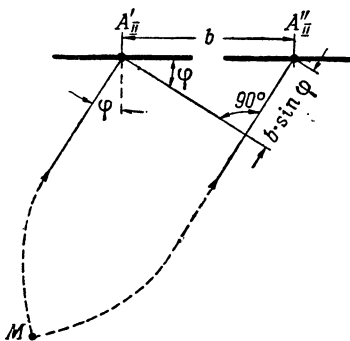
Грубо определить азимут можно по показаниям азимутального прибора в момент получения максимальной амплитуды отметки отраженного импульса, т. е. когда максимум излучения антенны в горизонтальной плоскости направлен на объект.

Отсчет угла места производится по шкале гониометра. Шкалу обычно градуируют исходя из условия, что в момент отсчета диа-

грамма направленности в вертикальной плоскости при помощи гониометра занимает такое положение, при котором направление на объект совпадает с минимумом излучения (т. е. с переходом с одного лепестка диаграммы на другой).

Точное определение азимута, как было сказано, производится при помощи вспомогательной антенны  $A_{II}$ , которая работает только на прием. Она состоит из двух волновых каналов  $A'_{II}$  и  $A''_{II}$ , расположенных в горизонтальной плоскости по обе стороны от  $A_I$  и соединенных между собой в противофазе. Поэтому азимутальная антенна в отличие от основной имеет в горизон-

Фиг. 29. К выводу уравнения диаграммы направленности азимутальной антенны.



тальной плоскости двухлепестковую диаграмму направленности (фиг. 28, б). В этом легко убедиться. Допустим, что каждый отдельно взятый волновой канал не обладает направленными свойствами в горизонтальной плоскости и центры этих полуантенн удалены на расстояние  $b$  (фиг. 29). Тогда волны от произвольной точки пространства  $M$  проходят к полуантеннам  $A'_{II}$ ,  $A''_{II}$  со сдвигом по фазе, обусловленным разностью хода волн  $b \sin \varphi$ . При фазовой постоянной  $\alpha = \frac{2\pi}{\lambda}$  этот сдвиг равен  $\alpha(b \sin \varphi) = \frac{2\pi}{\lambda} b \sin \varphi$ . Следовательно, если в полуантенне  $A''_{II}$  э. д. с. равна  $E_m \sin \omega t$ , то в полуантенне  $A'_{II}$  индуцируется э. д. с.  $E_m \sin(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} b \sin \varphi)$ , а результирующая э. д. с. на входе приемника, соответствующая диаграмме

направленности всей азимутальной антенны  $A_{II}$ , выражается уравнением

$$\begin{aligned} e &= E_m \sin \omega t - E_m \sin \left( \omega t - \frac{2\pi}{\lambda} b \sin \varphi \right) = \\ &= E_m 2 \cos \left[ \frac{\omega t + \left( \omega t - \frac{2\pi}{\lambda} b \sin \varphi \right)}{2} \right] \sin \left[ \frac{\omega t - \left( \omega t - \frac{2\pi}{\lambda} b \sin \varphi \right)}{2} \right] = \\ &= 2E_m \cos \left( \omega t - \frac{\pi}{\lambda} b \sin \varphi \right) \sin \left( \frac{\pi}{\lambda} b \sin \varphi \right). \end{aligned}$$

Последний множитель

$$F'(\varphi) = \sin \left( \frac{\pi b}{\lambda} \sin \varphi \right)$$

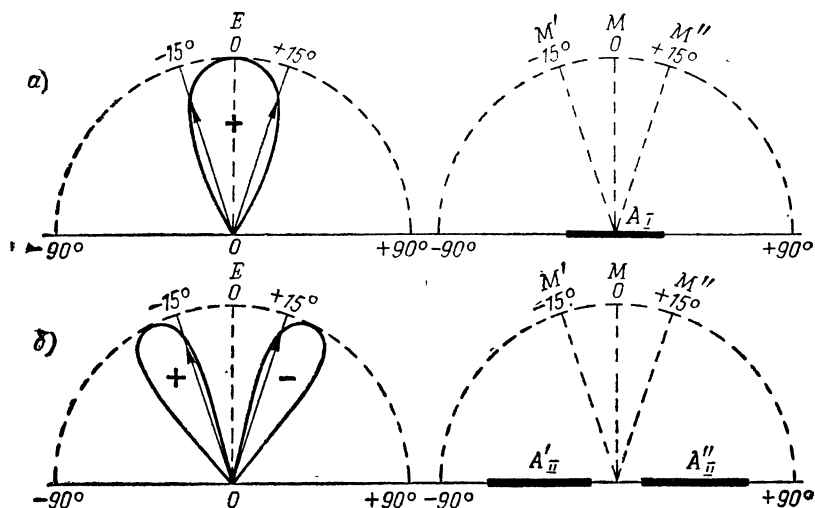
характеризует направленные свойства двух ненаправленных вибраторов, возбуждаемых в противофазе. Так как каждая полуантенна  $A'_{II}$ ,  $A''_{II}$  в действительности направленная и имеет диаграмму примерно такую же, как антенна  $A_I$ , то приведенное уравнение следует дополнить множителем  $F''(\varphi)$ , который достигает максимума при  $\varphi=0$  и равен нулю при  $\varphi=\pm 90^\circ$ . Полученное уравнение

$$F(\varphi) = F'(\varphi) F''(\varphi) = F''(\varphi) \sin \left( \frac{\pi b}{\lambda} \sin \varphi \right)$$

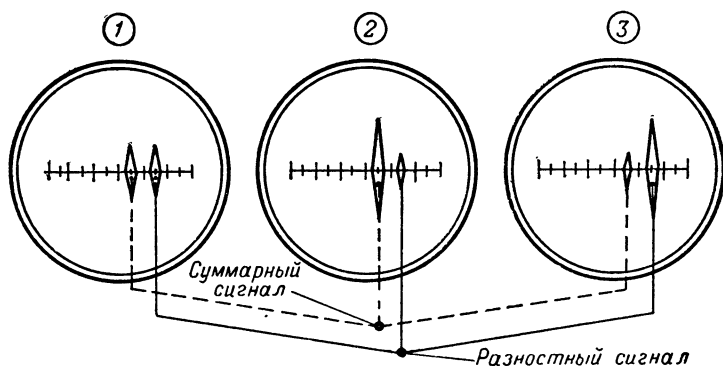
соответствует диаграмме, изображенной на фиг. 28, б. Функция  $F(\varphi)=0$  при  $\varphi=0^\circ$  за счёт множителя  $\sin \left( \frac{\pi b}{\lambda} \sin \varphi \right) = 0$  и при  $\varphi=\pm 90^\circ$  за счёт множителя  $F''(\varphi)=0$ . При перемене знака угла  $\varphi$  функция  $F(\varphi)$ , а следовательно, и э. д. с. на входе приемника изменяют свой знак на обратный.

Поскольку азимутальная антенна работает только на прием, то в ее схеме соединения с приемником антенный переключатель «передача-прием» отсутствует и вместо него включен антенный коммутатор, который выполняет другие функции (см. фиг. 27). Этот коммутатор с частотой 250 циклов в секунду попеременно изменяет фазу выходного напряжения азимутальной антенны на  $180^\circ$ , в результате чего на входе приемника э. д. с. антенн  $A_I$  и  $A_{II}$  то складываются, то вычитаются. Синхронно коммутатор сдвигает линию развертки отметчика на некоторую величину, а затем возвращает ее в исходное положение. В результате на экране индикатора при точном измерении азимута каждому облучаемому объекту соответствуют две рядом расположенные отметки, из которых одна получается при сложении на входе приемника э. д. с. от основной и азимутальной антенн, а другая — при их вычитании.

Если антенная система направлена на самолет ( $M$ ), то согласно диаграммам, показанным на фиг. 30, на вход приемника э. д. с. поступает только от основной антенны. Следовательно, обе отметки имеют одинаковую амплитуду (фиг. 31, 1). При отклонении самолета



Фиг. 30. К вопросу о точном определении азимута.



Фиг. 31. Изображения на экране трубки при точном определении азимута.

та ( $M'$ ) от антенной системы на угол  $\varphi = -15^\circ$  к приемнику подаются э. д. с. от обеих антенн  $A_I$  и  $A_{II}$  и притом одного знака, а поэтому первая (суммарная) отметка имеет большую амплитуду, чем вторая (фиг. 31, 2). При обратном отклонении антенной системы от самолета ( $\varphi = +15^\circ$ ) с выхода антенн  $A_I$  и  $A_{II}$  к приемнику поступают э. д. с. противоположной полярности, в связи с чем первая отметка оказывается меньше по амплитуде, чем вторая (фиг. 31, 3).

В процессе измерения следует вращать антенную систему до получения равных по высоте отметок данного эхо-сигнала, и тогда азимут объекта определяется с повышенной точностью по азимутальному прибору.

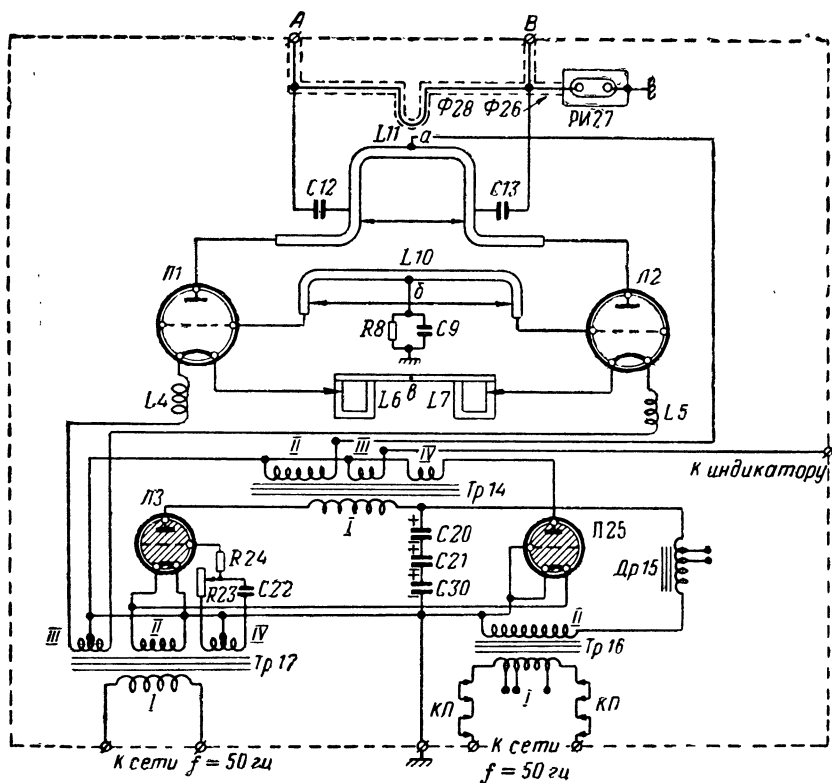
Напряжение питающей сети (см. фиг. 27) поступает в передатчик, приемник, отметчик (имеющий отдельный блок питания) и в выпрямитель электродвигателя редуктора.

## § 5. ПЕРЕДАТЧИК

Обратимся к принципиальной схеме передатчика, изображенной на фиг. 32, и к временным диаграммам, показанным на фиг. 33.

Передатчик состоит из модулятора и генератора СВЧ, работающего на двух триодах Л1, Л2 типа ГИ-1.

Модулятор выполнен на тиратроне Л3 типа ТГ-15/3000 и вспомогательной лампе Л25 — тиратроне ТГ-8/3000, в котором сетка и катод замкнуты накоротко.



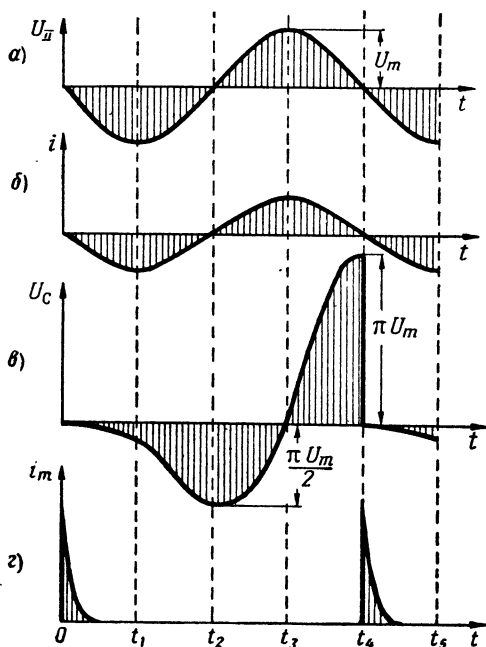
Фиг. 32. Принципиальная схема передатчика радиолокационной станции П-3А.

Кроме перечисленных элементов, в состав модулятора входят накальный трансформатор Тр17, высоковольтный трансформатор Тр16, импульсный трансформатор Тр14, а также дроссель Др15, включенный в цепь накопительных конденсаторов.

В трансформаторе Тр17 первичная обмотка I питается переменным током частотой 50 гц, с обмотки II снимается напряжение на

нити накала ламп ЛЗ, Л25, а с обмотки III подводится питание к нитям накала ламп Л1, Л2.

В высоковольтном трансформаторе Тр16 обмотка I включается в сеть питания, а обмотка II является повышающей. Напряжение на этой обмотке, имеющее форму синусоиды с амплитудой  $U_m$  (фиг. 33, а), подается через дроссель Др15 на заряд накопительных конденсаторов С20, С21, С30. Весь этот последовательный контур на-



Фиг. 33. Напряжения и токи в схеме модулятора.

строен в резонанс с частотой питающей сети. Благодаря этому ток в контуре  $i$  совпадает по фазе с напряжением на обмотке  $U_{II}$  (фиг. 33, б). При установившемся режиме и резонансе напряжение на конденсаторе контура превышает напряжение источника в  $Q$  раз, где  $Q$  — добротность контура. В данном случае режим неустановившийся, так как коммутирующий прибор через каждый период возвращает схему в исходное состояние. Тем не менее рост амплитуды напряжения на конденсаторе наблюдается: в первый полупериод напряжение на накопительном конденсаторе  $U_C$  достигает  $\frac{\pi U_m}{2}$ , а во второй полупериод  $U_C$  превышает амплитуду напряжения на обмотке II трансформатора Тр16 в  $\pi$  раз. Это показано на фиг. 33, в с учетом того, что между током и напряжением на конденсаторе имеется сдвиг по фазе на  $90^\circ$ : в момент  $t_2$ , когда ток  $i=0$ , напряжение  $U_C$  имеет отрицательный максимум  $\frac{\pi U_m}{2}$ , в момент  $t_3$ , когда ток  $i$  максимальный,  $U_C=0$  и в  $t_4$ , когда  $i=0$ , напряжение на конденсаторе имеет положительный максимум  $\pi U_m$ .

В этот момент должно произойти зажигание тиратрона. Тогда накопительные конденсаторы разрядятся через обмотку I трансформатора Тр14 и участок анод—катод тиратрона ЛЗ (см. фиг. 32). Разрядный ток индуцирует в обмотке II импульс, который в качестве модулирующего подается на аноды генератора СВЧ (фиг. 33, г).

Зажигание тиратрона происходит при положительном напряжении на аноде и при определенном напряжении на сетке, зависящем от напряжения на аноде. Поэтому, подавая на сетку тира-

трона напряжение той же частоты, что и на анод, можно регулировать момент зажигания путем изменения фазового сдвига между сеточным и анодным напряжениями. Для этой цели служит схема, показанная отдельно на фиг. 34, а. Схема состоит из обмотки IV трансформатора Тр17, переменного сопротивления R23, конденсатора C22 и участка сетка—катод тиратрона, включенного между средней точкой обмотки IV и общей точкой в сопротивления R23 и конденсатора C22.

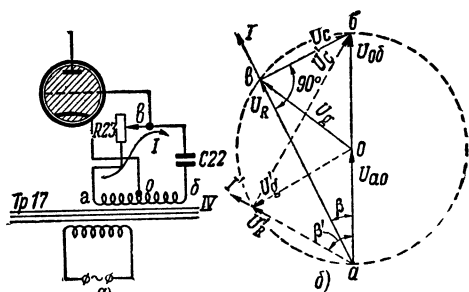
Как видно из принципиальной схемы и векторной диаграммы (фиг. 34, б), напряжение на обмотке IV, равное сумме напряжений  $U_{ao}$  между точками а и 0 и  $U_{ob}$  между точками 0 и б, вызывает в цепи, состоящей из R23 и C22, ток  $I$ , который опережает по фазе напряжение на обмотке IV на угол

$$\beta = \arctg \frac{1}{\omega \cdot C22 \cdot R23}.$$

Этот ток создает на R23 падение напряжения  $U_R$ , совпадающее по фазе с током  $I$ , и на C22 — напряжение  $U_C$ , отстающее по фазе от  $I$  на  $90^\circ$ . Вследствие того, что векторы напряжений  $U_R$  и  $U_C$  сдвинуты по фазе на  $90^\circ$ , а сумма их равна вектору напряжений между а и б, то точка в диаграммы оказывается расположенной на окружности, центр которой находится в точке 0, а вектор напряжения на сетке тиратрона  $U_g = U_{eo}$  выражается радиусом этой окружности.

Отсюда следует вывод, что при плавном изменении переменного сопротивления R23 угол  $\beta$ , а следовательно, и фаза напряжения на сетке тиратрона плавно изменяются и вместе с тем амплитуда этого напряжения остается постоянной. Таким образом, при помощи сопротивления R23 можно добиться, чтобы мгновенное значение напряжения на сетке было таким, какое требуется для зажигания тиратрона в момент установления максимального напряжения на аноде.

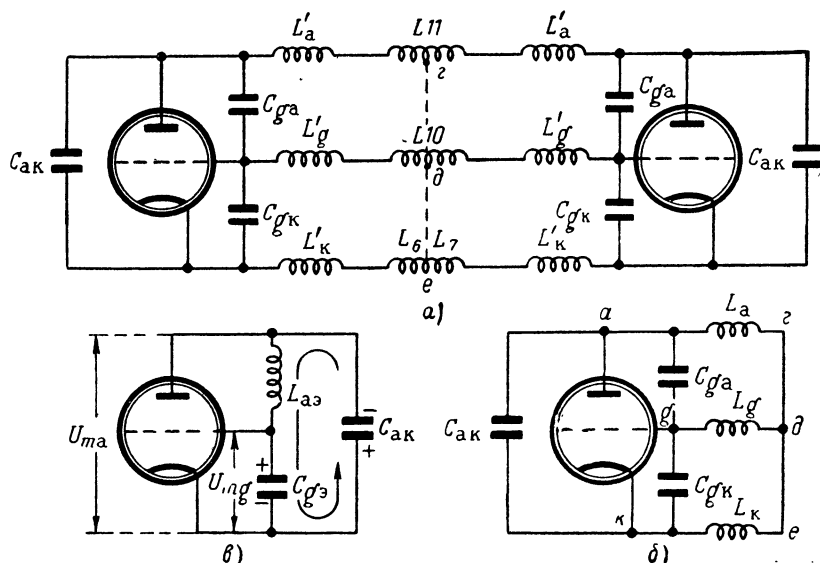
После зажигания тиратрона сетка его теряет управляющее действие, и погасить тиратрон можно лишь понижением анодного напряжения до определенной величины. Параметры разрядной цепи накопительных конденсаторов (см. фиг. 32) подобраны так, что тиратрон гаснет через 15—20 мксек после зажигания. С такой длительностью и амплитудой 20—25 кВ модулирующий импульс подается на аноды генераторов СВЧ. Одновременно с обмотки III трансформатора Тр14 снимается импульс для синхронного запуска разветки в отметчике.



Фиг. 34. Схема регулирования момента зажигания тиратрона (а) и векторные диаграммы напряжений и токов в схеме (б).

Индуктивность рассеяния импульсного трансформатора в совокупности с паразитными емкостями образует колебательный контур. В связи с этим после получения положительного модулирующего импульса могут возникнуть паразитные колебания, которые создают наводки, наблюдаемые на участке экрана, где производится отсчет дальности до 20—30 км.

Для того чтобы исключить или ослабить это явление, в схему включен вспомогательный тиратрон Л25, на анод которого подается напряжение с обмотки IV трансформатора Тр14. Концы этой обмотки подключаются так, чтобы тиратрон Л25 зажегся тогда, когда появляется отрицательная полуволна модулирующего импульса. Тогда в обмотке IV трансформатора Тр14 появляется большой ток,



Фиг. 35. Эквивалентные схемы генератора СВЧ.

за счет которого вносится затухание в остальные обмотки трансформатора и прекращаются колебания в паразитном контуре.

Следует еще остановиться на назначении сопротивления R24. Оно выполняет две функции: ограничивает сеточный ток лампы Л3, поскольку с увеличением этого тока увеличивается падение напряжения на R24 и соответственно уменьшается напряжение на сетке Л3, и препятствует возникновению паразитных колебаний тем, что вносит дополнительное затухание в контуры, состоящие из паразитных индуктивностей и емкостей.

Генератор СВЧ (фиг. 32). Генератор СВЧ работает по двухтактной схеме на триодах Л1, Л2. Колебательная система генератора, кроме междуэлектродных емкостей и индуктивностей вводов, содержит двухпроводные линии L11, L10, включенные в анодную и сеточную цепи, дроссели L4, L5 и коаксиальные линии L6, L7, входя-



щие в катодную цепь. Линии замкнуты накоротко и имеют длину, меньшую  $\frac{\lambda}{4}$ . Благодаря этому их входное сопротивление имеет индуктивный характер.

На эквивалентной схеме генератора СВЧ, изображенной на фиг. 35, а,  $C_{ga}$ ,  $C_{gk}$  и  $C_{ak}$  — междуэлектродные емкости,  $L'_a$ ,  $L'_g$  и  $L'_k$  — индуктивности вводов, а  $L_{11}$ ,  $L_{10}$ ,  $L_6$ ,  $L_7$  — индуктивности линий. В связи с тем, что на одноименных электродах ламп двухтактной схемы напряжения по току первой гармоники численно равны и противоположны по знаку, средние точки  $z$ ,  $d$ ,  $e$  схемы имеют нулевой потенциал и их можно соединить между собой. Тогда эквивалентная схема для одного плеча генератора принимает вид фиг. 35, б. В этой схеме между анодом и катодом включена емкость, а между сеткой и катодом и между анодом и сеткой включены контуры с общей индуктивностью  $L_g$ , которая меньше, чем  $L_a$  и  $L_k$ . Частота генерируемых колебаний равна резонансной частоте всей колебательной системы, а поэтому каждый из двух контуров схемы расстроен.

Если учесть соотношение между индуктивностями:  $L_g < L_a$  и  $L_g < L_k$ , то с некоторым приближением можно считать, что между анодом и катодом имеется только емкость  $C_{ak}$ , и тогда для выполнения правила составления трехточечных схем контуры должны быть расстроены настолько, чтобы их можно было заменить емкостью  $C_{ga}$  и индуктивностью  $L_a$ , согласно схеме, показанной на фиг. 35, в. Выбрав произвольное направление тока в контуре, можно убедиться в противофазности напряжений на сетке и аноде, необходимой для самовозбуждения.

Режим работы генератора зависит от коэффициента обратной связи  $k_{св} = \frac{U_{mg}}{U_{ma}}$ , где  $U_{mg}$  — амплитуда напряжения возбуждения, снимаемого с  $C_{ga}$ , а  $U_{ma}$  — амплитуда переменной составляющей анодного напряжения, снимаемого с  $C_{ak}$ . Так как эквивалентная емкость  $C_g$  зависит от  $L_k$ ,  $L_g$ ,  $C_{gk}$ , то режим работы генератора можно регулировать подвижной перемычкой катодной линии и в меньшей мере — изменением длины сеточной линии.

Для регулировки частоты генерируемых колебаний остается эквивалентная индуктивность  $L_a$ . Отсюда следует, что настройку генератора на требуемую частоту колебаний следует производить подвижной перемычкой анодной линии.

Катодная линия оформлена в виде коаксиального резонатора (см. фиг. 32), который имеет очень высокую добротность. Это способствует стабилизации частоты передатчика, которая, как известно, прежде всего зависит от добротности колебательной системы.

Смещение на управляющую сетку снимается с элементов R8, C9. Начало радиоимпульса совпадает с передним фронтом модулирующего импульса, а конец радиоимпульса определяется гридником. Параметры гридника подобраны так, что по мере генерирования колебаний СВЧ конденсатор гридника все более заряжается, и через 8—12 мксек, т. е. еще до окончания модулирующего импульса, отрицательное напряжение, снимаемое с гридника на сетку, достигает

такой величины, что генератор запирается. Таким образом, в передатчике применена комбинация принудительной и автономной модуляции.

Энергия колебаний СВЧ через конденсаторы С12, С13, подключенные к симметричным точкам анодной линии L11, по коаксиальному фидеру РК-3 отводится от генератора к антенному гониометру. Фидер РК-3 несимметричный, а поэтому для того, чтобы не нарушать симметрию двухтактной схемы генератора, оба конденсатора С12, С13 соединяют только с внутренними проводами отрезков фидера, а между этими отрезками вводят полуволновый шлейф Ф28. Последний фиксирует противофазу напряжений в точках А, В относительно земли, с которой соединяется наружный провод фидера.

Разрядник РИ27 включается в схему передатчика через четвертьволновый шлейф Ф26, изготовленный из фидера РК-3. Мощный импульс передатчика пробивает разрядник и этим замыкает накоротко шлейф, но так как входное сопротивление короткозамкнутой четвертьволновой линии очень велико, то энергия генератора беспрепятственно проходит в антенный гониометр.

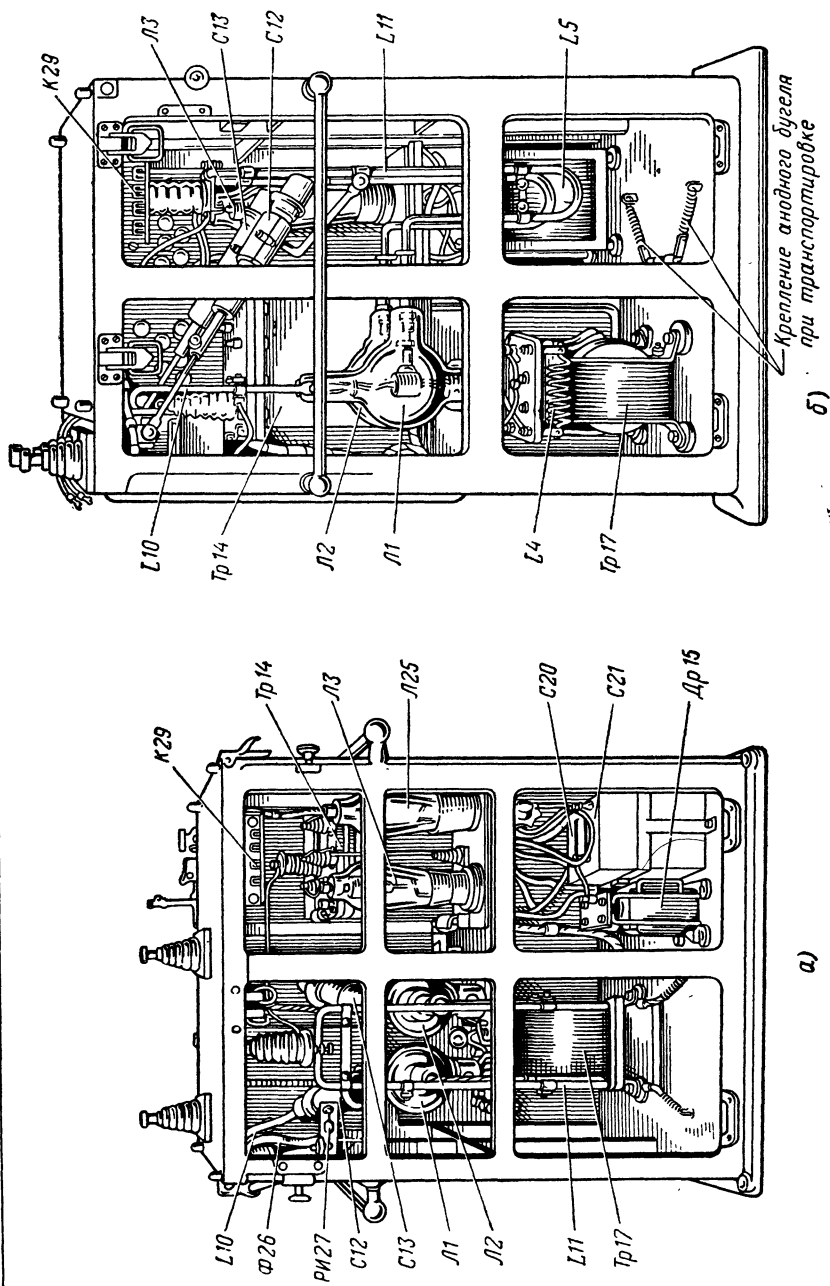
В интервале между импульсами передатчика шлейф представляет собой разомкнутую четвертьволновую линию, и поскольку ее входное сопротивление близко к нулевому, то отраженные сигналы не проникают в схему передатчика.

**Конструкция передатчика.** Передатчик смонтирован на силуминовом каркасе, который составляет нижнюю часть аппаратного шкафа (фиг. 36). Левую половину блока (если смотреть с передней панели, фиг. 36, а) составляет генератор СВЧ, а правую — модулятор.

Часть элементов модулятора, как накопительные конденсаторы С20, С21, С30, высоковольтный трансформатор Тр16 и зарядный дроссель Др15, расположены на дне аппаратного шкафа. Другие элементы модулятора: импульсный трансформатор Тр14, тиратроны ЛЗ, Л25, сопротивление R24 и детали фазирующего мостика размещены на панели, образующей второй этаж блока.

В середине генераторной части блока находятся лампы Л1, Л2. Под лампами смонтирован накальный трансформатор Тр17, к которому прикреплены катодные дроссели Др4, Др5. Над генераторными лампами с помощью опорного изолятора смонтирована сеточная линия; здесь же находятся детали гридлика R8, С9. Перед лампами расположена анодная линия, которая, так же как и сеточная линия, своей средней точкой крепится к каркасу через опорный изолятор. Каждая из этих линий имеет закорачивающий мостик, который можно перемещать вдоль линий. Между проходными фидерными изоляторами и анодной линией смонтированы конденсаторы С12, С13. Место подключения этих конденсаторов к линии можно регулировать, а это позволяет изменять связь генератора с антенной.

Коаксиальные резонаторы катодной цепи имеют большие размеры, а поэтому они смонтированы отдельно от блока передатчика за задней стенкой аппаратного шкафа. Каждый резонатор состоит из двух концентрических труб, которые с одного конца замыкаются



Фиг. 36. Передатчик станции П-3А.  
а—вид сверху, б—вид сбоку.

между собой, а с другого конца соединяются через колпачки, навинчиваемые на нарезку, на внутренней трубе каждого резонатора. Связь с резонаторами регулируется через люки, расположенные по близости от нижнего основания резонаторов.

Доступ к деталям передатчиков возможен благодаря тому, что передний и боковые щиты блока сделаны съемными. При снятии щитов в цепи первичной обмотки высоковольтного трансформатора Тр16 разрываются два блокировочных контакта КП29 и этим исключается возможность поражения током высокого напряжения.

Обобщая сказанное о передатчике, можно отметить следующие особенности его: а) в передатчике отсутствует подмодулятор, что значительно упрощает схему и повышает ее к. п. д.; б) резонансный заряд накопительной емкости позволяет в  $\pi$  раз увеличить амплитуду модулирующего импульса; в) малое сопротивление тиратрона, примененного в качестве коммутирующего прибора, способствует повышению к. п. д. модулятора; г) в передатчике формируется импульс, запускающий развертку, и это позволяет освободиться от блока, синхронизирующего работу станции; д) разряд накопительной емкости происходит в больших пределах по экспоненциальному закону, и форма модулирующего импульса далека от прямоугольной; е) отсутствие блока синхронизации, подмодулятора и несовершенная форма модулирующего импульса снижают точность измерения дальности, но так как в данном случае не требуется высокая точность измерения, то схема передатчика удовлетворяет его назначению.

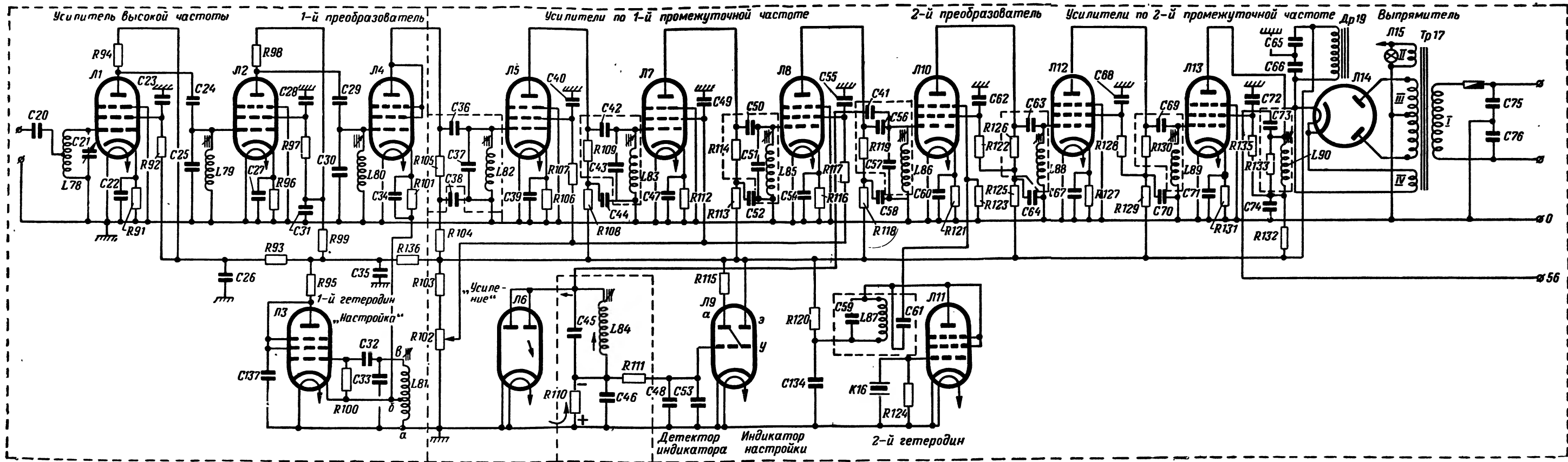
## § 6. ПРИЕМНИК

Приемник представляет собой супергетеродин с двойным преобразованием частоты. Благодаря двойному преобразованию частоты первую промежуточную частоту можно установить достаточно большой, чтобы усилитель высокой частоты обладал высокой избирательностью по зеркальному каналу и вместе с тем вторую промежуточную частоту можно установить достаточно низкой, чтобы в схему не вводить видеодетектор и видеоусилитель.

Приемник имеет чувствительность  $P_{\text{с min}} = 1,33 \cdot 10^{-12}$  вт.

Как видно из принципиальной схемы (фиг. 37), приемник содержит два каскада усиления высокой частоты Л1, Л2, первый преобразователь частоты Л4 с отдельным гетеродином Л3, три каскада усиления по первой промежуточной частоте Л5, Л7, Л8, второй преобразователь частоты Л10 с отдельным гетеродином Л11, два каскада усиления по второй промежуточной частоте Л12, Л13, оптический индикатор настройки Л9 с детектором Л6 и кенотронный выпрямитель Л14.

Усилитель высокой частоты. Основным требованием, предъявляемым к усилителю высокой частоты (УВЧ) радиолокационного приемника, является получение от него максимума усиления по мощности при минимальном уровне шумов, поскольку эти показатели оказывают решающее влияние на чувствительность радиолокационного приемника. Если УВЧ удовлетворяет этим требованиям, то применение его создает большие преимущества.



Фиг. 37. Принципиальная схема приемника

Во-первых, УВЧ ослабляет связь между гетеродином преобразователя частоты и антенной, благодаря чему почти полностью исключается обратное излучение приемника. При наличии обратного излучения прием сигналов другими станциями затрудняется.

Во-вторых, общий коэффициент шума приемника в основном определяется первым каскадом, и если имеется УВЧ, то этим удается избежать включения на входе приемника преобразователя частоты, который создает значительно больше шумовых помех, чем УВЧ.

Наконец, за счет контуров УВЧ можно увеличить избирательность приемника по зеркальному каналу. Согласно формуле, максимальный коэффициент усиления по мощности

$$k_{p \max} = \frac{1}{4} S^2 R_{\text{вх}} R_{\text{вых}}$$

прямо пропорционален активным составляющим входного сопротивления следующего каскада и выходного сопротивления данного каскада. Каждое из них обратно пропорционально квадрату частоты. В связи с этим на сантиметровых и частично на дециметровых волнах  $k_{p \max}$  оказывается столь малым, что включение УВЧ не дает положительного эффекта. В данном случае речь идет о приемнике метровых волн, а поэтому применение УВЧ целесообразно.

Оба каскада УВЧ работают на пентодах «желудь» типа 954. Эти лампы отличаются малыми междоэлектродными емкостями и индуктивностями вводов и большим входным сопротивлением. Входной контур первого каскада L78, C21 имеет автотрансформаторную связь с антенным фидером. Связь подбирается с таким расчетом, чтобы получить наибольшее отношение  $\frac{\text{сигнал}}{\text{шум}}$ . Это имеет место при равенстве волнового сопротивления фидера  $\rho_{\text{ф}}$  и входного сопротивления первой лампы, отнесенного к точкам подключения фидера:

$$\rho_{\text{ф}} = m^2 R_{\text{вх}}.$$

Здесь  $m$  — коэффициент связи, показывающий, какая часть общей индуктивности входного контура подключается к контактам фидерного гнезда.

Усиленные лампами импульсы высокой частоты выделяются в контурах L79, C25 и L80, C30.

Напряжение на экранные сетки ламп подается через гасящие сопротивления R92, R97. Для того чтобы это напряжение не имело переменной составляющей, экранные сетки блокируются на катод через конденсаторы C23, C28.

Первый преобразователь частоты. В радиолокационных приемниках используются пентодные, триодные, диодные и кристаллические смесители. Пентодные и триодные смесители имеют преимущество перед диодными смесителями в том, что они наряду с преобразованием частоты производят усиление колебаний. Но, с другой стороны, диодные и кристаллические смесители отличаются меньшим коэффициентом шума.

В данном приемнике благодаря наличию УВЧ преобразователь частоты не оказывает существенного влияния на общий коэффициент шума приемника, а поэтому можно в качестве первого преобразователя частоты Л4 использовать пентод типа 954. Для уменьшения уровня шумов и увеличения крутизны преобразования лампа включена как триод.

Первый гетеродин, как и смеситель, выполнен на пентоде 954 в триодном включении. Гетеродин собран по автотрансформаторной схеме. Контур гетеродина состоит из индуктивности L81, конденсатора C33 и емкости схемы. Анод через C137 заземляется и соединяется по току высокой частоты с точкой *a* контура, другая точка контура *б* подключается к катоду, а третья точка *в* через C32 соединяется с сеткой. Таким образом, правило составления трехточечных схем выполняется: между управляющей сеткой и анодом включена емкость (C33), а между сеткой и катодом и между анодом и катодом включены индуктивности (L81).

Напряжение смещения на сетку подается с гридлика R100, C32. Такой способ получения сеточного смещения широко применяется в гетеродинах и вообще в генераторах с самовозбуждением. В момент включения генератора возбуждение отсутствует, а поэтому нет сеточного тока и смещение, снимаемое с R100, равно нулю. В связи с этим лампа начинает свою работу с участка анодно-сеточной характеристики большей крутизны, и гетеродин легко возбуждается.

В дальнейшем по мере увеличения амплитуды возбуждения и сеточного тока отрицательное смещение на сетке увеличивается, работа лампы происходит на участках характеристики с малой крутизной, и устанавливается режим с отсечкой анодного тока. Для такого режима характерно, что анодный ток имеет форму импульсов, которые содержат не только постоянную составляющую и первую гармонику, но и вторую, и высшие гармоники. В описываемом приемнике используется вторая гармоника колебаний гетеродина. Понижение основной частоты гетеродина позволяет упростить его конструкцию и ослабить влияние гетеродина на усилитель высокой частоты приемника.

На управляющую сетку смесителя поступают напряжения трех видов: а) постоянное напряжение смещения, образованное на сопротивлении R101, заблокированном конденсатором C34, за счет постоянной составляющей катодного тока; б) напряжение гетеродина, снимаемое с участка *ба* контура L81, C33; в) напряжение сигнала, снимаемое с контура L80, C30 второго каскада УВЧ. Эти напряжения подаются последовательно и суммируются на участке сетка — катод лампы Л4.

Смеситель работает в режиме анодного детектирования, который устанавливается подбором смещения (R101) на сетке Л4. В результате детектирования анодный ток лампы преобразователя содержит ряд составляющих. Одна из составляющих имеет промежуточную частоту, равную разности частот сигнала и второй гармоники гетеродина. Эта составляющая и выделяется в контуре, состоящем из L82, C37 и емкости схемы, который настроен в резонанс с промежуточной частотой.

Следует заметить, что в большинстве радиолокационных приемников промежуточная частота выше, чем в данном приемнике. Такой выбор первой промежуточной частоты оказался возможным благодаря тому, что в станции используются импульсы большой длительности ( $\tau = 8 \div 12$  мксек) и требуется небольшая полоса пропускания.

Малая промежуточная частота позволяет получить большой устойчивый коэффициент усиления каскадов УВЧ, увеличить емкость его контуров и этим уменьшить влияние разброса ламп на форму резонансной кривой УПЧ. С другой стороны, понижение промежуточной частоты привело к некоторому уменьшению избирательности по зеркальному каналу.

Усилитель первой промежуточной частоты. Все три каскада этого усилителя работают на пентодах Л5, Л7, Л8 типа 6Ж7 с нагрузкой в виде одиночных контуров, которые состоят из элементов Л83, С43; Л85, С51; Л86, С57 и соответствующих емкостей схемы. Контуры настраиваются в резонанс на первую промежуточную частоту.

Такая схема резонансного УПЧ является наиболее простой в производстве и настройке и к тому же наиболее устойчивой в эксплуатации (последнее — за счет малой чувствительности схемы к смене ламп). Резонансные УПЧ при широкой полосе пропускания дают меньшее усиление, чем другие схемы УПЧ, но так как в данном случае приемник узкополосный, то применение резонансного УПЧ следует считать вполне оправданным.

Выбор ламп УПЧ произведен с учетом того, что: 1) шумовой эффект ламп УПЧ при наличии УВЧ не имеет практического значения; 2) при низкой промежуточной частоте, как в данном случае, общая емкость контуров может быть взята сравнительно большой, а поэтому входная и выходная емкости лампы не играют существенной роли в работе схемы; 3) так как полоса пропускания УПЧ узкая, то максимальный коэффициент усиления каскадов УПЧ в основном ограничивается обратной связью через емкость  $C_{ga}$ , в связи с чем емкость  $C_{ga}$  должна быть минимальной, а крутизна характеристики — максимальной.

Во время проектирования станции в соответствии с этими требованиями наиболее подходящей лампой оказался пентод 6Ж7.

Второе преобразование частоты производится на лампах типа 6Ж7, выполняющих функции смесителя Л10 и гетеродина Л11. Частота второго гетеродина превышает первую промежуточную частоту на величину второй промежуточной частоты.

Для устойчивой работы приемника необходима высокая стабильность частоты гетеродина. Если это требование не выполняется, то промежуточная частота изменяется, происходит расстройка контуров УПЧ, вследствие чего часть спектра частот колебаний, поступающих на УПЧ, не получает достаточного усиления и уменьшается

отношение  $\frac{\text{сигнал}}{\text{шум}}$  на выходе приемника. Изменение промежуточной частоты может быть также вызвано нестабильностью передатчика. Для того чтобы компенсировать отклонение несущей



частоты передатчика, в первом гетеродине предусмотрена подстройка контура с помощью карбонильного сердечника, вводимого в индуктивность L81.

При условии правильной настройки первого гетеродина точность второй промежуточной частоты зависит исключительно от настройки второго гетеродина. В связи с этим второй гетеродин стабилизируется кварцем. Пластина кварца включена между управляющей сеткой и катодом лампы Л11. Кварцевая пластина в совокупности с емкостью кварцедержателя эквивалентна параллельному колебательному контуру очень высокой добротности. Другой параллельный контур L87, C59 включен между анодом и катодом (через большую емкость C134). Такая схема, как известно, может самовозбуждаться за счет обратной связи через емкость  $C_{ga}$ , которая благодаря триодному включению лампы достаточно велика для этой цели.

Согласно правилу составления трехточечных схем, поскольку колебательная система гетеродина между сеткой и катодом содержит емкость  $C_{ga}$ , кварцевый и анодный контуры должны иметь сопротивление индуктивного характера. Для выполнения этого условия частота генерируемых колебаний должна быть весьма близкой к резонансной частоте кварца. Что касается стабильности частоты этих колебаний, то она обеспечивается высокой добротностью кварцевого контура.

Смещение на сетке второго гетеродина, как и первого, создается за счет падения напряжения, создаваемого на сопротивлении R124 постоянной составляющей сеточного тока.

Смеситель и гетеродин во втором преобразователе частоты включаются по-иному, чем в первом. Если в первом смесителе Л4 колебания сигнала и гетеродина подаются на одну и ту же сетку, то во втором смесителе Л10 импульсы промежуточной частоты снимаются с контура L86, C57 на управляющую сетку, а колебания второго гетеродина подаются через переходную цепь C61, R123 на антидинаatronную сетку.

Такое различие вызвано тем, что в первом преобразователе нельзя применить многосеточный смеситель из-за большого уровня шумов, создаваемого им на повышенных частотах, и, кроме того, первый преобразователь частоты ближе расположен к входу приемника, чем второй, а поэтому шумы, создаваемые им, имеют большее влияние на работу приемника. Многосеточный смеситель в большей мере позволяет ослабить нежелательную связь между контурами сигнала и гетеродина, чем односеточный. Полученные в результате преобразования импульсы второй промежуточной частоты выделяются на контуре, состоящем из индуктивности L88 и емкости схемы, который настроен в резонанс на эту частоту.

Усилитель второй промежуточной частоты в первом каскаде (Л12) в качестве нагрузки имеет контур, состоящий из индуктивности и емкости схемы, а во втором каскаде (Л13) нагрузкой служит полосовой фильтр, первичный контур которого (L90, емкость схемы) находится в блоке приемника, а вторичный контур — в блоке отметчика. Элементом связи между контурами яв-

ляется емкость С73. Величина ее (500 пф) выбрана с таким расчетом, чтобы свести к минимуму влияние емкости проводов, соединяющих выходные зажимы приемника 56 и 0 с отметчиком.

Характерно, что во втором УПЧ не включены внешние емкости, как в первом. Это связано с влиянием емкости контура на коэффициент усиления резонансного усилительного каскада. Чем больше емкость контура  $C$ , тем меньше эквивалентное сопротивление контура  $R_{oe} = \rho Q = \frac{\rho}{\omega C}$  и меньше коэффициент усиления каскада  $K = SR_{oe}$ . Увеличение усиления каскада во втором УПЧ не нарушает устойчивость его работы, как это могло быть в первом УПЧ, так как вторая промежуточная частота имеет малую величину. Отсюда следует, что во втором УПЧ можно не включать внешние емкости, достигая тем самым весьма значительного усиления по второй промежуточной частоте, чего нельзя было сделать в первом УПЧ.

Требования, предъявляемые к лампам второго преобразователя и УПЧ, менее жесткие, чем к лампам первого преобразователя и УПЧ, а поэтому в целях сокращения типов ламп, используемых в станции, каскады Л10, Л11, Л12 и Л13 выполнены на пентодах 6Ж7.

Оптический индикатор настройки. Для контроля настройки первого гетеродина в схему введен оптический индикатор Л9 с отдельным детектором Л6. Схема детектора состоит из контура Л84, С45 высокой добротности, настроенного в резонанс на первую промежуточную частоту, лампы 6Х6 и нагрузочного сопротивления R110, блокированного по высокочастотному току конденсатором С46.

Поступающие через С41 с контура Л86, С57 усиленные импульсы первой промежуточной частоты превращаются диодом Л6 в пульсирующий ток, постоянная составляющая которого замыкается по цепи, показанной стрелками. При этом на R110 образуется напряжение, которое сглаживается фильтром R111, С48, С53 и со знаком минус подается на сетку индикатора Л9 типа 6Е5. Если первая промежуточная частота равна номинальной, то за счет резонанса на контуре Л84, С45 создается максимальное колебательное напряжение, а с R110 на сетку Л9 подается максимальное отрицательное напряжение. Поэтому анодный ток триодной части Л9 и падение напряжения на R115 имеют минимальную величину, потенциал управляющего электрода  $U$  приближается к потенциалу экрана Э, и теневой сектор индикатора приобретает минимальные размеры. Если же первый гетеродин не настроен надлежащим образом, то первая промежуточная частота отклоняется от номинальной, контур Л84, С45 расстраивается, отрицательное напряжение на сетке Л9 уменьшается, анодный ток Л8 и напряжение на R115 увеличиваются, а следовательно, теневой сектор увеличивается.

Цепи питания приемника. Напряжение питающей сети подводится к первичной обмотке силового трансформатора Тр17. С обмотки II этого трансформатора снимается напряжение

6,3 в для питания нитей накала всех ламп приемника. Накал кенотрона Л14 типа 5Ц4С производится с обмотки IV, а обмотка III трансформатора является повышающей. Фильтр выпрямителя образован дросселем Др19 и конденсаторами С66, С65. Конденсаторы С75, С76 служат для фильтрации помех в цепи первичной обмотки силового трансформатора.

Анодные цепи всех усилительных и преобразовательных ламп включены по параллельной схеме. Постоянная и переменные составляющие анодного тока разветвляются при помощи цепей R94, C24; R98, C29; R105, C36; R109, C42; R114, C50; R119, C56; R126, C63; R130, C69.

Постоянная составляющая анодного тока лампы Л1 замыкается по цепи анод—катод, R91, земля, одна половина обмотки III трансформатора Тр17, анод—катод Л14, дроссель Др19, сопротивления R136, R93, R94, анод Л1. Цепь переменной составляющей анодного тока лампы Л1: катод—анод, C24, контур C25, L79 [здесь ток разветвляется поровну по L79, C25, образуя единый контурный ток, который в  $Q$  (добротность) раз больше переменной составляющей анодного тока], C22, катод.

Теперь для примера рассмотрим цепи лампы Л12. Постоянная составляющая анодного тока имеет цепь анод—катод, R127, земля, половина обмотки III трансформатора Тр17, анод—катод Л14, Др19, R129, R130, анод Л12. Цепь переменной составляющей анодного тока: анод—катод, C67, L89 и емкость схемы C69, анод.

Существует и другой вариант параллельной схемы, при котором контурная катушка включается в анодную цепь данной лампы, а вместо нее между сеткой и катодом следующей лампы включается сопротивление. Эта схема менее удачна, так как постоянная времени переходной цепи за счет такой замены увеличивается, и если переходный конденсатор зарядится сильным импульсным сигналом, то лампа окажется длительное время запертой.

Весьма важно, чтобы переменные составляющие токов ламп не попали через цепи постоянной составляющей в источник питания (в данном случае выпрямитель). Если это требование не будет выполнено, то, во-первых, будут происходить потери высокочастотной энергии на активном сопротивлении источника питания, и, во-вторых, так как источник питания является общим для многих каскадов, то через него может возникнуть паразитная связь между каскадами и как следствие произойдет самовозбуждение приемника.

Подобные явления исключаются при помощи развязывающих фильтров. Так, в анодных цепях ламп имеются фильтры C26, R93; C31, R99; C137, R95; C35, R136; C38, R104; C44, R108; C52, R113; C58, R118; C64, R125; C70, R129; C74, R132; C134, R120. Например, фильтр лампы Л1 работает так. Переменная составляющая анодного тока не полностью замыкается через C24 и контур C25, L79, но частично замыкается через сопротивление R94, которое шунтирует контур. Желательно, чтобы этот ток накоротко замкнулся через C26, C22 и возвратился на участок катод—анод Л1. Так как емкость

С26 не бесконечно велика, то сопротивление ее конечно, и на конденсаторе появляется некоторое переменное напряжение. Оно оказывается приложенным к цепи R93, С35. Эти сопротивление и емкость должны иметь большой номинал, с тем чтобы получить соотношение  $R93 \gg 1/\omega \cdot C35$ , благодаря которому большая часть переменного напряжения, имеющегося на С26, приходится на долю R93, а меньшая часть — на С35. Аналогично происходит фильтрация переменной составляющей в R136, С65. В результате на конденсаторе С65, т. е. на выходных зажимах выпрямителя, практически отсутствует напряжение, обусловленное переменной составляющей анодного тока лампы Л1.

Постоянные напряжения на экранные сетки ламп Л1, Л2, Л5, Л8, Л10, Л12, Л13 поступают соответственно через гасящие сопротивления R92, R97, R107, R117, R122, R128, R135. Экранная сетка выполняет свои функции экрана между управляющей сеткой и анодом только в том случае, если она по переменному току замкнута накоротко на катод. Для этой цели в схему включены блокировочные конденсаторы большой емкости С23, С28, С40, С49, С55, С62, С68, С72. Напряжение на экранных сетках ламп первого УПЧ Л5, Л7, Л8 можно плавно изменять при помощи потенциометра R102, составляющего часть делителя напряжения R103, R102. Таким образом регулируется усиление приемника.

Смещение на управляющие сетки усилительных каскадов нельзя получить, как в гетеродинах, за счет сеточных токов, так как усилители работают в области отрицательных напряжений на управляющей сетке. Для получения смещения в катодные цепи ламп включаются сопротивления R91, R96, R106, R112, R116, R121, R127, R131, блокированные конденсаторами большой емкости С22, С27, С39, С47, С54, С60, С67, С71. Если бы не было блокировочных конденсаторов, то через сопротивления проходила бы не только постоянная составляющая, но и переменные составляющие катодного тока, и смещение на управляющих сетках изменялось бы с высокой частотой, т. е. имела бы место отрицательная обратная связь по току.

Переходя к общей характеристике описанного приемника, следует отметить, что этот приемник не удовлетворяет в полной мере современным требованиям. Несмотря на узкую полосу пропускания приемника, его чувствительность сравнительно невелика ( $P_{c\ min} \approx 10^{-12}$  вт), тогда как современные приемники метровых волн обладают чувствительностью, достигающей  $10^{-14}$  вт. В приемнике нет автоматической регулировки усиления. Наличие двойного преобразования частоты значительно усложняет схему и ее регулировку. Современные лампы намного превосходят примененные в приемнике по параметрам, экономичности и габаритам.

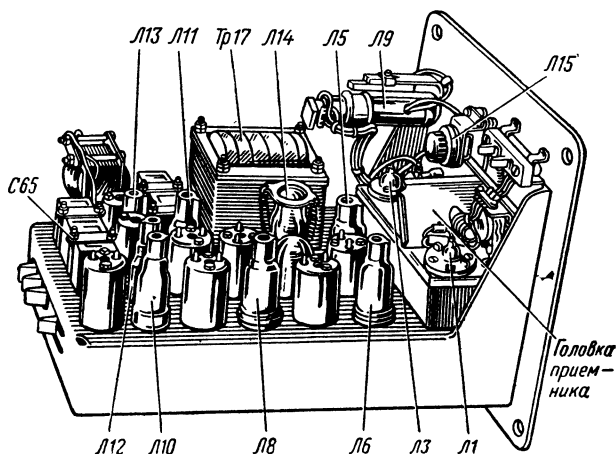
Конструктивное оформление приемника. Приемник смонтирован на стальном оцинкованном шасси, которое вставляется в железный кожух, прикрепленный к раме пульта управления четырьмя болтами.

У задней стенки лицевой панели (фиг. 38) расположена высокочастотная головка приемника, состоящая из двух каскадов УВЧ,

первого гетеродина и первого смесителя. Лампы и контуры УПЧ и преобразователей частоты размещены в Г-образной последовательности. Такое расположение менее удачно, чем размещение каскадов в линейку, так как в последнем случае пути токов первого и последнего каскадов разделены большим расстоянием и паразитная гальваническая связь между ними отсутствует.

На горизонтальном шасси находятся также детали и лампы кенотронного выпрямителя (Л14, Тр17, Л19, С65, С66) и кварцедержатель с кварцем.

На переднюю панель приемника выведены: ручка настройки первого гетеродина («Настройка») и соответствующая шкала градуировки приемника, окно для наблюдения за экраном индикатора настройки, ручка «Усиление» для изменения напряжения на экранных сетках ламп первого УПЧ и предохранитель. Кроме того, с передней панели отверткой можно изменять емкости входного кон-



Фиг. 38. Шасси приемника.

тура (С21) и перемещать карбонильные сердечники для подстройки контуров первого и второго каскадов УВЧ.

Антенный фидер подключается к приемнику со стороны верхней стенки кожуха, а на задней стенке кожуха находится контактная система включения приемника.

## § 7. ОТМЕТЧИК

### А. Основные элементы отметчика

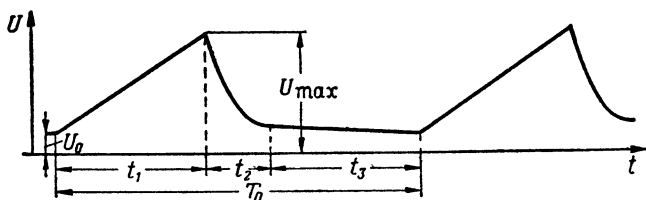
Основным элементом отметчика является электронно-лучевая трубка Л17 типа ЛО-709 (фиг. 39) с электростатическим управлением. Она содержит электронную пушку, которая создает электронный поток, фокусирующийся на экране в виде светового пятна, и две пары взаимно-перпендикулярных отклоняющих пластин, из которых одна пара  $X$  вызывает движение светового пятна в горизон-



тальном направлении, а другая пара  $Y$  — в вертикальном. Поскольку в станции применяется индикатор типа А, то на пластины  $X$  подается напряжение развертки дальности, а на пластины  $Y$  — импульсы с выхода приемника, дополнительно усиленные в отметчике.

В состав электронной пушки входят подогревный катод, управляющий электрод УЭ, первый анод  $A_1$  и второй анод  $A_2$ . На управляющий электрод подается отрицательное, а на аноды — положительное (относительно катода) напряжение. Изменяя напряжение на управляющем электроде от нуля до  $-120$  в, можно регулировать яркость пятна от максимальной до полного гашения. Фокусировка регулируется изменением напряжения на первом аноде, которое в среднем равно  $+500$  в. На второй анод подается  $+2000$  в.

В соответствии с назначением отметчика его схема, кроме электронно-лучевой трубки, содержит следующие элементы.



Фиг. 40. Напряжение развертки дальности.

**К а н а л р а з в е р т к и.** Назначение канала заключается в том, чтобы создать на пластинах  $X$  пилообразное напряжение, каждый импульс которого синхронизирован с излучением радиоимпульса (фиг. 40).

За каждый период следования импульса  $T_0$  имеет место прямой ход развертки ( $t_1$ ), когда возрастающее напряжение на пластинах  $X$  создает непрерывное движение светового пятна слева направо по экрану трубки, обратный ход ( $t_2$ ) — когда быстро уменьшающееся напряжение развертки возвращает пятно в крайнее левое положение, и интервал покоя  $t_3$ , когда пятно остается в исходном положении до начала следующего импульса развертки. Шкала отметчика на одном диапазоне проградуирована на  $150$  км, но в целях уменьшения погрешности измерения малых дальностей предусмотрен второй диапазон до  $75$  км с более быстрой разверткой. Согласно формуле

$$D(\text{м}) = \frac{1}{2} c \left( \frac{\text{м}}{\text{мксек}} \right) t(\text{мксек}) = \frac{1}{2} 3 \cdot 10^2 \left( \frac{\text{м}}{\text{мксек}} \right) t(\text{мксек}) = \\ = 150 t(\text{мксек})$$

одной микросекунде соответствует измеряемая дальность  $150$  м. Поэтому в первом случае  $t_1 = 1000$  мксек, а во втором случае  $t_1 = 500$  мксек. Станция работает с частотой следования  $F_0 = 50$  имп/сек или с периодом следования  $T_0 = \frac{1}{F_0} = 2 \cdot 10^{-2}$  сек.  $= 2 \cdot 10^4$  мксек. Отсюда находим, что время  $t_2 + t_3 = T_0 - t_1 =$

$= 2 \cdot 10^4 - 5 \cdot 10^2 = 19\,500$  мксек для масштаба 75 км и  $t_2 + t_3 = 19\,000$  мксек для масштаба 150 км.

Канал подсвета, предназначенный для того, чтобы не допускать засвета экрана трубки во время обратного хода развертки и в интервале покоя. Благодаря инертности зрения наблюдатель не замечает этого гашения луча.

Калибратор шкалы дальности. В связи с тем, что в станции обнаружения не требуется большая точность определения дальности, в данном случае возможно применить наиболее простой способ измерения расстояния — по механической шкале. Такая шкала накладывается на экран трубки и начало шкалы совмещается с началом развертки дальности. В процессе работы станции возможно изменение режима работы схемы развертки, и тогда цена деления шкалы не будет соответствовать скорости движения светового пятна по линии развертки. Калибратор шкалы дальности и предназначен для того, чтобы эту скорость привести в соответствие со шкалой.

Усилитель выходных импульсов приемника. В описываемой станции на пластины У трубки подаются не видеоимпульсы, как обычно, а импульсы промежуточной частоты. Это оказалось возможным благодаря тому, что в приемнике применено двойное преобразование частоты, причем вторая промежуточная частота имеет небольшую для радиолокационного приемника величину. При такой частоте отклоняющие пластины своей емкостью сравнительно мало шунтируют выход приемника, и поэтому отпадает необходимость в видеодетекторе и видеоусилителе. В блок отметчика введен лишь каскад, усиливающий импульсы промежуточной частоты приемника до величины, необходимой для получения отчетливого изображения этих импульсов на экране трубки.

## Б. Питание отметчика

Питание отметчика производится от отдельного блока (см. фиг. 39). В нем имеются три выпрямителя, из которых два включены по двухполупериодной схеме на кенотронах Л1' и Л3' типа 5Ц4С и вырабатывают соответственно напряжения 600 и 200 в, а третий выполнен по однополупериодной схеме на кенотроне Л2 типа 879 и создает на выходе 2200 и 100 в. В выпрямителе на Л1 заземляется минус, в высоковольтном выпрямителе заземляется плюс, а в выпрямителе на 200 в ни один из полюсов не заземляется. Если бы в высоковольтном выпрямителе заземлялся минус, как обычно, то отклоняющие пластины, а следовательно, и схема развертки находились бы под высоким напряжением относительно земли, а это потребовало бы высоковольтной изоляции многих ламповых каскадов от корпуса и затруднило бы эксплуатацию отметчика.

От выпрямителя 600 в питаются все цепи отметчика, за исключением электронно-лучевой трубки, к которой подводится напряжение от высоковольтного выпрямителя Л2', и экранной сетки лампы Л1, которая получает питание от выпрямителя Л3'.



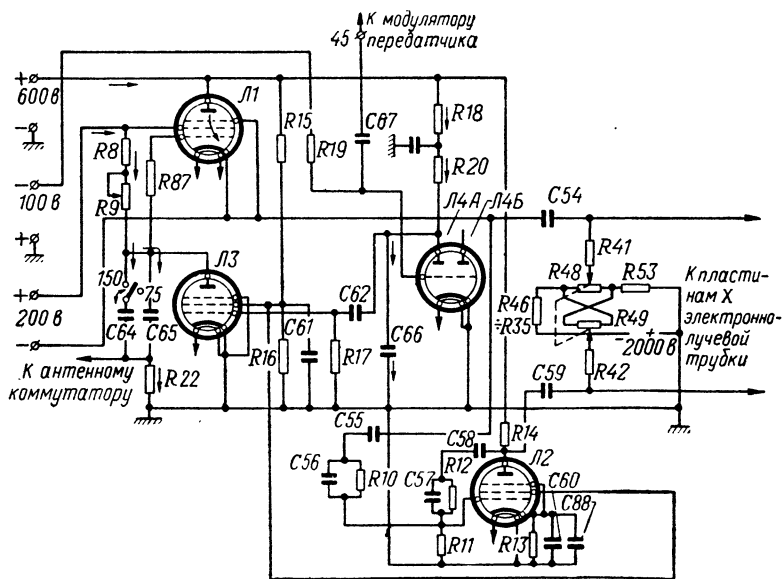
Электронно-лучевая трубка потребляет очень малый ток, а поэтому в высоковольтном выпрямителе применяется наиболее простой фильтр в виде конденсатора С8'. В выпрямителе, работающем на кенотроне Л1, ток нагрузки имеет большую величину, и в соответствии с этим фильтр выпрямителя содержит два конденсатора С6', С7' и дроссель Др5'. Ток нагрузки третьего выпрямителя сравнительно небольшой, благодаря чему вместо дросселя в фильтре (С12', С13', R11') можно использовать активное сопротивление.

Выход высоковольтного выпрямителя замкнут на делитель, состоящий из сопротивлений R53, R48, R49 (параллельно включены R50, R51, R52), R46, R45, R40 (параллельно R39), R38, R36 (параллельно R37) и R35. Ток по делителю идет от плюса (земли) к минусу в направлении от R53, R50 к R35. Катод трубки соединяется с ползунком потенциометра R37, а управляющий электрод — с минусовым концом делителя. Следовательно, на управляющий электрод подается отрицательное (относительно катода) напряжение, которое можно изменять потенциометром R37 и таким образом регулировать яркость пятна.

На первый анод с делителя снимается положительное напряжение порядка 500 в, которое можно изменять потенциометром R39 и этим регулировать фокусировку пятна. На второй анод подается почти полное напряжение высоковольтного выпрямителя порядка 2200 в.

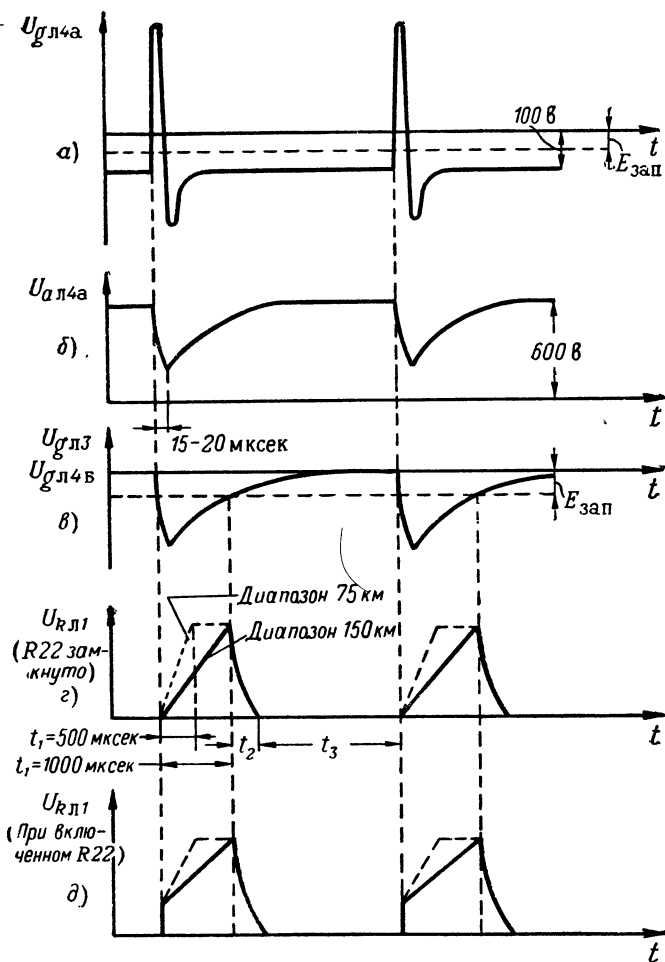
### В. Канал развертки (фиг. 39, 41, 42)

Канал развертки начинается с расширителя, выполненного на триоде Л4А. На сетку триода с делителя высоковольтного выпря-



Фиг. 41. Принципиальная схема канала развертки.

мителя  $R9'$ ,  $R10'$  через сопротивление  $R19$  подается —100 в. Так как это напряжение по абсолютной величине превышает напряжение запирания  $E_{\text{зап}}$ , то в анодной цепи лампы отсутствует ток и происходит заряд конденсатора  $C66$  в направлении +600 в,  $R18$ ,  $R20$ ,  $C66$ , минус источника (земля). К моменту появления пускового импульса от модулятора передатчика конденсатор  $C66$  полностью



Фиг. 42. Временные диаграммы напряжений в канале развертки.

заряжен, и напряжение на нем, а следовательно, и на аноде  $U_{aЛ4} = 600$  в.

Пусковой импульс имеет положительную полярность (фиг. 42, а) и отпирает триод Л4А. Наступает разряд конденсатора  $C66$  через участок анод—катод этого триода. В связи с этим напряжение на

аноде лампы расширителя  $U_{a\text{Л4}}$  понижается. (фиг. 42, б). По окончании пускового импульса, т. е. через 15—20 мксек после его начала, лампа вновь запирается и возобновляется заряд С66 с постоянной времени  $\tau_3 = (R18 + R20)C66$ . Соответственно увеличивается напряжение  $U_{a\text{Л4}}$ . Так как конденсатор С62 не пропускает постоянную составляющую, то на управляющую сетку Л3 с анода Л4А поступает отрицательный импульс, запирающий лампу (фиг. 42, в).

Постоянная времени цепи заряда конденсатора С66 подбирается так, чтобы лампа Л3 генератора развертки была заперта 1000 мксек.

Основным требованием, предъявляемым к такого рода генераторам, является линейность возрастания напряжения развертки, которое в данном случае снимается с конденсатора С65 (на дальности до 75 км) или С64+С65 (на дальности до 150 км). Линейность напряжения развертки обеспечивает постоянную скорость движения светового пятна по линии развертки, благодаря чему масштаб дальности по всей линии развертки получается постоянным.

Линейное увеличение напряжения на конденсаторе может быть получено лишь при условии постоянства зарядного тока  $I$ , поскольку при этом условии заряд конденсатора  $q = It$  и напряжение на нем

$U = \frac{q}{C} = \frac{I}{C} t = At$  прямо пропорционально времени ( $A$  — постоянный коэффициент). В описываемой схеме постоянство зарядного тока достигается двумя средствами: зарядом конденсаторов С65 и С64 через пентод Л1 и применением отрицательной обратной связи.

Когда импульсом расширителя запирается лампа генератора Л3, то происходит заряд конденсаторов С64, С65 по следующей цепи: +600 в, анод—катод Л1, выход выпрямителя 200 в (от минуса к плюсу), R8, R9, С64+С65 или только С65, земля, минус выпрямителя 600 в (полагаем, что R22 замкнуто накоротко антенным коммутатором). По мере заряда конденсаторов напряжение на них увеличивается (фиг. 42, г), а на пентоде соответственно уменьшается, но так как пентод на рабочем участке характеристики имеет большое сопротивление, то это вызывает весьма незначительное уменьшение анодного тока, которое почти полностью компенсируется элементами отрицательной обратной связи R8, R9. Обратная связь осуществляется тем, что на участок управляющая сетка—катод Л1 подается разность напряжений выпрямителя, питающего экранную сетку Л1 (200 в), и падения напряжения на сопротивлениях R8, R9. Если зарядный ток уменьшается, то падение напряжения на R8, R9 пропорционально уменьшается, а напряжение на управляющей сетке соответственно увеличивается, в результате чего восстанавливается первоначальное значение анодного и зарядного тока. Очевидно, что при помощи переменного сопротивления R8 можно плавно регулировать ток заряда конденсаторов, а следовательно, и скорость прямого хода развертки.

По окончании импульса расширителя, точнее когда этот импульс на сетке Л3 становится равным напряжению отпирания лампы, последняя открывается и создает цепь для разряда конденсаторов

С64, С65, который длится отрезок времени  $t_2$  (фиг. 42, з). Далее следует интервал покоя  $t_3$  до появления очередного импульса.

Пилообразное напряжение развертки подается на одну из пластин  $X$  с участка катод Л1 — земля. Напряжение на этом участке отличается от напряжения на конденсаторах С64, С65 на постоянную величину. Это значит, что изменения выходного напряжения генератора развертки  $U_{\text{кЛ1}}$  следуют за изменениями напряжения на конденсаторах С64, С65.

Если диапазон измеряемой дальности равен 150 км, то в схему включены оба конденсатора, прямой ход развертки соответствует сплошной линии на фиг. 42, з и обратный ход развертки начинается сразу же по окончании прямого хода. На диапазоне дальности 75 км конденсатор С64 отключается, скорость прямого хода развертки удваивается и обратный ход развертки начинается через 500 мксек после окончания прямого хода.

При точном измерении азимута линия развертки с частотой, задаваемой антенным коммутатором, должна попеременно смещаться вправо и влево. Это достигается тем, что антенный коммутатор попеременно включает и выключает сопротивление  $R_{22}$ , последовательно соединенное с конденсаторами С64, С65. Так как ток заряда конденсаторов постоянный, то с включением  $R_{22}$  выходное напряжение генератора развертки увеличивается на постоянную величину (фиг. 42, д) и линия развертки смещается вправо.

Точная фокусировка луча возможна лишь при определенных значениях напряжений на управляющем электроде, анодах и средних потенциалах отклоняющих пластин. Если напряжение развертки подать на одну из пластин  $X$ , а другую пластину  $X$  заземлить, т. е. соединить со вторым анодом («плюс» высоковольтного выпрямителя заземлен), то по мере изменения напряжения развертки средний потенциал пластин  $X$  будет изменяться и в результате будет нарушаться фокусировка луча в горизонтальном направлении.

Такое явление, называемое астигматизмом, может быть устранено подачей напряжений развертки на обе пластины  $X$  в противофазе. Это, с одной стороны, удваивает амплитуду напряжения между пластинами, а с другой, позволяет сохранить средний потенциал между пластинами неизменным и равным потенциалу второго анода, что и требуется для уничтожения астигматизма.

Дополнительное напряжение развертки, которое численно равно и противоположно по фазе исходному напряжению генератора развертки, получается при помощи парафазного усилителя, выполненного на пентоде Л2.

Пилообразные импульсы имеют широкий спектр гармонических составляющих, поэтому парафазный усилитель должен быть широкополосным и не вносить нелинейных искажений. Нагрузкой усилителя является сопротивление  $R_{14}$ . Чтобы лампа работала без сеточных токов, на управляющую сетку подается соответствующее отрицательное смещение, которое снимается с катодного сопротивления  $R_{13}$ , блокированного конденсаторами С60 и С88, из кото-

рых  $C60 = 1 \text{ мкф}$ . При такой большой емкости конденсатор  $C60$  имеет некоторую паразитную индуктивность. Чтобы исключить падение напряжения на этой индуктивности за счет высших гармонических составляющих импульса, в схему включен второй конденсатор  $C88$  небольшой емкости —  $510 \text{ нф}$ , который не имеет паразитной индуктивности и представляет короткое замыкание для этих токов.

Входное пилообразное напряжение на участок сетка—катод  $L2$  снимается с катода  $L1$  через элементы  $C55$ ,  $C56$ ,  $R10$ ,  $R11$ . Из них  $C55$  — разделительный конденсатор большой емкости ( $10\,000 \text{ нф}$ ), не допускающий постоянную составляющую выходного напряжения генератора развертки на сетку  $L2$ . Остальные детали образуют высокоомный делитель, предназначенный для того, чтобы на вход подавалась лишь  $1/K$  часть исходного напряжения, где  $K$  — коэффициент усиления парафазного усилителя. Благодаря этому делителю с нагрузки  $R14$  через  $C59$  на вторую пластину  $X$  подается пилообразное напряжение такой же амплитуды, как на первую пластину  $X$ . Сопротивление делителя  $R11$  шунтируется входной емкостью лампы  $L2$ , и для того чтобы коэффициент деления для всех гармонических составляющих импульса оставался неизменным, а форма импульса не искажалась, во второе плечо делителя включен конденсатор  $C56 = 100 \text{ нф}$ .

Требуемое фазовое соотношение напряжений на пластинах  $X$  получается благодаря тому, что напряжения на аноде и управляющей сетке усилительного каскада находятся в противофазе. Это свойство усилителя используется также для создания отрицательной обратной связи: напряжение с анода через разделительный конденсатор  $C58$  и высокоомный делитель  $C57$ ,  $R12$ ,  $R11$  подается на участок сетка — катод. Полученная отрицательная обратная связь значительно улучшает частотную и амплитудную характеристики усилителя.

На пластины  $X$ , кроме пилообразных импульсов, подают постоянное напряжение, от величины которого зависит начало линии развертки на экране трубки.

Здесь следует внести некоторые поправки к сказанному выше. Если бы трубка конструктивно была строго симметричной и средний потенциал пластин  $X$  был равен потенциалу земли и второго анода, то развертка начиналась бы с центра экрана и последний использовался бы только наполовину. Для более полного использования экрана на пластины  $X$  с делителя  $R53$ ,  $R48$ ,  $R49$ ,  $R46$ — $R35$ , подключенного к зажимам высоковольтного выпрямителя, снимается отрицательное (относительно земли и второго анода) напряжение, которым начальная точка линии развертки может быть смещена к левому краю экрана. Положение этой точки регулируется двоянным потенциометром  $R48$ ,  $R49$ , сопротивления которого включены таким образом, что перемещение ползунка в равной мере увеличивает постоянную составляющую напряжения на одной пластине  $X$  и уменьшает ее на другой пластине  $X$ . Такая схема обеспечивает постоянство среднего потенциала горизонтально отклоняющих пластин, а это и требуется для сохранения неизменной фокусировки во время смещения линии развертки.

## Г. Схема подсвета

Отрицательное напряжение, снимаемое с делителя высоковольтного выпрямителя на управляющий электрод трубки, устанавливают потенциометром R37 (см. фиг. 39) так, чтобы трубка в отсутствии импульса подсвета была погашена. Этот импульс вырабатывается триодом Л4Б следующим образом.

Во время обратного хода развертки и в интервале покоя напряжение на сетке лампы Л4Б близко к нулевому и в лампе имеется анодный ток, который создает падение напряжения на нагрузке R21. При прямом ходе развертки на аноде расширителя Л4А имеется отрицательный импульс, который запирает не только лампу Л3, но и Л4Б. Напряжение на аноде триода Л4Б возрастает на величину перепада напряжения на нагрузке R21; так как конденсатор С69 не успевает мгновенно зарядиться, то этот перепад напряжения (импульс) оказывается приложенным к R34, R35 и к другим сопротивлениям, включенным между С69 и землей. Та часть положительного импульса, которая приходится на сопротивления R34, R35, R37 (до ползунка), включенные между управляющим электродом и катодом трубки, и вызывает свечение экрана.

## Д. Калибратор масштаба

Калибратор генерирует синусоидальные колебания, период которых соответствует дальности 10 км. Поскольку на каждую микросекунду приходится 150 м измеряемой дальности, период колебаний калибратора равен

$$T = \frac{10\,000}{150} = \frac{2}{3} 10^2 \text{ мксек} = \frac{2}{3} 10^{-4} \text{ сек.},$$

а частота колебаний

$$F = \frac{1}{T} = \frac{3}{2} 10^4 \text{ гц} = 15 \text{ кгц}.$$

Напряжение генератора подается на одну из вертикально отклоняющих пластин Y. Благодаря тому, что частота колебаний калибратора кратна частоте развертки (50 гц), изображение этих колебаний на экране трубки получается неподвижным. Изменяя скорость развертки переменным сопротивлением R9, можно добиться, чтобы одно полное колебание генератора располагалось в интервале 10 км шкалы дальности.

Генератор калибратора должен, очевидно, отличаться высокой стабильностью. Кварцевую стабилизацию в данном случае применить нельзя, ибо при резонансной частоте  $F = 15 \text{ кгц}$  кварцевая пластина возбуждается с большим трудом из-за ее большой толщины. Поэтому в калибраторе используется транзистронный генератор (лампа Л15), который отличается высокой стабильностью частоты, хотя и более низкой, чем кварцевый генератор.

Для транзитронного генератора характерно, что его колебательный контур (L81, C71) включен между экранной сеткой и катодом (через C63 и R27=8200 ом), а экранная и пентодная сетки связаны между собой конденсатором (C72).

Рассмотрим принцип действия транзитронного генератора.

Незатухающие колебания в генераторе, имеющем нагрузку в виде колебательного контура в анодной цепи, получаются благодаря тому, что потери энергии, происходящие в контуре, компенсируются первой гармоникой анодного тока. Потери в контуре означают наличие в нем положительного активного сопротивления. Положительным оно называется потому, что приращение напряжения на сопротивлении контура вызывает в нем приращение тока того же знака. Что касается энергии, вносимой в контур из анодной цепи, то она эквивалентна внесению в контур отрицательного активного сопротивления. Знак этого сопротивления определяется тем, что анодное напряжение и первая гармоника анодного тока изменяются в противофазе.

В транзитронном генераторе также создается отрицательное сопротивление, но способ его получения иной. Ток экранной сетки, как известно, тем больше, чем больше напряжение на экранной сетке и меньше на пентодной. Благодаря конденсатору связи C72 увеличение напряжения на экранной сетке влечет за собой увеличение напряжения на пентодной сетке. Если установить правильный режим генератора, то пентодная сетка будет в большей мере влиять на ток экранной сетки  $I_{g2}$ , чем напряжение на экранной сетке  $E_{g2}$ . В таком случае увеличение  $E_{g2}$  вызывает уменьшение  $I_{g2}$ . Это значит, что в цепи экранной сетки возникает отрицательное сопротивление, которое поддерживает незатухающие колебания в контуре, а по существу это означает, что в цепь экранной сетки и в контур, включенный в нее, благодаря процессам, происходящим в лампе, поступает энергия от источника постоянного тока, питающего схему.

Генератор работает при прямом ходе развертки, когда с анода лампы подсвета Л4Б через разделительный конденсатор C70 и делитель R24, R25 на управляющую сетку Л5 подается положительный импульс. В остальную часть периода генерирование колебаний не происходит вследствие того, что на управляющую и пентодную сетки подается большое отрицательное напряжение, которое снимается с R27 и подается через R25 и R28.

Связь между калибратором и одной из пластин Y осуществляется через конденсатор C78. Элементы R18, C63 образуют в анодной цепи развязывающий фильтр.

Работу калибратора можно прекратить, замкнув ключом B86 контур генератора.

## Е. Выходной каскад усилителя промежуточной частоты

Через ножевые контакты 56 и 0 импульсы второй промежуточной частоты поступают с первичного контура выходного каскада приемника на вторичный контур L83, C79, C80, R32, находящийся в блоке отметчика. Этот контур является входным для выходного кас-

када УПЧ, работающего на пентоде Л6. Нагрузкой усилителя служит контур L82, C75, R82, настроенный в резонанс на вторую промежуточную частоту. Напряжение с контура через конденсатор C77 подводится к одной из пластин Y. Так как это напряжение имеет характер импульсов переменного знака, то отметка на экране получается двусторонней относительно линии развертки (см. фиг. 31).

На пластины Y, кроме импульсов промежуточной частоты и калибровочных колебаний, подается постоянное напряжение. Здесь применяется такая же схема, как в цепи пластин X. Для этой цели используются сопротивления R43, R44 и высоковольтный делитель R53—R35. Исходное положение светового пятна по вертикали устанавливается сдвоенным потенциометром R51, R52.

Смещение на управляющую сетку лампы Л6 снимается с катодного сопротивления R29, заблокированного двумя конденсаторами C73, C74 (два конденсатора включены потому же, что и в лампе Л2).

В заключение приведем соображения по выбору ламп отмечника.

Лампа Л1 по принципу действия схемы должна быть пентодом, обеспечивающим требуемый ток заряда конденсаторов генератора развертки. Этим требованиям удовлетворяет пентод 6Ж7, который широко используется во многих каскадах приемника станции.

В генераторах развертки обычно применяют триоды, с тем чтобы ускорить разряд формирующего конденсатора через малое сопротивление лампы и этим сократить время обратного хода развертки. В данном случае интервал между импульсами развертки настолько велик, что это не имеет существенного значения, и в целях сокращения количества типов ламп Л3 также является пентодом типа 6Ж7.

По принципу действия в транзитронном генераторе может быть использован только пентод, и так как для калибровки шкалы экрана не требуется большая мощность, то для этой цели пригодна та же лампа 6Ж7.

С той же целью унификации ламп фазоинверсный каскад выполнен на пентоде 6Ж7.

Расширитель импульсов Л4А и генератор импульсов подсвета Л4Б должны формировать импульсы достаточно большой амплитуды, которую не может обеспечить лампа 6Ж7. Поэтому эти каскады собраны на двойном триоде 6Н7, который имеет достаточно большую мощность и вместе с тем создает экономию в одной лампе за счет совмещения двух триодов в одном баллоне.

На вход лампы УПЧ Л6 подаются импульсы большой амплитуды, и для того чтобы лампа работала без сеточных токов, она должна иметь левые характеристики. Кроме того, для увеличения устойчивого коэффициента усиления лампа должна иметь большую крутизну характеристики и малую емкость  $C_{ga}$ . Из этих соображений в качестве выходного усилителя второй промежуточной частоты выбран пентод типа 6Ф6.

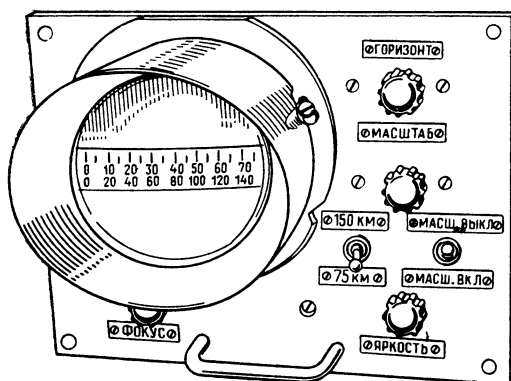
Все перечисленные лампы в настоящее время могут быть заменены другими, более совершенными.



## Ж. Конструктивное оформление отметчика

Отметчик, как и приемник, смонтирован на стальном шасси. При этом применен комбинированный монтаж: часть монтажа выполнена голым жестким проводом, а другая часть — гибкими проводами, свитыми в жгуты. Детали на шасси расположены так, чтобы по возможности сократить длину соединительных проводов.

Все элементы управления расположены на лицевой панели (фиг. 43). На ней виден экран трубки с козырьком для предохранения от засвечивания посторонним светом и прозрачная шкала дальности



Фиг. 43. Внешний вид отметчика станции П-3А.

стей, прилегающая к экрану. Здесь же находятся: ручка «Горизонт», которой при помощи потенциометра R48, R49 (см. фиг. 39) можно совместить начало линии развертки с началом шкалы дальности; ручка «Масштаб», которой путем изменения R9 изменяют скорость развертки для совмещения периода масштабной кривой с дистанцией 10 км на шкале дальности; переключатель развертки 75—150 км; выключатель В86 калибратора масштаба; ручка «Яркость», регулирующая напряжение на управляющем электроде трубки с помощью R37; ручка «Фокус», изменяющая напряжение на первом аноде (R39).

Кроме того, на передней панели имеются отверстия, через которые отверткой можно вращать потенциометр R51, R52 (смещение развертки по вертикали), сопротивления R50 (дополнительное смещение по вертикали), R53 (дополнительная регулировка фокусировки).

## § 8. АНТЕННО-ФИДЕРНОЕ УСТРОЙСТВО

Антенно-фидерное устройство станции состоит из двух антенн  $A_I$  и  $A_{II}$  (фиг. 44), конструктивно связанных между собой и приводимых во вращение общим редуктором, из фидеров, гониометра,

антенного коммутатора, выпрямителя двигателя редуктора и азимутального прибора.

Рассмотрим электрическую схему и конструкцию каждого из этих элементов.

### А. Конструкция антенны

Антенна  $A_I$  является основной и используется для передачи и приема. Она состоит из двух волновых каналов, каждый из которых содержит активный вибратор (бивибратор), один рефлектор и семь директоров.

Антенна  $A_{II}$  является дополнительной и используется только для приема при точном измерении азимута. Она также состоит из двух волновых каналов, но каждый из них содержит одиночный активный вибратор, рефлектор в виде сетки и только один директор.

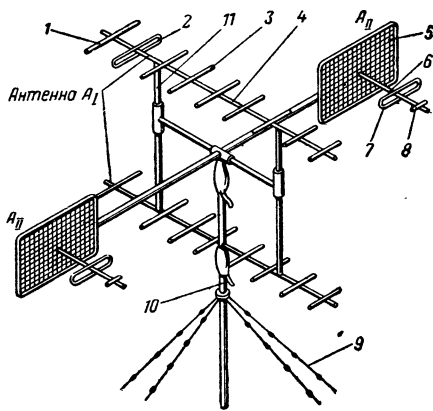
Антенная система смонтирована на металлической мачте высотой 8,3 м, составленной из четырех дюралюминовых труб, которые сочленяются между собой при помощи фланцев четырьмя откидными болтами. Нижнее колено прикрепляется к кронштейну пяти мачты. Для этой цели служат откидные болты и фланец в основании нижнего колена.

Для большей устойчивости мачта антенны оттягивается стальными тросами. В тросы врезаны орешковые изоляторы. Расстояние между изоляторами выбрано из тех соображений, что если длина каждого участка троса меньше  $\frac{\lambda}{4}$ , то эти участки далеки от резонанса и не создают большого отсасывания энергии из антенны.

К верхнему колену мачты примыкает редуктор. К крышке редуктора четырьмя откидными болтами прикрепляется горизонтальная траверса, которая служит основой для крепления двух вертикальных поперечин. К ним в свою очередь присоединяются две горизонтальные стрелы, расположенные в одной вертикальной плоскости. В месте расположения мачты прямолинейность нижней стрелы нарушается: стрела огибает мачту в виде полукольца.

На стрелах в горизонтальной плоскости монтируются вибраторы основной антенны. Вибраторы и стрелы сочленяются в середине вибраторов посредством металлических хомутов. Все вибраторы, стрелы, траверса и поперечины изготавливаются из дюралюминовых труб.

Каждый активный вибратор основной антенны имеет форму петли, присоединенной свободными концами к антенному фидеру РК-3.



Фиг. 44. Антенна станции П-3А.

1—рефлектор, 2—активный вибратор, 3—директор (7 шт.), 4—стрела, 5—рефлекторная сетка, 6—стрела, 7—активный вибратор, 8—директор, 9—оттяжки, 10—мачта, 11—поперечина.

Петлевой вибратор эквивалентен двум полуволновым вибраторам, включенным в параллель. Благодаря этому сопротивление излучения петлевого вибратора в 4 раза больше, чем обычного полуволнового вибратора, а это облегчает согласование антенны с фидером.

Заметим, что стрелы, несмотря на имеющийся контакт с вибраторами, не влияют на излучение и прием антенны, так как стрелы расположены перпендикулярно к вибраторам, а следовательно, и к их электрическому полю.

К верхней крышке редуктора в направлении, перпендикулярном основной горизонтальной траверсе, прикрепляется другая горизонтальная траверса. Концы ее служат местом крепления двух малых стрел азимутальной антенны  $A_{II}$ . С одного конца стрел расположены рефлекторы; каждый из них имеет вид металлической сетки, натянутой на прямоугольную раму, непосредственно прикрепленную к дополнительной траверсе. Крепление активных вибраторов и дирижаторов к малым стрелам производится так же, как и к большим стрелам, посредством хомутов.

### Б. Редуктор антенны

Редуктор антенны разделен на две части. В нижней части находится собственно редуктор, состоящий из механизма вращения антенны и электродвигателя постоянного тока, который конструктивно является как бы элементом редуктора, а в верхней части находится токосъемник, представляющий собой вращающееся сочленение для питания антенны.

Кинематическая связь между элементами редуктора (фиг. 45) такая. Электродвигатель ГС-1000 вращается со скоростью 2800 об/мин и через муфту и две червячные пары, создающие замедление 1 : 35 (до 80 об/мин) и 1 : 40 (до 2 об/мин), передает движение выходной оси редуктора, которая с одной стороны связана с антенной, а с другой — с сельсином-датчиком СС-404. Последний в совокупности с сельсином-приемником, находящимся в азимутальном приборе, позволяет судить об угловом положении антенны.

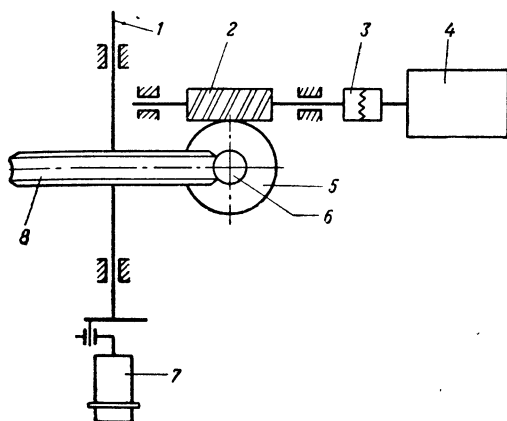
Токосъемник содержит неподвижную и подвижную части (фиг. 46). Корпус неподвижной части представляет единую силуминовую отливку с корпусом собственно редуктора, а подвижная часть токосъемника монтируется на выходной оси редуктора вместе с его верхней крышкой.

Основными элементами подвижной части являются три диска, прикрепленные к оси редуктора и изолированные от нее электрически, и три высокочастотные буксы, расположенные на верхней крышке редуктора. В каждой из этих букс средний контакт соединяется с одним из дисков, а наружный контакт, как в обычном коаксиальном разъеме, соединяется с корпусом.

Между дисками образованы цилиндрические полости. В них находятся три проволочных петли. Каждая из этих петель прикрепляется к среднему контакту одной из трех высокочастотных букс, смонтированных на неподвижной части редуктора. Петли скользят по

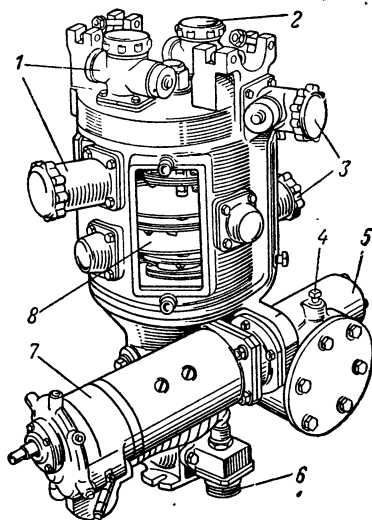
дискам и благодаря пружинам плотно контактируют с ними. К неподвижным буксам подключаются два фидера от гониометра и один — от антенного коммутатора, а к подвижным буксам — один фидер от верхнего этажа антенны  $A_1$ , другой — от нижнего этажа антенны  $A_1$  и третий — от антенны  $A_{II}$ .

Питание двигателя и электрическая связь между сельсинами осуществляются значительно проще, так как они не требуют приме-



Фиг. 45. Кинематическая схема редуктора антенны.

1—выходная ось редуктора, 2—первый червяк, 3—муфта, 4—электродвигатель ГС-1000  $n=2800$  об/мин, 5—первое червячное колесо  $n=80$  об/мин, 6—второй червяк, 7—сельсин СС-404, 8—червячное колесо  $n=2$  об/мин.



Фиг. 46. Внешний вид редуктора антенны (со снятой крышкой).

1—буксы верхней антенны, 2—букса нижней антенны, 3—буксы антенны азимута, 4—маслоизмеритель и отверстие для заливки масла, 5—редуктор, 6—штепсельная муфта, 7—электродвигатель ГС-1000, 8—съемник.

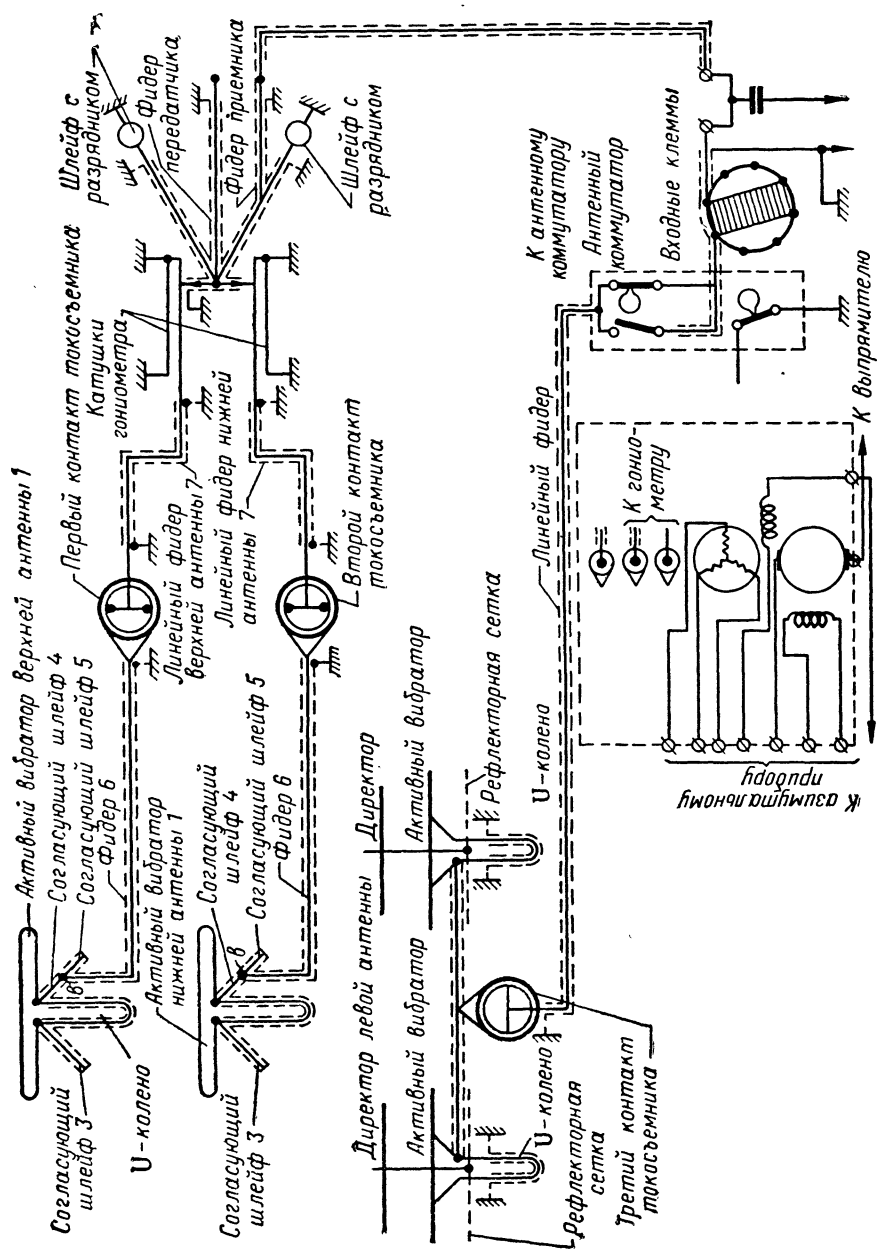
нения вращающегося сочленения и передачи высокочастотной энергии. Для этой цели оказались достаточными кабель и муфта, прикрепленная снизу к редуктору.

## В. Электрическая схема антенно-фидерного устройства

На фиг. 47 показана принципиальная схема антенно-фидерного устройства. Рассмотрим эту схему, одновременно обращаясь к другим иллюстрациям, изображающим отдельные звенья устройства.

Схема включения активных вибраторов основной антенны (фиг. 48) определяется двумя условиями.

а) Вибратор 1 антенны симметричный, тогда как фидер 6, питающий вибратор, несимметричный. Если наружную оплетку кабеля, которая заземляется, соединить с точкой б, а внутреннюю жилу кабеля соединить с точкой а, то вибратор потеряет симметрию: одна его половина окажется непосредственно заземленной, а другая



Фиг. 47. Электрическая схема включения антенно-фидерного устройства.

будет иметь некоторую емкость по отношению к земле. Эта трудность разрешается включением U-колена 2, представляющего собой отрезок коаксиального кабеля длиной  $l_2 = 0,5 \lambda$ , наружная оплетка которого заземлена, а внутренняя жила соединяет входные точки  $a$ ,  $b$  вибратора. Благодаря U-колену потенциалы в точках  $a$ ,  $b$  имеют противоположную полярность и вместе с тем они симметричны относительно земли.

При вычислении геометрической длины U-колена следует иметь в виду, что фидер РК-3, которым выполнены все участки линии передачи, имеет наполнение полиэтиленом, диэлектрическая проницаемость которого  $\epsilon$  больше диэлектрической проницаемости воздуха  $\epsilon_0$  в 2,3 раза. Поэтому скорость распространения электромагнитных волн и соответственно длина волны в этом фидере

меньше, чем в воздухе, в  $\sqrt{\frac{\epsilon}{\epsilon_0}} \approx 1,5$  раза.

Пропорционально следует уменьшить длину U-колена.

б) Необходимо согласовать фидер с вибратором во избежание появления в фидере наряду с бегущими волнами стоячих волн.

Одиночный полуволновый петлевой вибратор, настроенный в резонанс, имеет чисто активное входное сопротивление  $R_{вх}$ , равное сопротивлению излучения 300 ом. Если же вибратор не точно настроен в резонанс, то, кроме активной составляющей, имеется реактивная составляющая  $x_{вх}$  входного сопротивления. Под влиянием рефлектора и директоров активная составляющая  $R_{вх}$  уменьшается и реактивная составляющая  $x_{вх}$  изменяет свою величину.

Для дальнейших рассуждений целесообразно последовательно включенные  $R_{вх}$  и  $x_{вх}$  заменить эквивалентными параллельно включенными сопротивлениями  $R'_{вх}$  и  $x'_{вх}$ . Это можно записать так:

$$\frac{1}{R_{вх} + jx_{вх}} = \frac{1}{R'_{вх}} + \frac{1}{jx'_{вх}}$$

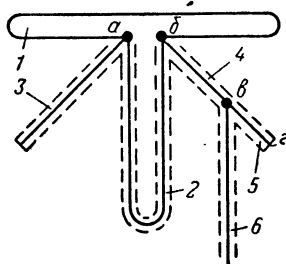
или

$$\frac{R_{вх} - jx_{вх}}{R_{вх}^2 + x_{вх}^2} = \frac{1}{R'_{вх}} - j \frac{1}{x'_{вх}}$$

Отделяя действительную и мнимую части равенств, находим

$$R'_{вх} = \frac{R_{вх}^2 + x_{вх}^2}{R_{вх}}; \quad x'_{вх} = \frac{R_{вх}^2 + x_{вх}^2}{x_{вх}}$$

Согласовать фидер с антенной — это значит полностью компенсировать реактивную составляющую входной проводимости вибратора  $1/x'_{вх}$  и сделать активной составляющей этой проводимости равной волновой проводимости фидера  $1/\rho_{ф}$ .



Фиг. 48. Схема питания активного вибратора основной антенны.

Компенсация реактивной составляющей  $x'_{вх}$  производится короткозамкнутым шлейфом 3. Входная проводимость такого шлейфа чисто реактивная и вычисляется по формуле

$$\frac{1}{x'_{вх}} = \frac{1}{\rho_{\phi} \operatorname{tg} \frac{2\pi}{\lambda} l_3} = \frac{1}{\rho_{\phi}} \operatorname{ctg} \frac{2\pi}{\lambda} l_3.$$

Условием компенсации является

$$\frac{1}{x'_{вх}} = -\frac{1}{x'_{вх}} \quad \text{или} \quad \frac{1}{\rho_{\phi}} \operatorname{ctg} \frac{2\pi}{\lambda} l_3 = -\frac{x_{вх}}{R_{вх}^2 + x_{вх}^2},$$

откуда следует, что длина шлейфа 3 должна быть

$$l_3 = \frac{\lambda}{2\pi} \operatorname{arc} \operatorname{ctg} \left( -\frac{\rho_{\phi} x_{вх}}{R_{вх}^2 + x_{вх}^2} \right).$$

Волновое сопротивление фидера РК-3 известно ( $\rho_{\phi} = 75 \text{ ом}$ ), а составляющие входного сопротивления вибратора  $R_{вх}$  и  $x_{вх}$  могут быть определены при помощи измерительной линии. При вычислении следует иметь в виду замечание, сделанное выше о длине волны в фидере.

Волновая проводимость фидера не позволяет удовлетворить равенство  $\frac{1}{R'_{вх}} = \frac{1}{\rho_{\phi}}$ , так как  $R''_{вх} > \rho_{\phi}$ . В связи с этим линейный фидер 6 подключается не к входным точкам а, б вибратора, а в промежуточное сечение в короткозамкнутого шлейфа 5, 4. В сечении б этот шлейф нагружен на активную проводимость  $1/R'_{вх}$ , а на конце з его проводимость бесконечно велика. Поскольку в короткозамкнутом шлейфе входная проводимость плавно изменяется по длине, то в нем всегда можно найти такое сечение в, в котором активная составляющая проводимости равна волновой проводимости фидера. В это сечение и следует включить фидер 6.

Теперь в нем будут чисто бегущие волны. Наличие стоячих волн в согласующих шлейфах 3, 4, 5 не имеет существенного значения, так как длина их значительно меньше длины фидера б и линейного фидера 7, которые соединяются между собой в токосъемнике (см. фиг. 47).

Схема питания верхнего и нижнего этажей антенны одинаковая, если не считать того, что фидер б верхнего этажа имеет большую длину, чем одноименный фидер нижнего этажа, на разность высот этих этажей.

После нарезания отрезков шлейфов и U-колена требуемой длины производят взаимную пайку жил и экранов на концах шлейфов 3 и 5, а фидер б припаивают к сечению в. Затем отрезки кабелей свертывают в виде кольца, обматывают киперной лентой и покрывают черным лаком. Таким образом, антенный фидер оказывается сравнительно жестко связанным с бивибратором.

Вся эта схема в эксплуатации не настраивается. Завод-изготовитель придает к станции три комплекта фидерных линий, каждый из

которых настроен на рабочую частоту станции, отличающуюся от номинальной не более чем на 300 кГц. При смене фидеров или генераторных ламп производится подстройка несущей частоты до получения коэффициента бегущей волны  $k_{6,в} \geq 0,8$ .

### Г. Гониометр

Передачик и приемник подключаются к линейным фидерам 7 антенн  $A_1$  через гониометр, предназначенный для изменения соотношения между токами в верхнем и нижнем волновом каналах основной антенны.

Гониометр (фиг. 49) состоит из двух катушек, выполненных на фарфоровых цилиндрах; щеток  $a_1$  и  $a_2$ , скользящих по токоведущим шинам, которые образованы слоем меди, нанесенным в виде спирали на наружную поверхность цилиндров; полуволнового отрезка кабеля, соединяющего щетки  $a_1$  и  $a_2$ , и механизма перемещения щеток. Штурвал гониометра через систему шестерен приводит во вращение катушки и вместе с тем вызывает поступательное движение щеток по токоведущим шинам этих катушек.

Каждая катушка имеет заземленный экран в виде слоя меди, полностью покрывающего внутреннюю поверхность фарфоровых цилиндров.

На фиг. 50 показана схема включения гониометра.

Токоведущие шины с одного конца соединяются с экранами, а с другого — подключаются через буквы  $A_1$  и  $A_2$  к верхнему и нижнему волновым каналам. Следовательно, в электрическом отношении гониометр представляет собой короткозамкнутую двухпроводную линию.

Щетка  $a_1$  находится на расстоянии  $x$ , а щетка  $a_2$  — на расстоянии  $x + \lambda/4$  от короткозамкнутого конца линии. Если линейные фидеры согласованы с нагрузкой, то участки линии от зажимов  $A_1$  и  $A_2$  до щеток  $a_1$ ,  $a_2$  работают в режиме бегущих волн, а в остальной части линии устанавливается режим стоячих волн.

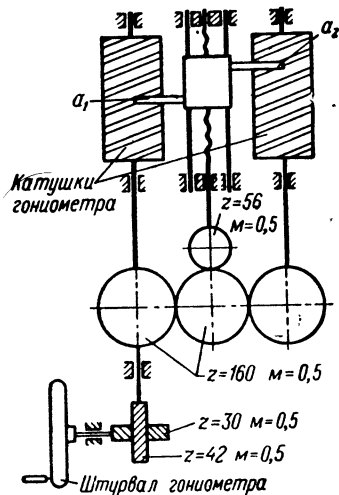
Отсюда следует вывод, что амплитуда напряжения в буксе верхней и нижней антенн соответственно равна:

$$U_{A1} = U_m \sin \frac{2\pi}{\lambda} x$$

и

$$U_{A2} = U_m \sin \frac{2\pi}{\lambda} \left( x + \frac{\lambda}{4} \right) = U_m \cos \frac{2\pi}{\lambda} x,$$

где  $U_m$  — амплитуда напряжения в пучности.



Фиг. 49. Кинематическая схема гониометра.

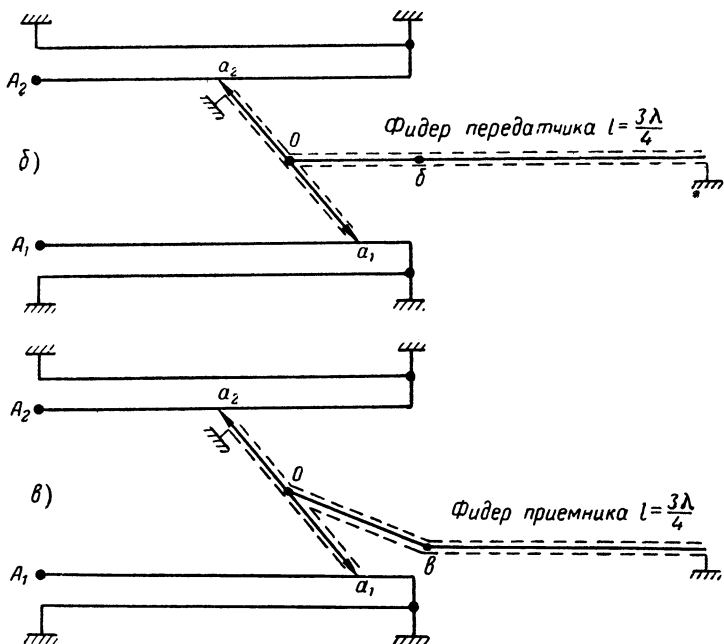
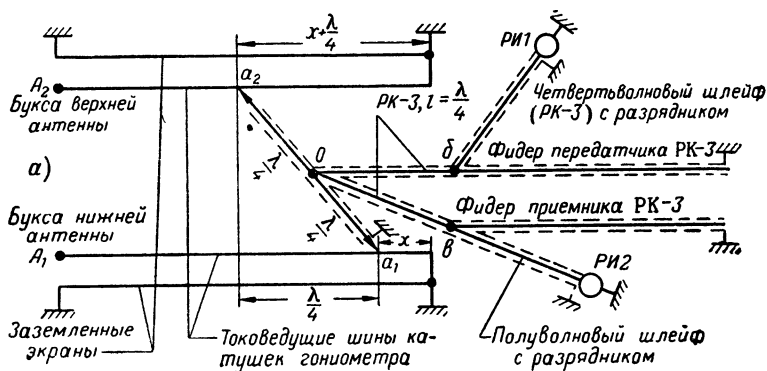


Мощность тока пропорциональна квадрату его амплитуды. Стало быть, общая излучаемая мощность основной антенны  $P_{\Sigma}$  распределяется между верхней и нижней антеннами согласно уравнениям

$$P_{\Sigma 1} = P_{\Sigma} \sin^2 \left( \frac{2\pi}{\lambda} x \right)$$

и

$$P_{\Sigma 2} = P_{\Sigma} \cos^2 \left( \frac{2\pi}{\lambda} x \right).$$



Фиг. 50. Схема включения гониометра.

а—принципиальная электрическая, б—эквивалентная — при работе на передачу, в—эквивалентная—при работе на прием.

Когда  $x=0$ , то согласно приведенным уравнениям  $P_{21}=0$ , а  $P_{22}=P_2$ . Действительно, в этом случае щетка  $a_1$  находится у короткозамкнутого конца линии, вследствие чего выход передатчика в направлении буквы  $A_1$  замкнут накоротко, а в направлении буквы  $A_2$  не шунтируется линией (входное сопротивление четвертьволновой короткозамкнутой линии без потерь равно бесконечности), и вся энергия излучается и принимается верхней антенной. По мере перемещения щеток  $a_1, a_2$  в сторону увеличения  $x$  мощность  $P_{22}$  уменьшается, а  $P_{21}$  увеличивается, и когда  $x=\frac{\lambda}{4}$ , то  $P_{21}=P_2$ , а  $P_{22}=0$ .

Это объясняется тем, что выход передатчика и вход приемника в направлении буквы  $A_2$  замыкаются накоротко полуволновой  $\left(x+\frac{\lambda}{4}=\frac{\lambda}{2}\right)$  короткозамкнутой линией гониометра, а в направлении буквы  $A_1$  шунтирование гониометром не происходит  $\left(x=\frac{\lambda}{4}\right)$ .

Диаграмма направленности антенны в вертикальной плоскости зависит от ее высоты. Поэтому при равной силе тока в вибраторах верхнего и нижнего волновых каналов диаграмма направленности этих каналов в вертикальной плоскости различна: лепестки диаграммы верхнего канала больше прижаты к земле. По мере увеличения тока в нижнем канале и уменьшения тока в верхнем канале лепестки результирующей диаграммы все более отклоняются от земной поверхности.

Следовательно, гониометр позволяет плавно изменять наклон лепестков диаграммы направленности антенны  $A_1$  в вертикальной плоскости, и отсчет угла места и высоты можно производить по номограмме гониометра (фиг. 51) в момент предельного уменьшения амплитуды отметки, т. е. в момент перехода облучения с одного лепестка диаграммы на другой.

Стрелка, вращающаяся по номограмме, механически связана со штурвалом гониометра. На номограмме имеются шкалы: «Теоретический угол места» от 3 до 18°, «Угол места номограммы», «Геометрические углы» от 0 до 90° и линии наклонной дальности от 0 до 150 км с интервалом в 10 км. Шкалой «Теоретический угол места» пользуются при установке радиолокатора на ровной горизонтальной площадке радиусом не менее 1—1,5 км, а шкала «Угол места номограммы» градуируется с учетом неровностей рельефа местности.

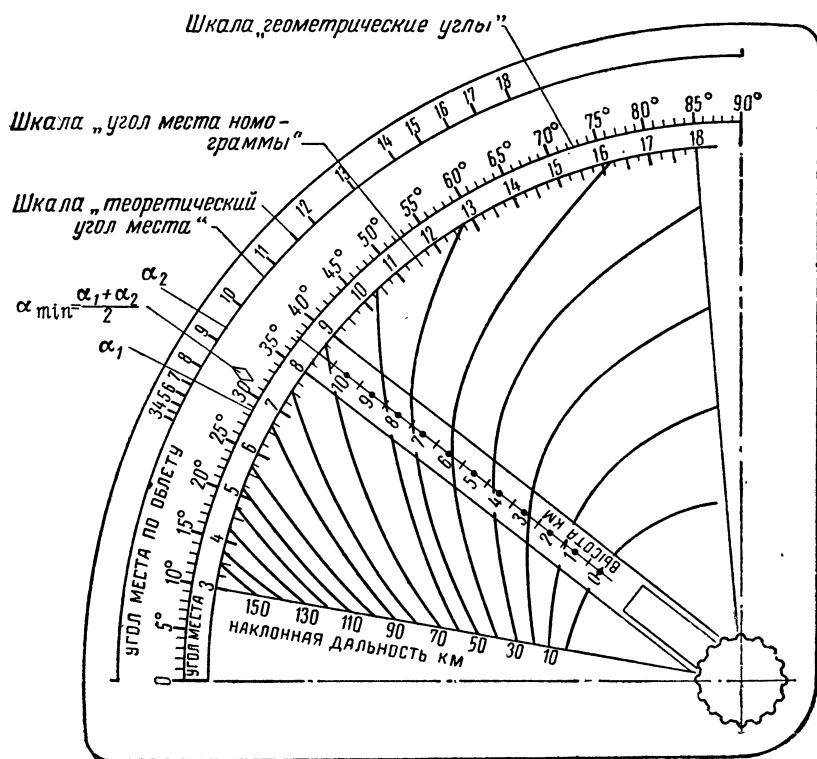
Последовательность измерения такая. Штурвал гониометра вращают до пропадания отраженного сигнала в шумах, отмечая угол  $\alpha_1$  по шкале геометрических углов, после чего по той же шкале отмечают угол  $\alpha_2$ , при котором сигнал появляется на фоне шумов, вычисляют среднеарифметическое значение угла

$$\alpha = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}$$

и ставят стрелку гониометра на этот угол. Затем производят отсчет угла места по соответствующей шкале номограммы и определяют вы-

соту самолета по точке пересечения линии наклонной дальности (известной из показаний отметчика) и линии «высота км», нанесенной на стрелку.

Гониометр конструктивно выполнен так, как показано на фиг. 52. Он прикрепляется к столику, примыкающему к каркасу передатчика. Такое расположение гониометра облегчает пользование номограммой.



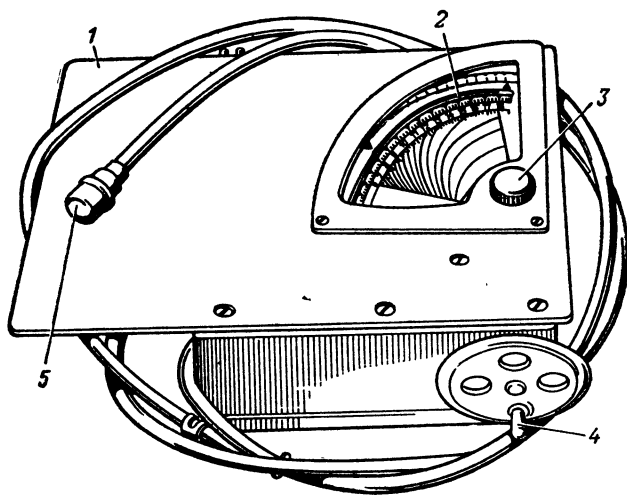
Фиг. 51. Номограмма гониометра.

Отчет угла места можно производить и по максимуму показаний, но для этого требуется соответствующая градуировка номограммы.

Возвратимся к фиг. 50, а и рассмотрим работу схемы при передаче и приеме. В первом случае разрядники РИ1 и РИ2 пробиваются мощным импульсом передатчика, закорачивая этим концы линий, в которые они включены. Имея в виду, что длина шлейфа с разрядником РИ1 равна  $\lambda/4$ , а шлейф с разрядником РИ2 — полуволновый, можно сказать, что при передаче первый шлейф в сечении б имеет бесконечно большое входное сопротивление и не препятствует прохождению энергии передатчика в основную антенну, а шлейф с разрядником РИ2 в сечении в закорачивает фидер приемника. Так как линия Ов получается четвертьволновой короткозамкнутой, то ее

можно мысленно полностью отбросить, начиная от сечения  $O$  (фиг. 50, б). Таким образом, приемник не отсасывает энергию от передатчика.

При работе на прием разрядники не пробиваются, в связи с чем шлейфы с разрядниками оказываются разомкнутыми на конце. Характер их входного сопротивления по сравнению с режимом передачи изменяется на обратный: в сечении  $b$  это сопротивление равно нулю, а в сечении  $в$  — бесконечности. Значит, фидер передатчика в



Фиг. 52. Внешний вид гониометра.

1—столтик гониометра, 2—шкала, 3—движок шкалы высот, 4—рукоятка вращения катушек, 5—букса приемника.

сечении  $b$  замкнут накоротко, и так как линия  $Ob$  получается четвертьволновой короткозамкнутой, то, начиная от сечения  $O$ , можно мысленно отбросить ее. Вместе с тем шлейф с разрядником РИ2 не шунтирует фидер приемника, а поэтому имеются условия для беспрепятственного поступления эхо-импульсов из антенны в приемник (фиг. 50, в).

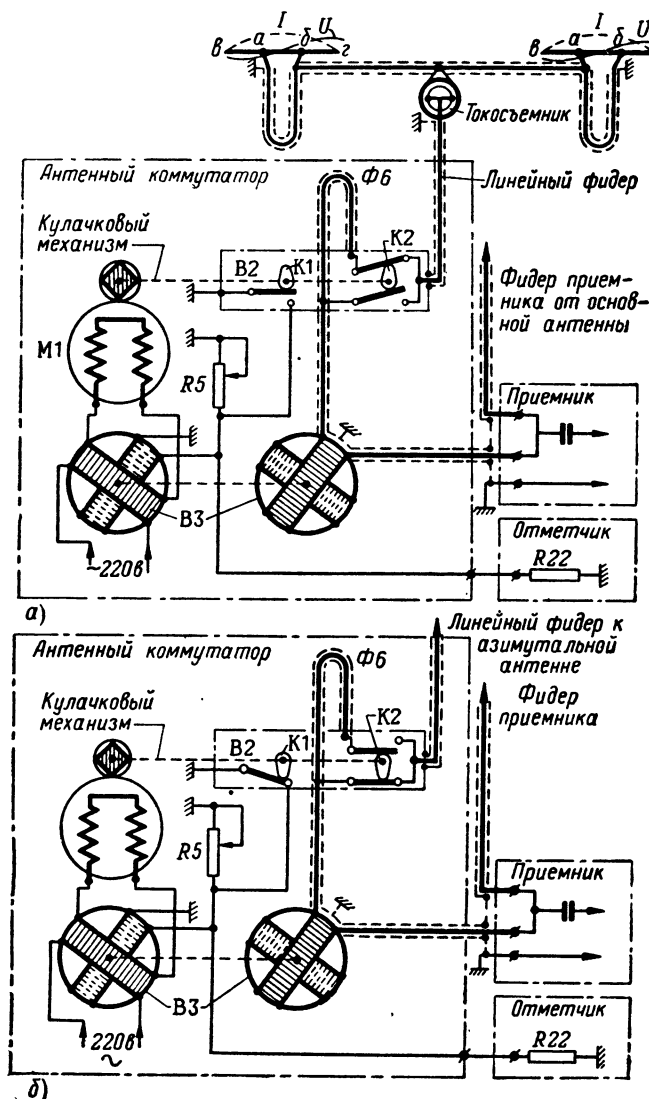
#### Д. Азимутальная антенна и антенный коммутатор

Схема включения азимутальной антенны  $A_{II}$  значительно проще схемы питания основной антенны. Это объясняется следующим:

а) азимутальная антенна используется только для приема при точном определении азимута, и поэтому нет необходимости в применении в ней переключателя «Передача-прием»;

б) каждая азимутальная антенна содержит обычный активный полуволновый вибратор, рефлектор и только один директор, благодаря чему активный вибратор можно настроить без компенсации реактивной составляющей его входной проводимости.

Линейный фидер азимутальной антенны, как видно из фиг. 53, а, после токосъемника разветвляется на два отрезка длиной  $\lambda$  каждый и подключается через симметрирующие U-колена к активным вибраторам.



Фиг. 53. Схема включения азимутальной антенны и антенного коммутатора.

Точки подключения фидеров  $a$ ,  $b'$  выбираются с таким расчетом, чтобы активные вибраторы волновых каналов возбуждались в противофазе и чтобы входное сопротивление каждого вибратора между

точками  $a, b$  было равно волновому сопротивлению фидера. Наличие на фидере двух таких точек может быть доказано тем, что входное сопротивление вибратора плавно изменяется от бесконечности между крайними точками  $в, г$  (где имеют место пучность напряжения и узел тока) до нуля в середине вибратора (где наблюдаются пучность тока и узел напряжения).

Активный вибратор и директор крепятся к каждой стреле, как было сказано, хомутиками, а питание к активному вибратору подводится при помощи проходного изолятора, помещенного на азимутальной траверсе. С одной стороны к изолятору подключается фидер, а с другой — два канатика. Согласование фидера с вибратором осуществляется подбором точек ( $a, б$ ) соединения канатиков с вибратором.

В схему включения азимутальной антенны входит антенный коммутатор, который содержит: а) однофазный синхронный двигатель с обмотками  $M1$ , вращающий со скоростью 1500 об/мин два фигурных кулачка  $K1, K2$  переключателя  $B2$ ; б) отрезок коаксиального фидера  $\Phi6$  длиной  $\lambda/2$ , при помощи которого фаза сигналов, принимаемых азимутальной антенной, изменяется на  $180^\circ$ ; в) переключатель рода работ  $B3$  на два положения: «Грубый пеленг» — «Точный пеленг».

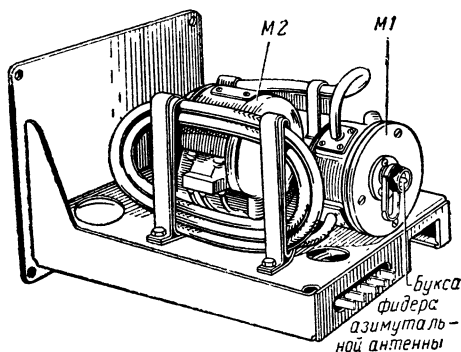
Если переключатель  $B3$  стоит в положении «Грубый пеленг» (пунктирные линии), то его левая галета отключает напряжение сети 220 в от двигателя и коммутация фазы не происходит. Эта же галета замыкает накоротко сопротивление  $R5$  в коммутаторе и сопротивление  $R22$  в отметчике для фиксации исходного положения линии развертки на экране. Правая галета отключает азимутальную антенну от приемника.

В положении «Точный пеленг» (сплошные линии) левая галета переключателя  $B3$  присоединяет сеть 220 в к обмоткам двигателя и кулачковый механизм приходит во вращение. В один такт (фиг. 53, а) кулачок  $K1$  занимает такое положение, при котором в схему генератора развертки вводятся параллельно включенные сопротивления  $R22$  и  $R5$ , а под действием кулачка  $K2$  между линейным фидером азимутальной антенны и входом приемника через правую галету переключателя включается отрезок фидера  $\Phi6$ .

В следующий такт (фиг. 53, б) при помощи кулачка  $K1$  упомянутые сопротивления  $R22$  и  $R5$  замыкаются накоротко, и так как через эти сопротивления проходил ток заряда конденсаторов генератора развертки, то начало линии развертки возвращается в исходное положение, в котором оно находилось и при грубом определении азимута. Одновременно через кулачок  $K2$  азимутальная антенна, минуя отрезок фидера  $\Phi6$ , подключается к входу приемника.

В результате через каждые 20 мксек (скорости 1500 об/мин = 25 об/сек соответствует цикл коммутации 40 мксек) на входе приемника то суммируются, то вычитаются э. д. с. основной и азимутальной антенн, а на экране трубки наблюдаются две близко расположенные отметки, по которым можно сравнительно точно измерить азимут по методу равносигнальной зоны.

Антенный коммутатор смонтирован на стальном шасси (фиг. 54). На горизонтальной панели шасси находятся электродвигатель М1 типа СОД-220, переключатель В2, связанный соединительной муфтой с двигателем, и полу-



Фиг. 54. Антенный коммутатор.

волновый шлейф Ф6. На лицевую панель блока выведены ручка переключателя В3 «Грубый азимут» — «Точный азимут» и отверстие с шильдиком «Сдвиг», через которое отверткой можно регулировать потенциометр R5, изменяя этим сдвиг развертки при переходе с индикации суммарного сигнала на разностный в случае точного измерения азимута. Фидер азимутальной антенны под-

ключается к коммутатору через буксу, находящуюся в задней части блока. Здесь же имеется ножевая контактная система для соединения с другими блоками радиолокатора.

### Е. Выпрямитель электродвигателя редуктора и азимутальный прибор

При описании блока редуктора было сказано, что в нем, в частности, находится двигатель М2 постоянного тока, вращающий антенну. Проще было бы для этой цели использовать асинхронный двигатель переменного тока, имея в виду, что первичным источником питания станции является сеть переменного тока, но тогда не удалось бы в больших пределах изменять скорость, а при желании и направление вращения антенны. В связи с этим возникла необходимость в создании блока выпрямителя редуктора и блока азимутального прибора (фиг. 55).

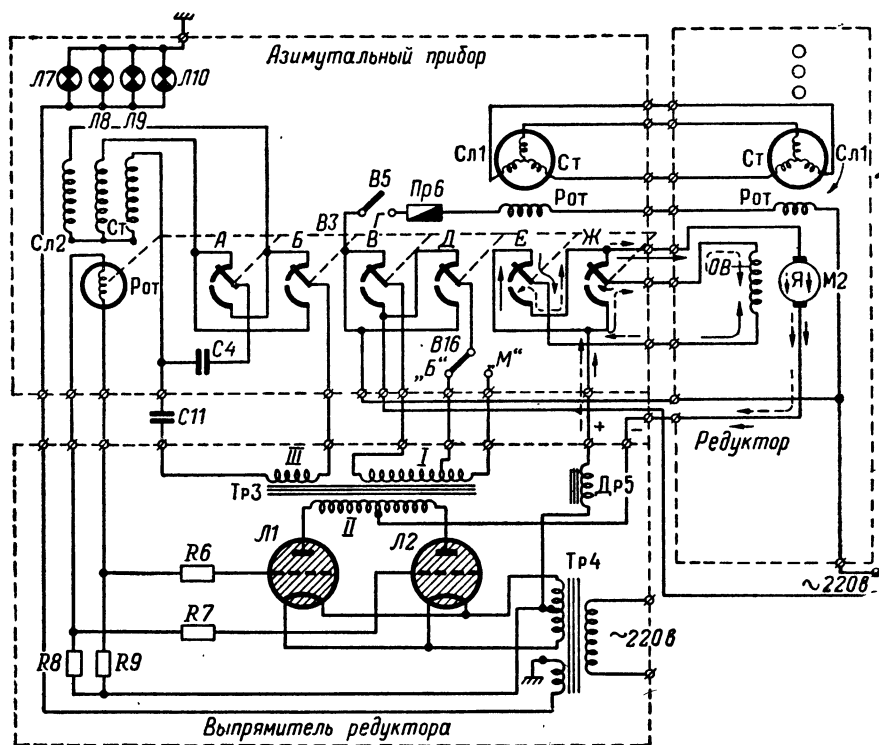
Выпрямитель редуктора выполнен по двухполупериодной схеме на тиратронах Л1 и Л2 типа ТГ 8/3000. Тиратроны как вентили имеют ряд преимуществ перед кенотронами: а) малое внутреннее сопротивление тиратронов позволяет получить высокий к. п. д.; б) тиратроны обладают способностью выпрямлять токи большой мощности; в) при помощи тиратронов можно плавно и безынерционно регулировать выпрямленный ток в больших пределах.

В данном случае эти качества тиратронов очень важны.

Основными элементами выпрямителя, кроме вентиля, являются накальный трансформатор Тр4, силовой трансформатор Тр3 и дроссель фильтра Др5. Одна понижающая обмотка трансформатора Тр4, имеющая вывод средней точки, используется для питания нитей накала тиратронов, а другая понижающая обмотка того же трансфор-

матора служит для питания ламп подсвета Л7, Л8, Л9, Л10 азимутального прибора.

Трансформатор Тр3 — повышающий. Его обмотка I через контакты переключателя В и Д присоединяется к сети питания, повышающая обмотка II своими концами подключается к анодам тиратронов, а средняя точка этой обмотки образует минусовый полюс вып-



Фиг. 55. Схема управления вращением антенны.

рямленного напряжения. Фильтр выпрямителя, как обычно при газоразрядных вентилях, начинается с дросселя Др5, который подключается к средней точке накальной цепи тиратронов, а поэтому выдаёт «плюс» выпрямленного напряжения.

Выпрямитель соединяется с сетью питания и двигателем редуктора через ламели В, Д, Е и Ж переключателя азимутального прибора. Если ручка переключателя занимает такое положение, как показано на фиг. 55, то обмотка I трансформатора, как было сказано, подключается к сети через В и Д, а ток через двигатель М2 идет в направлении, показанном сплошными стрелками, а именно «плюс» выпрямителя, верхняя ламель Е, серийная обмотка возбуждения ОВ, верхняя ламель Ж, обмотка якоря Я, «минус» выпрямителя. Для изменения направления вращения антенны на обратное переключатель ВЗ ставится в нижнее (по схеме) положение, и тогда ток в



электродвигателе идет в направлении, показанном пунктирными стрелками: «плюс» выпрямителя, нижняя ламель *Ж*, обмотка возбуждения *ОВ*, нижняя ламель *Е*, обмотка якоря *Я*, «минус» выпрямителя. Как видно, в якоре ток идет в том же направлении, а в обмотке возбуждения — в обратном. Это и требуется для реверсирования двигателя.

Плавное изменение скорости вращения антенны осуществляется регулировкой фазы напряжения на сетках тиратронов при помощи сельсина *Сл2*, управляемого переключателем-регулятором *В3*. Сельсин состоит из ротора *Рот* и статора *Ст*, на котором размещены три обмотки под углом  $120^\circ$  друг к другу. Статорные обмотки соединены звездой и питаются от обмотки *III* силового трансформатора *Тр3*.

В положении переключателя *В3*, показанном на фиг. 53, одну из статорных обмоток через верхнюю ламель *Б* непосредственно соединяют с трансформатором, другую обмотку подключают к нему через верхнюю ламель *А* и последовательно включенные конденсаторы *С4* и *С11*, а третью обмотку сельсина включают через конденсатор *С11*. Посредством этих конденсаторов между токами в статорных обмотках устанавливается сдвиг по фазе на  $120^\circ$ , необходимый для получения вращающегося магнитного поля.

Магнитное поле индуцирует в обмотке ротора напряжение с частотой питающей сети, и так как сердечник ротора имеет явно выраженные полюса, то фаза напряжения на нем зависит от углового положения вращающегося поля. Это положение можно регулировать переключателем *В3*, который механически связан с ротором сельсина.

Напряжение, полученное на роторе, подается на делитель *Р8*, *Р9*, а с делителя через антипаразитные сопротивления *Р6*, *Р7* — на участки сетка-катод тиратронов. Следовательно, рукояткой переключателя *В3* можно не только изменять направление вращения антенны, но и плавно изменять скорость ее вращения, так как от положения рукоятки зависит фаза сеточного напряжения тиратронов и сила тока, выпрямленного ими.

Переключатель *В3* и ротор сельсина сопряжены так, что скорость антенны устанавливается тем большей, чем больше рукоятка переключателя отклоняется от среднего положения. Для того чтобы эта закономерность не нарушалась при реверсировании антенны, в схеме предусмотрено изменение последовательности включения статорных обмоток сельсина через ламели *А*, *Б* переключателя.

Имеются две ступени регулировки скорости вращения антенны: от 0 до 0,6 и от 0,6 до 1,5—1,6 об/мин. Переход с первой ступени на вторую производят переключателем *В16* (с «*М*» на «*Б*») путем уменьшения числа рабочих витков первичной обмотки трансформатора *Тр3* и соответствующего увеличения выпрямленного напряжения.

Контроль пространственного положения антенны осуществляется сельсином-датчиком *Сл1*, находящимся в блоке редуктора, и сельсином-приемником *Сл1*, расположенным в блоке азимутального прибора. В статоре каждого сельсина имеются три обмотки, оси кото-

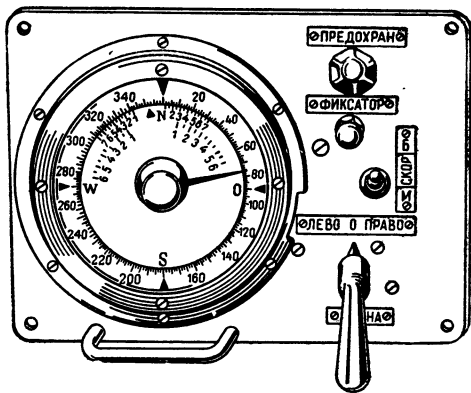
рых смещены на  $120^\circ$ , а в роторе — одна обмотка. Ротор сельсина-датчика механически сопряжен с антенной, а ротор сельсина-приемника — со стрелкой, вращающейся по шкале азимутального прибора. Одноименные обмотки статоров соединяются между собой параллельно, а роторные обмотки, выключатель В5 и предохранитель Пр6 образуют последовательное соединение с сетью питания.

Ток с частотой 50 гц, проходя по обмоткам роторов, превращает их в поляризованные магниты. Поэтому когда антенна, а с ней и ротор сельсина-датчика вращаются, то в статорных обмотках этого сельсина индуцируются э. д. с., которые оказываются приложенными и к статорным обмоткам сельсина-приемника. Вместе с тем в приемном сельсине ротор индуцирует э. д. с. в обмотках статора, причем эта э. д. с. направлена навстречу э. д. с., создаваемой сельсином-датчиком.

Если полностью соблюдена симметрия сельсинов и имеется точное соответствие в положении сельсинов, то встречные э. д. с. полностью компенсируются и ток в статорных обмотках отсутствует. Когда же под влиянием вращения антенны нарушается точное соответствие в положении роторов, то в статорных обмотках возникает уравнивающий ток, который возбуждает магнитное поле, заставляющее ротор сельсина-приемника повернуться и занять такое же положение, какое занимает ротор сельсина-датчика. Таким образом, по положению стрелки на азимутальном приборе можно судить о направлении антенны.

Если в какой-то момент времени требуется зафиксировать направление антенны, не прерывая ее дальнейшего вращение, то это можно сделать разрывом цепи роторов сельсинов с помощью выключателя В5. Тогда в сельсине-приемнике ротор обесточен и не вращается, несмотря на вращение антенны.

Блок выпрямителя смонтирован на стальной плате, а блок азимутального прибора — на угловой панели. На передней лицевой панели блока (фиг. 56) находятся: азимутальная шкала со стрелкой, которую при желании можно совместить с направлением на север (N); предохранитель Пр6; кнопка остановки сельсина-приемника В5, над которой помещен шильдик «Фиксатор»; переключатель скорости антенны В16 с шильдиком «БМ»; переключатель В3 с шильдиками «Антенна», «Лево-0-Право».



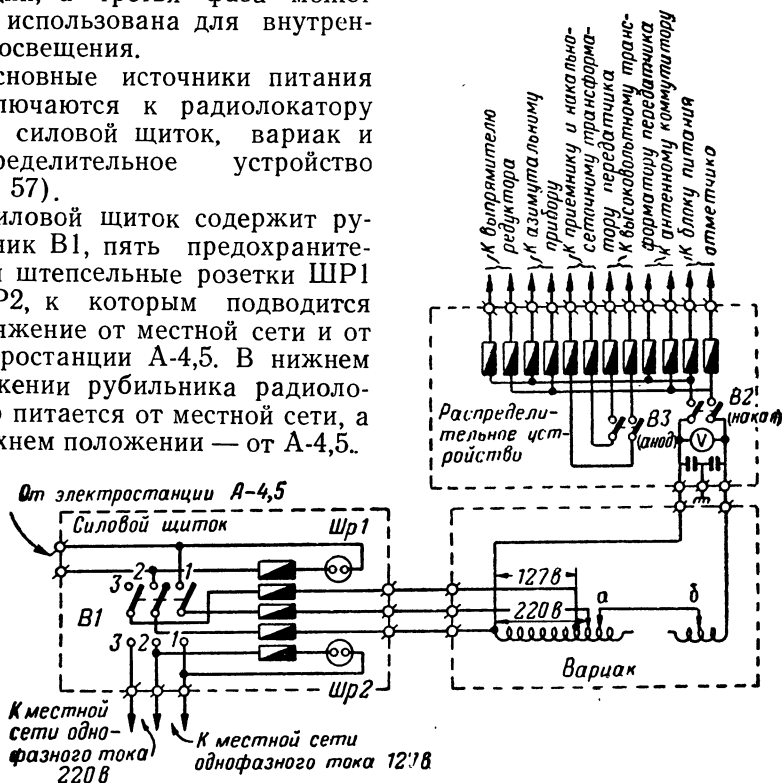
Фиг. 56. Передняя панель блока азимутального прибора.

## § 9. ПИТАНИЕ СТАНЦИИ

Радиолокатор рассчитан на питание от местной однофазной сети 127 в, 220 в или от электростанции трехфазного тока типа А-4,5. В комплект радиолокатора входят две станции А-4,5 (основная и резервная), причем питание к локатору подводится только от двух фаз станции, а третья фаза может быть использована для внутреннего освещения.

Основные источники питания подключаются к радиолокатору через силовой щиток, вариак и распределительное устройство (фиг. 57).

Силовой щиток содержит рубильник В1, пять предохранителей и штепсельные розетки ШР1 и ШР2, к которым подводится напряжение от местной сети и от электростанции А-4,5. В нижнем положении рубильника радиолокатор питается от местной сети, а в верхнем положении — от А-4,5.



Фиг. 57. Схема питания радиолокационной станции П-3А.

Вариак представляет собой автотрансформатор, предназначенный для плавной регулировки напряжения питания радиолокационной станции. Намотка вариака производится на сердечнике стержневого типа ПБД двумя секциями. От рукоятки вариака движутся ролики переключки, которые через оголенный наружный слой намотки замыкают часть секции а, б.

Выходное напряжение вариака контролируется вольтметром, находящимся в распределительном устройстве, где содержатся два пакетных выключателя В2, В3 и 12 предохранителей. Первый выключатель имеет шильдик «Накал», а второй — «Анод».

Сначала включают В2, и тогда питание через предохранители подводится к выпрямителю редуктора, азимутальному прибору, при-

емнику и накально-сеточному трансформатору передатчика, антенному коммутатору и к блоку питания отметчика. После этого включают ВЗ, чтобы подвести напряжение сети к высоковольтному трансформатору передатчика.

Выключать питание надлежит в обратной последовательности: сначала выключить ВЗ, затем В2 и, наконец, рубильник В1 поставить в нейтральное положение.

---

## Глава II

### СТАНЦИИ ОРУДИЙНОЙ НАВОДКИ

#### § 1. ОСОБЕННОСТИ СТАНЦИЙ ОРУДИЙНОЙ НАВОДКИ

Станции орудийной наводки (СОН) получили развитие во второй мировой войне. Рассмотрим их особенности на примере станции SCR-584.

##### А. Общие сведения

Станции орудийной наводки выполняют следующие задачи: а) обнаруживают воздушные объекты противника на расстоянии, достаточном для подготовки зенитных орудий к отражению налета; б) вырабатывают текущие координаты этих объектов с точностью, необходимой для ведения прицельного огня; в) вводят полученные координаты объектов в ПУАЗО, где вырабатываются упрежденные координаты цели.

Если бы станции обнаружения работали даже с высокой точностью, то и это не могло бы быть гарантией того, что по полученным данным оператор станции орудийной наводки сразу же сможет приступить к сопровождению цели. По этой причине в СОН предусматривается режим поиска. Дальность действия станции в режиме поиска составляет 50—80 км<sup>1</sup>.

Когда воздушная цель приближается на расстояние, несколько большее дальности зенитной артиллерии (25—40 км), станция переходит в режим сопровождения (слежения). Процесс перехода от поиска к сопровождению объекта называется режимом захвата.

Для своевременного обнаружения и сопровождения скоростных реактивных самолетов дальность действия станции должна быть увеличена.

До появления радиолокационных станций наведение артиллерийских орудий производилось только по оптическим прицелам. Их преимущество—большая точность определения угловых координат. С другой стороны, радиолокаторы намного превосходят оптические прицелы в точности измерения дальности. Поэтому на первых порах радиолокационные станции орудийной наводки использова-

---

<sup>1</sup> Б. Ф. Высоцкий, А. Е. Харбин. Радиолокационные устройства. Оборонгиз, 1960.

лись только для определения дистанции цели, дополняя оптические прицелы, которые устанавливали направление на цель.

Такое решение задачи наведения не полностью удовлетворяло артиллеристов, поскольку оптический прицел можно было использовать только при хорошей видимости. Возникла необходимость в совершенствовании радиолокационных методов определения направлений.

Освоение сантиметровых волн позволило создать остронаправленные антенны и тем самым увеличить точность измерения азимута и угла места. Эта точность оказалась достаточной для ручного сопровождения объектов по направлению. Следующим этапом в совершенствовании станций орудийной наводки явилось применение метода равносигнальной зоны при конической системе обзора пространства. С введением этого метода стало возможным автоматическое сопровождение объектов по направлению.

Это обстоятельство весьма существенно, так как ручное сопровождение быстро движущихся объектов крайне затруднительно и связано с неизбежными погрешностями, вносимыми инерционностью действий оператора. Автоматическое сопровождение имеет и другие преимущества: а) благодаря применению метода равносигнальной зоны оно происходит при сравнительно высоком уровне сигнала; б) автоматическое сопровождение позволяет более плавно вырабатывать текущие координаты, чем ручное сопровождение.

Увеличение скорости самолетов потребовало дальнейшей автоматизации процесса наведения орудий. В современных СОН ряда стран это осуществлено посредством автоматического сопровождения объектов не только по направлению, но и по дальности.

Кроме автоматического сопровождения, возможно ручное и полуавтоматическое сопровождение по дальности. Все эти системы позволяют тем или иным способом измерить дальность и вместе с тем избежать случайного перехода от сопровождения по направлению одного объекта к сопровождению по направлению другого объекта. Такой переход возможен, поскольку два объекта могут иметь одинаковое направление, но различную дальность. Если же сопровождение производится по всем трем координатам, то обеспечивается непрерывное слежение за одним и тем же объектом.

Автоматическое сопровождение по дальности имеет те же преимущества, что и автоматическое сопровождение по направлению. Тем не менее в СОН широко используется не только автоматическое, но и ручное и полуавтоматическое сопровождение по дальности. Ручное сопровождение объектов возможно при слабом сигнале, который оператор способен обнаружить на фоне помех, тогда как для автоматического сопровождения объекта интенсивность этого сигнала может быть недостаточной. Полуавтоматическое сопровождение создает дополнительные преимущества: оно менее утомительно для оператора и менее инерционно, чем ручное, так как полуавтоматическое сопровождение осуществляется вращением штурвала дальности от руки и дополнительным движением визира от электродвигателя со средней скоростью сопровождаемого объекта.

Современные станции орудийной наводки с большой точностью измеряют все текущие координаты цели.

Станции орудийной наводки работают на сантиметровых волнах<sup>1</sup>. Это вызвано следующими соображениями.

а) СОН должны обладать высокими разрешающей способностью и точностью по угловым координатам, которые, судя по характеристикам описываемых ниже станций, в режиме сопровождения исчисляются сотыми — десятими долями градуса, а в режиме поиска — около  $1-2^\circ$ . Чтобы одну и ту же антенну использовать в обоих режимах, диаграмма направленности антенны должна иметь иглообразную форму, но обзор должен производиться по методу максимума, а сопровождение — по методу равносигнальной зоны. Ширина диаграммы направленности должна исчисляться несколькими градусами. Такую высокую направленность антенны приемлемых размеров можно обеспечить только на сантиметровых волнах.

б) На сантиметровых волнах помехозащищенность станций выше, чем на дециметровых и метровых, так как с уменьшением длины волны усиливается направленность антенны и тем самым повышается уровень полезного сигнала по сравнению с помехой<sup>2</sup>.

в) В диапазоне сантиметровых волн за счет остронаправленного излучения и приема удастся избежать отражения радиоволн от земли, и таким образом отпадают ограничения в выборе площадки для размещения станций.

Рассмотрим вопрос о зоне и методе обзора пространства.

В режиме поиска обзор по азимуту ведется на  $360^\circ$ . Если обзор по углу места также производить в больших пределах, то, учитывая малую ширину диаграммы направленности антенны ( $2\varphi' = 2\theta' < 5^\circ$ ), пришлось бы установить настолько большую длительность цикла обзора, что стало бы невозможным получение устойчивого изображения на экране трубки и возникла бы опасность пропуска цели. В связи с этим качание антенны по углу места в ряде зарубежных станций орудийной наводки производится примерно на  $20-30^\circ$ , но в случае необходимости исходный наклон антенны можно изменить<sup>3</sup>. Имеются СОН, рассчитанные на обзор от горизонта почти до зенита.

Поскольку сектор обзора станции в вертикальной плоскости значительно больше ширины диаграммы направленности антенны, применение кругового метода развертывания в режиме поиска полностью исключено. В станциях SCR-584, «Томсон-Хустон», «Летучая мышь» используется винтовой или спиральный вид обзора пространства.

Для автоматического сопровождения цели по угловым координатам необходимо создать равносигнальные зоны в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Первая зона использовалась бы для управления движением антенны по азимуту, а вторая — по углу мес-

<sup>1</sup> См. сноску на стр. 113 (Б. Ф. Высоцкий и А. Е. Харьков).

<sup>2</sup> А. Н. Волжин, В. А. Янович. Противорадиолокация. Воениздат, 1960.

<sup>3</sup> Одна из таких станций (швейцарская «Летучая мышь») описана в «Вопросах радиолокационной техники», ИЛ, 1958, № 4.

та. Для этого необходимо располагать четырьмя антеннами, из которых две имели бы перекрывающиеся диаграммы в горизонтальной плоскости, а две других антенны создавали бы аналогичные диаграммы в вертикальной плоскости.

Более совершенным является конический метод обзора с помощью одной антенны. Практическое применение этого метода стало возможным, как было сказано, благодаря освоению диапазона сантиметровых волн<sup>1</sup>.

### Б. Автоматическое сопровождение по направлению

Рассмотрим в общих чертах принцип автоматического сопровождения объекта по направлению.

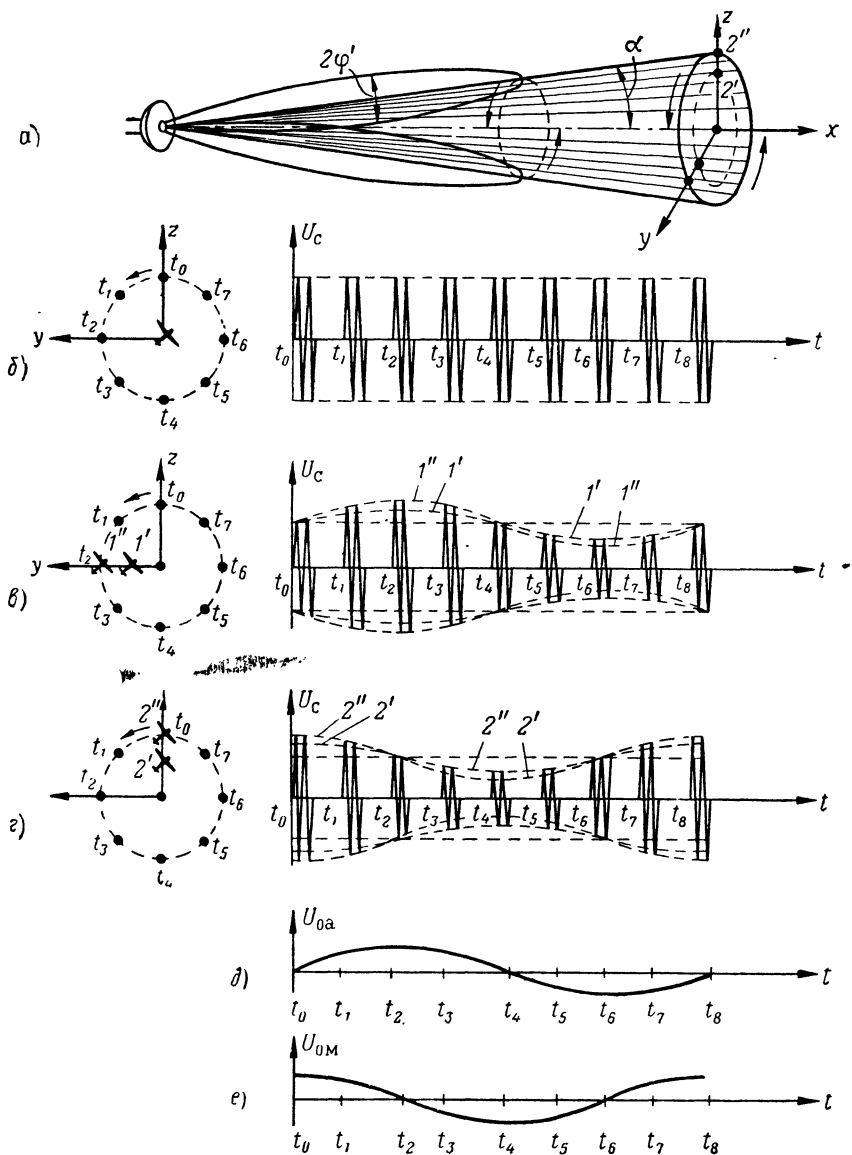
На фиг. 58, *а* показаны лучи антенны при коническом обзоре пространства. Диаграмма направленности антенны имеет иглообразную форму, причем максимум этой диаграммы направлен под углом  $\alpha$  к оси вращения луча  $x$ . Для того чтобы создать вращение луча, следует, например, облучатель, смещенный из фокуса рефлектора, привести во вращение вокруг оптической оси рефлектора. Тогда ось луча антенны опишет в пространстве конус, который в координатной плоскости  $zy$  даст сечение в виде окружности. Если ширина диаграммы направленности  $2\varphi'$  больше угла при вершине конуса  $2\alpha$ , то любой объект, находящийся в пределах этого конуса, в той или иной мере облучается антенной.

Допустим, что в начале каждого периода обзора ( $t_0, t_8...$ ) ось луча антенны пересекает координатную ось  $z$ , а в последующие моменты времени  $t_1, t_2, t_3, t_4...$  проекция оси луча на плоскость  $zy$  поворачивается относительно оси  $x$  соответственно на угол  $45^\circ, 90^\circ, 135^\circ...$ , как показано на фиг. 58, *б, в, г*. Тогда амплитуда эхо-импульсов изменяется следующим образом. Когда самолет находится на оси  $x$  (фиг. 58, *б*), то в любой момент времени самолет удален на одинаковое расстояние от направления максимального действия антенны и амплитуда отраженных радиопульсов в процессе развертывания не изменяется. Поэтому ось  $x$  называется равносигнальной осью.

Теперь допустим, что самолет сместился от равносигнальной оси по азимуту, заняв положение  $I'$  на оси  $y$  (фиг. 58, *в*). В таком случае самолет облучается в наибольшей мере в момент  $t_2$ , в наименьшей мере — в момент  $t_6$ , а в моменты  $t_0$  и  $t_4$  интенсивность облучения самолета имеет промежуточную величину. В результате эхо-импульсы оказываются промодулированными по амплитуде с частотой вращения луча. Если самолет дополнительно смещен по азимуту до точки  $I''$ , через которую проходит ось луча в момент  $t_2$ , то пределы изменения амплитуды эхо-импульсов, т. е. глубина модуляции, станут больше, но фаза огибающей радиопульсов не изменится.

Если же самолет отклонился от равносигнальной оси по углу места, т. е. по оси  $z$ , в точку  $2'$  (фиг. 58, *г*), то ось луча антенны

<sup>1</sup> Бувье. Радиолокационные станции с автоматическим сопровождением цели. Вопросы радиолокационной техники. ИЛ, 1957, № 5.



Фиг. 58. Изменения амплитуды радиоимпульсов, отраженных от объектов, занимающих различное положение относительно оси конического развертывания.



наиболее близка к самолету в момент  $t_0(t_8)$ , наиболее удалена от него в момент  $t_4$ , а в моменты времени  $t_2, t_6$  ось луча занимает промежуточное положение относительно самолета. Когда самолет еще более отклоняется по углу места до совпадения с направлением максимума диаграммы направленности в момент  $t_0, t_8$  (точка 2''), то глубина модуляции радиоимпульсов будет максимальной.

Обобщая сказанное, можно сказать, что при коническом методе обзора пространства отраженные от объекта радиоимпульсы оказываются промодулированными с частотой вращения луча антенны, причем глубина модуляции тем больше, чем больше угол отклонения объекта от равносигнальной оси, а фаза огибающей радиоимпульсов определяется направлением (по азимуту и углу места), в котором произошло это отклонение. Следовательно, огибающую радиоимпульсов  $U_{mc}$  можно представить в полярных координатах вектором  $U_m$ , который вращается с угловой скоростью конического обзора  $\Omega = 2\pi F$  и имеет начальную фазу  $\psi$ :

$$U_{mc} = U_m \cos(\Omega t - \psi).$$

Сравнивая фиг. 58, в и г, можно заметить, что в случае отклонения объекта от равносигнальной оси только по азимуту фаза огибающей сдвигается на  $90^\circ$  относительно фазы огибающей при отклонении объекта только по углу места.

Если же объект отклоняется и по азимуту и по углу места, то огибающую эхоимпульсов можно разложить на две составляющие, сдвинутые по фазе на  $90^\circ$ , из которых одна составляющая  $U_{mx}$  соответствует отклонению объекта по азимуту, а другая  $U_{my}$  — по углу места (фиг. 59):

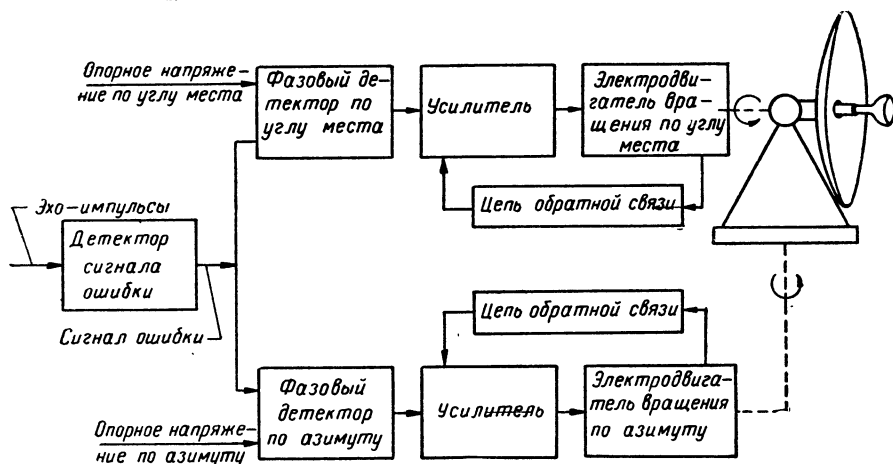
$$U_{mx} = U_m \cos \psi; \quad U_{my} = U_m \sin \psi.$$

Фиг. 59. Разложение вектора сигнала ошибки на составляющие.

Эхо-импульсы с выхода приемника подаются на детектор сигнала ошибки (фиг. 60). На выходе детектора получается так называемый сигнал ошибки, представляющий собой напряжение, совпадающее по форме с огибающей эхоимпульсов  $U_{mc}$ .

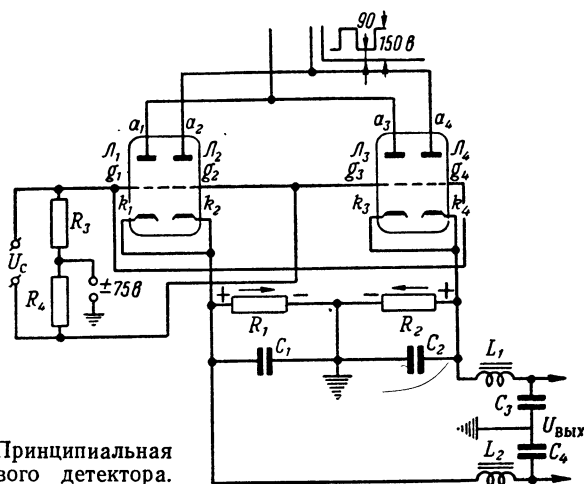
Дальнейшие преобразования происходят в двух аналогичных каналах. Один из них предназначен для сопровождения объекта по азимуту, а другой — по углу места, поскольку движение антенны в этих направлениях совершается от отдельных электродвигателей. Каналы начинаются с фазовых детекторов, назначение которых состоит в получении двух постоянных напряжений, из которых одно пропорционально отклонению объекта по азимуту, а другое — по углу места. На фазовый детектор, кроме сигнала ошибки, подается опорное напряжение (по азимуту  $U_{0c}$  или по углу места  $U_{0m}$ ), которое совпадает по фазе с соответствующей составляющей сигнала ошибки (см. фиг. 58, д, е).

Фазовый детектор может быть выполнен по одноконтурной или двухконтурной схеме. На фиг. 61 показана двухконтурная схема фазового детектора. В этой схеме сетки  $g_1$  и  $g_4$ , сетки  $g_2$  и  $g_3$ , катоды  $k_1$  и  $k_2$ , катоды  $k_3$  и  $k_4$ , аноды  $a_1$  и  $a_3$  и аноды  $a_2$  и  $a_4$  соединяются между со-



Фиг. 60. Упрощенная блок-схема системы автоматического сопровождения по направлению.

бой. На сетки ламп подается сигнал ошибки  $U_c$ , а на аноды — прямоугольные импульсы  $U_{оп}$ , полученные в результате ограничения



Фиг. 61. Принципиальная схема фазового детектора.

синусоидального опорного напряжения. Минимальное значение опорного напряжения  $+90$  в\*, а максимальное  $+150$  в. Продетектированное напряжение с катодных сопротивлений  $R_1$ ,  $R_2$ , блокированных

\* Все напряжения в схеме указаны относительно земли.

конденсаторами  $C_1$ ,  $C_2$ , поступает в фильтр  $L_1C_3$ ,  $L_2C_4$ , а затем на выход схемы для управления соответствующим электродвигателем вращения антенны.

Допустим, что сигнал ошибки отсутствует. Тогда на сетки всех ламп подается напряжение  $+75$  в от источника смещения, и в том триоде, к аноду которого в данный момент приложено  $+150$  в, возникает анодный ток, создающий на соответствующем катодном сопротивлении напряжение  $+76$  в. Значит, на сетках ламп относительно катода напряжение равно  $-1$  в, и согласно характеристикам ламп другой триод лампы, на анод которого в это время подано  $90$  в, оказывается запертым.

В следующий полупериод триоды в каждой лампе детектора меняются ролями, а напряжение на любом из катодных сопротивлений  $R_1$ ,  $R_2$  остается постоянным и равным  $76$  в. Полярность этих напряжений такова, что на выходе схемы они полностью компенсируют друг друга ( $U_{\text{вых}}=0$ ).

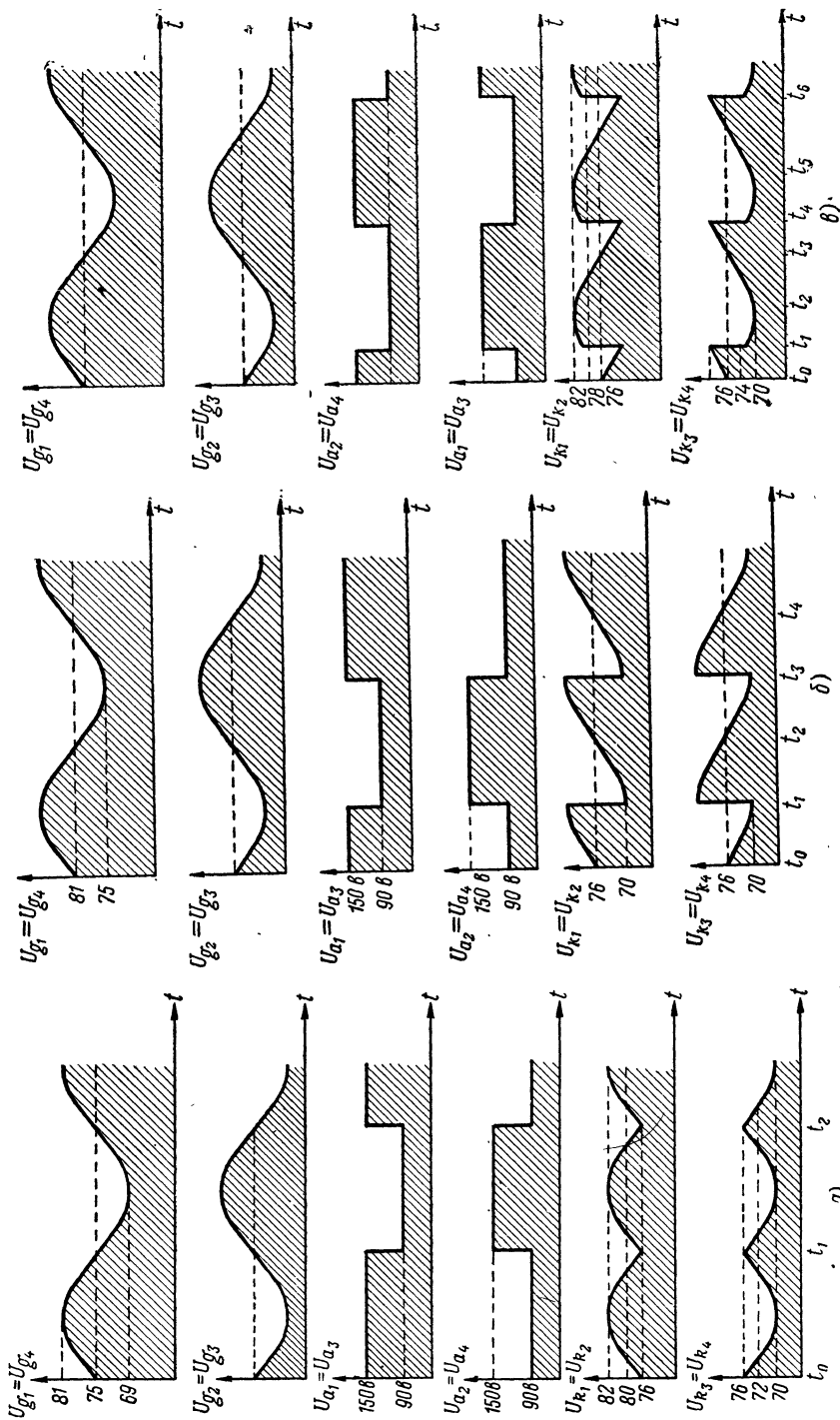
Рассмотрим случай, когда сигнал ошибки и опорное напряжение совпадают по фазе (фиг. 62, а). При этом следует иметь в виду, что: а) сигнал ошибки подается на сетки каждой лампы коммутатора в противофазе; б) в схеме открыты лишь те триоды, анод которых находится под напряжением  $150$  в, и в) поскольку напряжение на аноде открытого триода коммутатора постоянно, то форма анодного тока полностью определяется формой сеточного напряжения.

Следовательно, в первый полупериод  $t_0 \div t_1$  открыты триоды Л1 и Л3, а во второй полупериод  $t_1 \div t_2$  — триоды Л2 и Л4, и в соответствии с формой сигнала ошибки напряжение на катодах  $k_1$ ,  $k_2$  в каждый полупериод превышает исходное напряжение  $+76$  в, а на катодах  $k_3$ ,  $k_4$  — меньше  $76$  в.

Так как между коммутатором и усилителем постоянного тока включен фильтр, то входное напряжение усилителя определяется средним потенциалом на катодах коммутатора. В данном случае этот потенциал на катодах  $k_1$ ,  $k_2$  равен  $80$  в, а на катодах  $k_3$ ,  $k_4$  равен  $72$  в. Стало быть, выходное напряжение равно  $+8$  в.

Если между сигналом ошибки и опорным напряжением сдвиг по фазе равен  $90^\circ$  (фиг. 62, б), то в первую четверть периода  $t_0 \div t_1$  открыты триоды Л1, Л3, в следующий полупериод  $t_1 \div t_3$  — триоды Л2, Л4 и в четвертую четверть — вновь триоды Л1, Л3. При этом получается, что через каждую четверть периода знак приращения напряжений на катодах по сравнению с исходным  $+76$  в меняется на обратный, в силу чего их средний потенциал остается равным  $+76$  в, а выходное напряжение коммутатора, как и в отсутствии сигнала ошибки, равно нулю.

Статор генератора опорных напряжений можно смещать. Это используется для того, чтобы добиться совпадения по фазе между азимутальным опорным напряжением и сигналом ошибки при отклонении цели только по азимуту. Тогда согласно фиг. 62, а на выходе азимутального фазового детектора получается управляющее напряжение. Вместе с тем в это время фазовый детектор угла места не создает управляющего напряжения, ибо опорное напряжение угла



Фиг. 62. Эпюры напряжения в схеме азимутального коммутатора при сдвиге фазы между сигналом ошибки и опорным напряжением, равным: а— $0^\circ$ , б— $90^\circ$ , в— $30^\circ$ .

места всегда сдвинуто по фазе на  $90^\circ$  относительно азимутального опорного напряжения.

Обратимся к случаю, когда цель отклонилась по азимуту и углу места и сдвиг по фазе между сигналом ошибки и опорным напряжением равен, например,  $30^\circ$  (фиг. 62, в). В этом случае в отрезки времени  $t_0 \div t_1$ ,  $t_4 \div t_6$  открыты триоды Л2, Л4, причем напряжение на катоде лампы Л1, Л2 ( $U_{k_1} = U_{k_2}$ ) определяется сеточным напряжением  $U_{g_1}$ , а напряжение на катоде Л3, Л4 ( $U_{k_3} = U_{k_4}$ ) зависит от  $U_{g_4}$ ; в отрезок времени  $t_1 \div t_4$  открыты триоды Л1, Л3, и напряжение  $U_{k_1} = U_{k_2}$  определяется напряжением  $U_{g_1}$ , а  $U_{k_3} = U_{k_4}$  зависит от  $U_{g_3}$ . В результате, как показывают эпюры, на катодах триодов Л1, Л2 положительное приращение напряжения (относительно  $+76$  в) превышает отрицательное приращение напряжения и средний потенциал равен 78 в, а в триодах Л3, Л4 наблюдается обратное явление и средний потенциал катодов равен 74 в. В итоге на вход усилителя постоянного тока поступает 4 в.

Итак, по мере увеличения сдвига по фазе между сигналом ошибки и азимутальным опорным напряжением от 0 до  $90^\circ$  азимутальное управляющее напряжение уменьшается от максимума до нуля, а управляющее напряжение по углу места увеличивается от нуля до максимума. В дальнейшем управляющее напряжение при переходе через нулевое значение изменяет знак на обратный.

Постоянные напряжения, полученные в фазовых детекторах, усиливаются в такой мере, чтобы с помощью соответствующих двигателей вращения повернуть антенну в направлении равносигнальной оси и сделать сигнал ошибки равным нулю (см. фиг. 60). Если стволы зенитных орудий связать через ПУАЗО следящим приводом с антенной, то эти орудия, так же как и антенна, будут автоматически следовать за воздушной целью.

Для усиления сигналов в системе сопровождения могут быть использованы электронные, электромашинные, магнитные и полупроводниковые усилители. Обычно одновременно применяется более одного типа усилителей, например электронный и электромагнитный.

Электродвигатели и кинематическая часть антенны не могут обеспечить мгновенный захват объекта и безошибочно сопровождать его по направлению. В связи с этим в усилитель вводят корректирующие цепи, а двигатели вращения антенны и усилитель охватывают обратной связью.

Параметры диаграммы направленности антенны выбирают из следующих соображений<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> См. следующие работы:

1. Бу вье. Радиолокационные станции с автоматическим сопровождением цели. Вопросы радиолокационной техники. ИЛ, 1957, № 5.

2. Б. Ф. Высоцкий, А. Е. Харыбин. Радиолокационные устройства. Оборонгиз, 1960.

3. А. С. Локк. Управление снарядами. Гостехиздат, 1957.

4. Л. С. Гуткин. Принципы радиуправления беспилотными объектами. «Советское радио», 1959.

Для того чтобы повысить пеленгационную чувствительность системы, т. е. ее способность реагировать на отклонение объекта от равносигнальной оси, необходимо увеличить крутизну диаграммы направленности в равносигнальной зоне, а для этого приходится уменьшить ширину диаграммы направленности. Но здесь встречается противоречие, которое выражается в том, что при узкой диаграмме направленности затрудняются поиск и захват цели. Кроме того, на близких расстояниях от радиолокационной станции узкий луч антенны может не полностью охватывать объект, а это усложняет его сопровождение. Из этих соображений в СОН устанавливают ширину диаграммы направленности равной  $2\varphi' \approx 2\theta \approx (1 \div 5)^\circ$ .

Угол смещения максимума диаграммы направленности относительно равносигнальной оси также выбирают компромиссно: диаграмма должна пересекать равносигнальную ось примерно на уровне 0,7—0,8 от максимума диаграммы, снятой по напряженности поля. Если этот угол увеличить, то крутизна диаграммы направленности антенны в равносигнальной зоне увеличится, но сигнал ослабится и уменьшится дальность действия станции.

При выборе частоты вращения диаграммы направленности и параметров следящей системы руководствуются стремлением уменьшить ошибки углового сопровождения объектов. Эти ошибки в основном обусловлены четырьмя причинами: 1) амплитудными флуктуациями отраженных сигналов, 2) угловыми флуктуациями отраженных сигналов, 3) внутренними шумами приемника, 4) погрешностями, вносимыми механическими элементами следящей системы. Остановимся на первых двух источниках ошибок.

Самолеты и другие объекты, наблюдаемые радиолокационными станциями, не являются точечными. Они состоят из множества отражающих поверхностей, каждая из которых по-разному ориентирована в пространстве и имеет свой фазовый центр. Разность хода волн от этих отражающих поверхностей различна и соизмерима с длиной волны. Следовательно, отраженные от самолета волны интерферируют со сдвигом по фазе. В процессе поступательного движения самолета сдвиг по фазе между элементарными волнами непрерывно и беспорядочно изменяется, в связи с чем амплитуда отраженной волны флуктуирует (мерцает) относительно огибающей радиоимпульсов, которая соответствует сигналу ошибки. Самолет совершает не только поступательное движение, но и вращательное, а это еще более усложняет закон изменения огибающей радиоимпульсов. К тому же амплитудные флуктуации усиливаются тем, что наряду со сдвигом по фазе между элементарными волнами амплитуда их получается различной вследствие неодинаковых отражающих свойств элементов поверхности самолета.

Различное расположение фазовых центров элементарных отражающих поверхностей самолета искажает фронт результирующей отраженной волны, и так как направление на источник излучения определяется перпендикулярно к фронту волны, то кажущееся направление на самолет не совпадает с истинным. Такого рода угловые ошибки непостоянны: во время полета самолета фронт

отраженной волны беспорядочно колеблется и возникают «угловые» флуктуации сигнала.

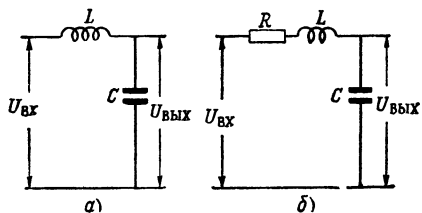
Влияние амплитудных флуктуаций на точность автоматического сопровождения в большой мере зависит от свойств следящей системы. Эта система замкнута: она образована приемным каналом автоматического сопровождения, фазовым детектором, усилителем, электродвигателем и механизмами вращения антенны (см. фиг. 60).

Пользуясь электромеханическими аналогиями, последние три элемента следящей системы можно представить в виде индуктивности  $L$ , емкости  $C$  и активного сопротивления  $R$ , которые образуют фильтр нижних частот (фиг. 63). На вход фильтра должно быть подано напряжение  $U_{вх}$ , пропорциональное угловому положению сопровождаемого объекта, а выходное напряжение фильтра  $U_{вых}$  пропорционально угловому положению антенны или вала двигателя. Масса, которая определяет момент инерции двигателя и механизмов вращения антенны, эквивалентна индуктивности  $L$ , а интегрирующие элементы следящей системы эквивалентны емкости  $C$ . Примером интегрирующего элемента является электродвигатель: угловая скорость его вала прямо пропорциональна напряжению, приложенному к двигателю, а угол поворота вала пропорционален интегралу от угловой скорости, а следовательно, и от напряжения на двигателе. Наконец, активное сопротивление  $R$  эквивалентно потерям на трение. Безынерционная следящая система может быть представлена фильтром  $L, C$  (фиг. 63, а), а реальная следящая система — фильтром  $L, C, R$  (фиг. 63, б).

Как известно, фильтр нижних частот без потерь пропускает колебания в диапазоне частот от  $f=0$  до частоты среза  $f_c$ , которая вычисляется по формуле

$$f_c = \frac{1}{\pi \sqrt{LC}}.$$

Если не будет помех, то идеальной будет абсолютно безынерционная следящая система ( $L=0, C=0$ ), в которой полоса пропускания (прозрачности) простирается от  $f=0$  до  $f_c=\infty$ . Так как



Фиг. 63. Эквивалентная схема следящей системы.

время установления режима следящей системы  $t_y$  обратно пропорционально полосе пропускания, то в данном случае  $t_y=0$ . Это значит, что выходное напряжение эквивалентного фильтра (положение антенны) всегда точно воспроизводит входное напряжение (положение сопровождаемого са-

молета). Например, переход от режима поиска к режиму сопровождения в идеальной следящей системе происходит мгновенно.

В действительности такой переход эквивалентен резкому скачку входного напряжения, и так как реальная следящая система эквивалентна фильтру  $L, C, R$  с ограниченной полосой пропускания, то

выходное напряжение (положение антенны) устанавливается плавно или совершает колебания.

Теперь допустим, что слежение происходит за объектом, движущимся с постоянной скоростью. Это равнозначно линейному увеличению напряжения на входе фильтра. Так как цепь имеет какую-то постоянную времени, то даже в установившемся режиме возможно отставание во времени выходного напряжения относительно входного. Возникает так называемая скоростная ошибка, пропорциональная скорости движения сопровождаемого объекта. Для того чтобы ослабить колебания антенны относительно положения равновесия и уменьшить скоростную ошибку, в следящую систему вводят обратную связь и в усилителе предусматривают включение корректирующих фильтров.

Флуктуации отраженных сигналов и другие помехи вынуждают крайне ограничивать полосу пропускания следящей системы. Смысл этого заключается в том, что флуктуации отраженных сигналов, как всякие беспорядочные пульсации напряжения, имеют очень широкий спектр частот, а потому частично проникают в следящую систему. Наибольшей интенсивностью отличаются те составляющие спектра, частоты которых исчисляются несколькими герцами, а по мере увеличения частоты свыше 3—6 гц амплитуды спектра непрерывно уменьшаются.

В процессе прохождения сигнала через нелинейные элементы радиолокационной станции появляются новые комбинационные составляющие. Из них наиболее опасны те, которые после детектирования имеют достаточно малую частоту, чтобы войти в полосу пропускания следящей системы. Эти составляющие спектра близки по частоте к сигналу ошибки.

Отсюда следуют выводы<sup>1</sup>.

а) Следящая система реагирует на флуктуационные и другие помехи тем меньше, чем уже ее полоса пропускания. Наиболее полно этим требованиям удовлетворяла бы система с  $f_c \leq 0,5$  гц. С другой стороны, в целях уменьшения ошибки сопровождения, обусловленной инерционностью следящей системы, полоса пропускания системы должна достигать 2,5 гц. Из этих соображений устанавливают  $0,1 \text{ гц} \leq f_c \leq 3 \text{ гц}$ .

б) Чем больше частота вращения диаграммы направленности, тем меньше сказываются флуктуационные помехи, так как по мере повышения частоты амплитуды спектры этих помех уменьшаются. Кроме того, с увеличением скорости вращения диаграммы направленности уменьшается отклонение подвижного объекта за один цикл обзора и тем самым увеличивается точность сопровождения объектов по направлению. Верхний предел скорости конического обзора ограничивается механической нагрузкой на антенну и опасностью

<sup>1</sup> 1. См. работу Бувье (сноска на стр. 122).

2. Э. И. Гитис. Электрорадиоавтоматика. Госэнергоиздат, 1959.

3. Л. С. Гуткин. Принципы радиуправления беспилотными объектами. «Советское радио», 1959.



значительных пульсаций сигнала ошибки вследствие того, что объект облучается малым числом импульсов за один период вращения луча. Если движение диаграммы направленности антенны осуществляется механическим вращением облучателя, то частота конической развертки не превышает 30—100 *гц* (1800—6000 об/мин).

## В. Основные блоки станций орудийной наводки

**Антенно-фидерное устройство.** Так как диаграмма направленности антенны станции орудийной наводки должна быть иглообразной и иметь малую ширину, то в данном случае наиболее подходящей антенной является параболоид вращения с облучателем в виде полуволнового вибратора или щели.

Коническое развертывание луча принципиально может быть получено вращением облучателя относительно неподвижного отражателя или вращением облучателя при неподвижном отражателе; в любом варианте облучатель должен быть вынесен из фокуса отражателя. В СОН отражатель имеет большие размеры, а поэтому из конструктивных соображений используют вращение облучателя при неподвижном отражателе.

Если станция работает на волне  $\lambda \geq 10$  см, то фидером может служить волновод или коаксиальная линия, а на волнах меньше 10 см для этой цели используются исключительно волноводы.

В некоторых иностранных станциях орудийной наводки антенну защищают от атмосферных осадков полусферическими колпаками<sup>1</sup>, изготовленными из тонкой прорезиненной ткани. Колпак наполняется воздухом под небольшим избыточным давлением.

**Передачики станций орудийной наводки** рассчитаны на импульсную мощность, достигающую нескольких сотен киловатт<sup>2</sup>.

Генератор СВЧ — магнетронный (СОН работают на сантиметровых волнах<sup>2</sup>). Модулирующее устройство передатчика содержит модулятор и подмодулятор.

В станции обнаружения, описанной в гл. II, отсутствовал подмодулятор и формирование модулирующего импульса происходило непосредственно в модуляторе. Такая схема проще, имеет меньшие габариты и более высокий к. п. д., но в передатчиках станций орудийной наводки, где в целях повышения точности измерения координат предъявляются повышенные требования к форме импульса, необходим подмодулятор. Мощность подмодулятора невелика, и в нем легче, чем в модуляторе, создать импульс заданной длительности и формы.

Коммутирующим прибором модулятора может служить ионный прибор при накопителе в виде искусственной линии, но чаще используются электронные коммутаторы при емкостном накопителе, так как

<sup>1</sup> Вопросы радиолокационной техники. ИЛ, 1957, № 1, 2, 6.

<sup>2</sup> Техника радиолокации, ч. I, II. Перев. с англ. под редакцией В. И. Шамшура. Воениздат, 1949.

электронные лампы менее инерционны и обеспечивают лучшую форму радиопульсов.

Приемники СОН имеют схему и качественные показатели, характерные для станций сантиметрового диапазона. Кроме того, отличительной особенностью этих приемников является наличие двух каналов: одного для получения видеоимпульсов, создающих отметку на экранах индикаторов, а другого — для управления антенной при автоматическом сопровождении цели. Разделение каналов вызвано тем, что на индикаторах наблюдаются импульсы, отраженные от всех целей, находящихся в пределах данного диапазона дальности, а система автоматического сопровождения должна управляться только импульсами, отраженными от сопровождаемой цели. Это достигается тем, что канал управления антенной открывается селекторными (строб) импульсами, задержанными на время, соответствующее дальности цели. В результате уровень помех в канале автоматического сопровождения значительно понижается, так как прием по этому каналу происходит в течение весьма незначительной части периода следования импульсов.

В современных зарубежных станциях, где предусмотрено автоматическое сопровождение по дальности, задержка селекторных импульсов регулируется автоматически, вслед за изменением дальности цели. Если же схема автоматического сопровождения отсутствует, то задержка регулируется посредством штурвала дальности, который оператор вращает до совмещения селекторного импульса с отметкой сопровождаемой цели на экране индикатора дальности.

Внутренние шумы приемников вызывают амплитудные флуктуации, а это, как показано выше, приводит к ошибкам системы автоматического сопровождения объектов. Особенно велико влияние внутренних шумов приемника при малой амплитуде сигнала ошибки.

Обязательным элементом приемников станций орудийной наводки является схема АРУ. Назначение этой схемы заключается в том, чтобы автоматически поддерживать постоянной среднюю величину выходного напряжения. Если АРУ работает плохо или вовсе не работает, то приемник при сильных сигналах насыщается, вследствие чего изменения амплитуды входного напряжения не вызывают изменений амплитуды напряжения на выходе приемника. В таких условиях сигнал ошибки не может быть выделен и автоматическое сопровождение объекта становится невозможным.

Роль АРУ в ослаблении влияния флуктуационных помех довольно значительна. Здесь оказывается весьма полезной быстродействующая АРУ (с малой постоянной времени), которая быстрой регулировкой усиления подавляет амплитудные флуктуации и тем самым снижает ошибки сопровождения объектов. Если же АРУ имеет большую постоянную времени, то избежать модуляции сигнала амплитудными флуктуациями не удастся. Вместе с тем если постоянная времени схемы АРУ слишком мала, то схема АРУ может реагировать на колебания амплитуды, происходящие с частотой сигнала ошибки, и тогда произойдет демодуляция этого сигнала. Элементы

фильтра АРУ должны быть подобраны так, чтобы исключить такое явление.

В связанных приемниках широко применяется инерционная схема АРУ. При автоматическом сопровождении объектов эта схема мало эффективна, поскольку АРУ, как было сказано, должна быть быстродействующей.

В станциях с автоматическим сопровождением объектов находит применение быстродействующая автоматическая регулировка усиления (БАРУ). Назначение ее заключается в том, чтобы при наличии сильной помехи создать дополнительное сеточное смещение, пропорциональное амплитуде помехи. Благодаря этому полезный сигнал усиливается на прямолинейных участках характеристик ламп УПЧ независимо от уровня помех. Если же это не предусмотреть, то происходит перегрузка усилителя за счет больших сеточных токов, и напряжение сигнала практически не вызывает изменения анодного тока ламп усилителя.

Эффективным средством подавления флуктуационных помех является применение УПЧ с логарифмической характеристикой.

Положим, что отраженный сигнал вследствие движения объекта изменился по амплитуде от  $U_{m\text{ вх}}$  до  $U_{m\text{ вх}} + dU_{m\text{ вх}}$ . Тогда быстрые флуктуации сигнала не изменят отношения  $\frac{dU_{m\text{ вх}}}{U_{m\text{ вх}}}$ , так как они вызывают пропорциональные изменения  $U_{m\text{ вх}}$  и  $dU_{m\text{ вх}}$ , и, для того чтобы приемник не реагировал на такие флуктуации, достаточно, чтобы при постоянстве отношения  $\frac{dU_{m\text{ вх}}}{U_{m\text{ вх}}}$  выходное напряжение  $U_{m\text{ вых}}$  также оставалось постоянным. Это записывается так:  $dU_{m\text{ вых}} = A \frac{dU_{m\text{ вх}}}{U_{m\text{ вх}}}$ , где  $A$  — постоянный коэффициент.

Интегрируя полученное выражение, находим

$$U_{m\text{ вых}} = A \ln U_{m\text{ вх}} + C. \quad (22)$$

Постоянная интегрирования  $C$  определяется величиной амплитуды входного  $U_{m\text{ вх}} = U'_{m\text{ вх}}$  и выходного  $U_{m\text{ вых}} = U'_{m\text{ вых}}$  напряжений, при которых начинает срабатывать АРУ (фиг. 64). Следовательно,

$$U'_{m\text{ вых}} = A \ln U'_{m\text{ вх}} + C,$$

откуда

$$C = U'_{m\text{ вых}} - A \ln U'_{m\text{ вх}}.$$

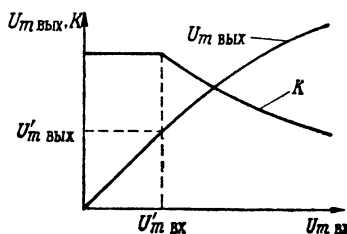
Подставив это выражение в формулу (22), исключаем постоянную интегрирования:

$$U_{m\text{ вых}} = A (\ln U_{m\text{ вх}} - \ln U'_{m\text{ вх}}) + U'_{m\text{ вых}} = U'_{m\text{ вых}} + A \ln \frac{U_{m\text{ вх}}}{U'_{m\text{ вх}}}.$$

Согласно полученному выражению выходное напряжение приемника, начиная с  $U_{m \text{ вх}} = U_{m \text{ вх}}$ , должно изменяться пропорционально логарифму входного напряжения и коэффициент усиления каскада должен соответствующим образом уменьшаться.

**Индикаторы.** В СОН используются индикатор кругового обзора и индикаторы дальности. Индикатор кругового обзора применяется для наблюдения за воздушной обстановкой и определения в режиме поиска азимута и дальности интересующей цели. Угол места в этом случае измеряется по стрелочному индикатору наклона антенны. Все эти данные требуются для выбора цели и последующего сопровождения ее.

В режиме ручного сопровождения по дальности и автоматического—по направлению оператор пользуется индикатором дальности. Этот индикатор должен отличаться весьма высокой точностью, в противном случае непрерывное сопровождение цели будет крайне затруднено, а подчас и невозможно. Обычный индикатор типа А с непосредственным отсчетом дальности не обеспечивает требуемой точности. В целях увеличения точности отсчета индикатор типа А, например, дополняют электронной лупой на участке измеряемой



Фиг. 64. Логарифмическая амплитудная характеристика усилителя промежуточной частоты.



Фиг. 65. Станция орудийной наводки в рабочем положении.

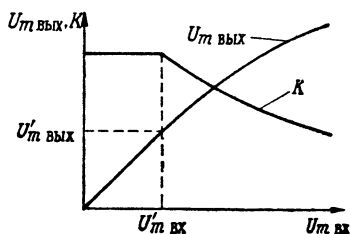
дальности либо используют трубки с кольцевой разверткой и последовательно измеряют дальность по трубкам грубого и точного отсчета.

В заключение приведем некоторые данные двух станций орудийной наводки.

Согласно полученному выражению выходное напряжение приемника, начиная с  $U_{т\text{ вых}} = U_{т\text{ вх}}$ , должно изменяться пропорционально логарифму входного напряжения и коэффициент усиления каскада должен соответствующим образом уменьшаться.

**Индикаторы.** В СОН используются индикатор кругового обзора и индикаторы дальности. Индикатор кругового обзора применяется для наблюдения за воздушной обстановкой и определения в режиме поиска азимута и дальности интересующей цели. Угол места в этом случае измеряется по стрелочному индикатору наклона антенны. Все эти данные требуются для выбора цели и последующего сопровождения ее.

В режиме ручного сопровождения по дальности и автоматического—по направлению оператор пользуется индикатором дальности. Этот индикатор должен отличаться весьма высокой точностью, в противном случае непрерывное сопровождение цели будет крайне затруднено, а подчас и невозможно. Обычный индикатор типа А с непосредственным отсчетом дальности не обеспечивает требуемой точности. В целях увеличения точности отсчета индикатор типа А, например, дополняют электронной лупой на участке измеряемой



Фиг. 64. Логарифмическая амплитудная характеристика усилителя промежуточной частоты.

Фиг. 65. Станция орудийной наводки в рабочем положении.

дальности либо используют трубки с кольцевой разверткой и последовательно измеряют дальность по трубкам грубого и точного отсчета.

В заключение приведем некоторые данные двух станций орудийной наводки.

Одна из них, изготавливаемая фирмой Томсон-Хустон, обслуживает тяжелую зенитную артиллерию. Она рассчитана на четыре вида работы: поиск, производимый независимо от станций обнаружения или целеуказания, выделение объекта по указаниям станций наведения, ручное сопровождение по трем координатам и автоматическое сопровождение по направлению и дальности. Длина волны  $\lambda = 10$  см.

Облучатель параболического рефлектора антенны вращается со скоростью 1800 об/мин (30 об/сек). Обзор пространства в режиме поиска — спиральный. Антенна в этом режиме вращается со скоростью 20 об/мин. Одновременно она медленно наклоняется в вертикальной плоскости. В зависимости от условий поиска скорость вращения антенны можно регулировать от очень малой до 30 об/мин.

В станции используются два индикатора: кругового обзора и дальности типа А с электронной лупой. Станция смонтирована на тягаче с полуприцепом (фиг. 65).

Вторая радиолокационная станция системы Т38 придается к 75-мм автоматической зенитной пушке «Скайсвипер» и для большей оперативности монтируется на ее лафете. В систему входят также ПУАЗО и оптическая колонка для визуального наблюдения. Общий вес установки 10 т. Вся система транспортируется тягачом или самолетом.

Радиолокационная станция позволяет обнаруживать воздушные цели на дальности до 25 км, автоматически сопровождает их, обеспечивая поражение снарядами на дальности до 7,5 км, высоте до 7,5 км и при скорости цели 1000 км/час.

Последовательность работы системы такая. Со станции обнаружения поступают сведения о дальности и азимуте цели, подлежащей обстрелу. Пользуясь этими данными, оператор на ИКО находит цель и переключает станцию на автоматическое сопровождение. Полученные при этом текущие координаты передаются на ПУАЗО, который преобразует их в упрежденные координаты. Привод пушки наводит ее на цель.

В настоящее время за рубежом имеется тенденция к использованию в станциях орудийной наводки целого комплекса аппаратуры<sup>1</sup>. В комплекс входят радиолокационная станция поиска и автоматического сопровождения по всем координатам, оптическое визирующее устройство, счетно-решающий прибор и синхронно-следающие приборы. Радиолокационная станция ведет поиск и автоматическое сопровождение цели; счетно-решающий прибор производит расчет упрежденных координат по известным текущим координатам цели, по данным об атмосферном давлении, ветре, вносимой поправке на взаимное расположение станции и орудия и т. д. Упрежденные координаты автоматически передаются на орудия с помощью аппаратуры синхронно-следающей системы. Кроме того, оптический прицел механически связывается с антенной, благодаря чему оптиче-

<sup>1</sup> Примером такого комплекса может служить швейцарская радиолокационная станция орудийной наводки «Летучая мышь».

ское устройство облегчает радиолокационное обнаружение цели, и вместе с тем наводчик оптического прицела может определить, за какой целью ведется радиолокационное наблюдение.

Такой комплекс приборов позволяет одновременно и независимо вести радиолокационное и оптическое наблюдение. По данным счетно-решающего прибора можно также производить инерционное сопровождение, т. е. счетно-решающий прибор приводит в движение антенну согласно ранее вычисленной траектории цели, и при этом в работе комплекса не принимают участия радиолокационная станция и оптический прицел. В результате комплексного использования приборов значительно увеличиваются быстрота обнаружения цели и скорость сопровождения ее и достигается высокая точность определения всех трех координат объекта.

## § 2. ТАКТИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ СТАНЦИИ И ИХ ОБОСНОВАНИЕ

Радиолокационная станция SCR-584 предназначена для обслуживания зенитной артиллерии среднего и крупного калибра. Все последующие параграфы данной главы посвящены изучению этой станции.

**Тактические данные.** Станция рассчитана на три поисковых вида работы и на автоматическое сопровождение цели по направлению. Поиск может производиться вручную по предварительным данным станций целеуказания или обнаружения (ручное управление), при помощи поисковых электродвигателей («автопоиск») и дистанционно («Управление с ПУАЗО»).

Зона обзора по азимуту  $360^\circ$ , по углу места от  $-10$  до  $+89^\circ$  (отрицательный угол означает наклон антенны вниз — антенна устанавливается на высоте более 3 м).

Максимальная дальность станции в режиме поиска 63 км, в режиме сопровождения — 29 км. Минимальная дальность 250—900 м. Точность определения координат по дальности 22,5 м, по азимуту и углу места  $\pm 0,056^\circ$ . Станция смонтирована на автоприцепе. Вес станции 10 т. Время развертывания 30 мин.

**Технические параметры.** Длина волны  $\lambda = 10$  см. Мощность в импульсе  $P_n = 250$  квт. Длительность импульса  $\tau = 0,8$  мксек. Частота следования импульсов  $F_0 = 1707$  имп/сек.

Метод обзора пространства в режиме поиска спиральный, в режиме сопровождения — конический.

Скорость обзора в режиме поиска 6 об/мин с одновременным наклоном антенны на  $20^\circ$  за 5,5 оборота в одном направлении и за 0,5 оборота — в другом.

Скорость конического развертывания 1800 об/мин.

Антенная система состоит из параболического отражателя диаметром 1,8 м, облучателя в виде вращающегося (при коническом развертывании) полуволнового вибратора и жесткой коаксиальной линии передачи.

Диаграмма направленности — игольчатая с шириной  $2\varphi = 2\theta = 4^\circ$  (при коническом развертывании —  $7^\circ$ ).

Типы индикаторов: кругового обзора — для наблюдения за воздушными целями и типа J — для точного измерения дальности.

Коэффициент шума приемника  $N_{\text{ш}} = 15 \text{ дб}$ .

Полоса пропускания приемника  $\Delta f = 1,7 \text{ кгц}$ .

Затухание импульса передатчика в разряднике приемника — 70 дб.

Краткое обоснование тактических и технических данных станции. В сантиметровом диапазоне волн, в котором работают иностранные станции орудийной наводки, наиболее широко применяются волны от 3 до 10 см. Длина волны  $\lambda = 10 \text{ см}$  является верхней границей сантиметрового диапазона, а на волнах, меньших 3 см, наблюдается большое затухание и рассеяние электромагнитной энергии в атмосфере.

Судя по тактико-техническим данным станций орудийной наводки зарубежных армий, можно сказать, что СОН, обслуживающие среднюю и тяжелую зенитную артиллерию, работают на волнах порядка 10 см, а СОН для легкой зенитной артиллерии, где требуется повышенная мобильность, работают на волнах, близких к 3 см. Примером 3-см системы может служить голландская станция типа L4/3, обслуживающая легкую зенитную артиллерию. Станция же SCR-584 относится ко второй группе. Ее рабочая волна  $\lambda = 10 \text{ см}$ .

Точность определения угловых координат при коническом обзоре — порядка 0,1 ширины диаграммы направленности луча. Следовательно, в данном случае может быть получена требуемая точность измерения азимута и угла места  $\pm 0,056^\circ$ .

При выбранной длине волны рефлектор, имеющий диаметр  $d = 1,8 \text{ м}$ , обеспечивает требуемую ширину диаграммы направленности:

$$2\varphi' \approx 70 \frac{\lambda}{d} = 70 \frac{10}{180} = 4^\circ.$$

Коническое развертывание получается благодаря тому, что вибратор облучателя несколько несимметричен относительно оси вращения, вследствие чего ось луча антенны отклонена от оси вращения примерно на  $1,25^\circ$ . При этом условии конус, описываемый осью луча, имеет у вершины угол  $2,5^\circ$ , и если учесть ширину диаграммы направленности антенны при неподвижном облучателе  $2\varphi' = 4^\circ$ , то получается, что при коническом развертывании ширина луча достигает  $6,5-7^\circ$ .

Перейдем к характеристикам импульса. Длительность импульса  $\tau = 0,8 \text{ мксек}$  удовлетворяет требуемой минимальной дальности  $D_{\text{min}} = 250 \div 900 \text{ м}$ , поскольку пространственная длительность импульса

$$\frac{c\tau}{2} = 150 \cdot 0,8 = 120 \text{ м},$$

а дальность, соответствующая времени восстановления приемника и антенного переключателя  $t_{\text{в}} \leq 1 \text{ мксек}$ , не превышает 150 м.



Частота следования импульсов  $F_0 = 1707$  имп/сек ограничивает определяемую дальность величиной

$$D_{\max} = \frac{c}{2,4F_0} = \frac{3 \cdot 10^8}{2,4 \cdot 1707} = 73,3 \text{ км.}$$

Это согласуется с возможностью определения максимальной дальности  $D_{\max} = 63 \text{ км.}$

Проверим максимально возможную дальность обнаружения, исходя из импульсной мощности передатчика  $P_{\text{и}} = 250 \text{ кВт}$ , чувствительности приемника  $P_{\text{с min}} = 4 \cdot 10^{-21} \cdot N_{\text{ш}} \Delta f = 4 \cdot 10^{-21} \cdot 32 \cdot 1,7 \cdot 10^6 = 2,2 \times 10^{-13} \text{ вт}$ , рассеивающей поверхности объекта  $\sigma_{\text{ц}} = 25 \text{ м}^2$ , ширины диаграммы направленности  $2\varphi' = 2\theta' = 4^\circ = 0,07 \text{ рад}$  и соответственно эффективной поверхности антенны, вычисленной по формулам (9'), (10):

$$S_{\text{эф}} = \frac{\lambda^2}{4\pi} G = \frac{\lambda^2}{4\pi} \frac{4\pi}{(2\varphi')(2\theta')} a = \frac{\lambda^2}{(2\varphi')(2\theta')} = \frac{0,1^2}{0,07^2} 0,3 = 0,6 \text{ м}^2$$

( $a = 0,3$  — поправочный коэффициент для узкого луча).

Подставив все эти величины в уравнение (11'), найдем

$$D_{\max} = \sqrt[4]{\frac{P_{\text{и}} S_{\text{эф}} \sigma_{\text{ц}}}{4\pi P_{\text{с min}} \lambda^2}} = \sqrt[4]{\frac{250 \cdot 10^3 \cdot 0,6 \cdot 25}{2,2 \cdot 10^{-13} \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 0,1^2}} = 94 \text{ км,}$$

что превышает величину, указанную в паспорте станции. Это различие в основном объясняется некоторым запасом мощности на помехозащищенность станции и завышенным значением чувствительности приемника, вычисленным для коэффициента различимости  $D_p = 1$ ; тогда как на практике для уверенной индикации требуется более высокий коэффициент  $D_p$ , которому соответствует более низкая чувствительность ( $P_{\text{с min}}$  выше). Кроме того, формула (11') не учитывает затухание электромагнитных волн в атмосфере.

Проверка эффективности антенного переключателя показывает, что так как на пути к приемнику импульс передатчика мощностью  $P_{\text{и}} = 250 \cdot 10^3 \text{ вт}$  получает затухание  $70 \text{ дБ}$  ( $10^7$ ), то мощность в переключателе уменьшается до  $\frac{250 \cdot 10^3}{10^7} = 0,025 \text{ вт}$ . Это вполне приемлемо, поскольку кристаллический смеситель, включенный на входе приемника, сохраняет работоспособность при мощности сигнала, не превышающей десятых долей ватта.

Остановимся на выборе типа индикатора. Целесообразность применения индикатора кругового обзора в режиме поиска неоднократно обосновывалась. Дальность, указываемая наряду с азимутом индикатором кругового обзора, измеряется с точностью, недостаточной для сопровождения цели. Поэтому для точного определения дальности необходим другой, дополнительный индикатор.

В станции используются два отметчика дальности типа J. Один из них, называемый грубым, измеряет дальность от 0 до 30 км, а другой, называемый точным отметчиком, определяет дальность на одном из 16 участков (1,8 км) диапазона грубого отметчика. Дальность измеряется по принципу нониусных шкал, т. е. сначала ориентировочно определяется по грубому отметчику, а затем уточняется по



второму отметчику. Увеличение точности отсчета, получаемое в результате применения этого метода, можно проиллюстрировать таким примером. Пусть каждый отметчик вносит погрешность в измерения, равную 1%. Тогда на дальности 30 км грубый отметчик дает погрешность, равную  $0,01 \cdot 30 \cdot 10^3 = 300$  м, а при уточнении дальности на втором отметчике погрешность снижается до  $0,01 \cdot 1800 = 18$  м, что составляет  $\frac{18}{30 \cdot 10^3} = 6 \cdot 10^{-4} = 0,06\%$ .

Применение индикатора типа J характерно для многих зарубежных станций орудийной наводки. Благодаря кольцевой развертке, используемой в этом типе индикатора, длина линии развертки и соответственно масштаб развертки увеличиваются в  $\pi$  раз. Напряжение круговой развертки имеет синусоидальную форму, а поэтому оно может быть получено в кварцевом генераторе, чем достигается высокая стабильность развертки. Синусоидальное напряжение к тому же позволяет получить высокую линейность (равномерность) развертки. Наконец, отсчет с помощью механического визира, применяемый в станции, дает большую точность при кольцевой развертке, чем в случае прямолинейной развертки.

### § 3. БЛОК-СХЕМА СТАНЦИИ SCR-584

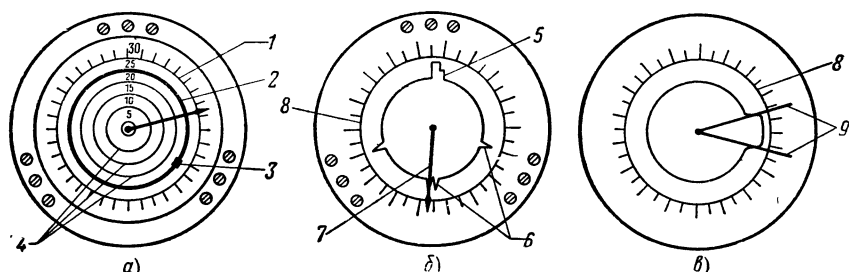
Синхронизация работы всей станции осуществляется отдельным блоком, называемым блоком дальности (фиг. 66). В станции обнаружения (гл. I) такой блок отсутствовал; в этой станции запуск генератора СВЧ и развертки координировался модулятором, импульсы которого одновременно подавались на генератор и отметчик.

Задающим каскадом в блоке дальности является кварцевый генератор, вырабатывающий высокостабильные синусоидальные колебания с частотой  $f = 81,95$  кГц. Колебания кварцевого генератора подвергаются различным преобразованиям в каналах формирования пусковых импульсов, развертки дальности и формирования селекторных импульсов. Рассмотрим каждый из этих каналов.

Пусковые импульсы имеют частоту 1707 имп/сек и используются для запуска передатчика и генератора развертки индикаторов кругового обзора (ИКО). Развертка дальности в ИКО (фиг. 67, а) происходит по радиусу от центра экрана к его краю, и так как начало развертки синхронизировано с запуском передатчика, то о дальности цели можно судить по расстоянию от центра экрана до отметки цели. В ИКО калибрационные (масштабные) метки имеют форму колец, каждое из которых соответствует тем большей дальности, чем больше радиус кольца. Масштабные кольца создаются генератором масштабных меток (см. фиг. 66).

Радиальная линия развертки дальности в ИКО не остается неподвижной, она вращается вокруг центра экрана синхронно с антенной. Для этой цели между антенной и генератором развертки ИКО установлена связь через сельсин-трансформатор развертки. Отсчет азимута производится по шкале, окружающей экран трубки (фиг. 67, а).

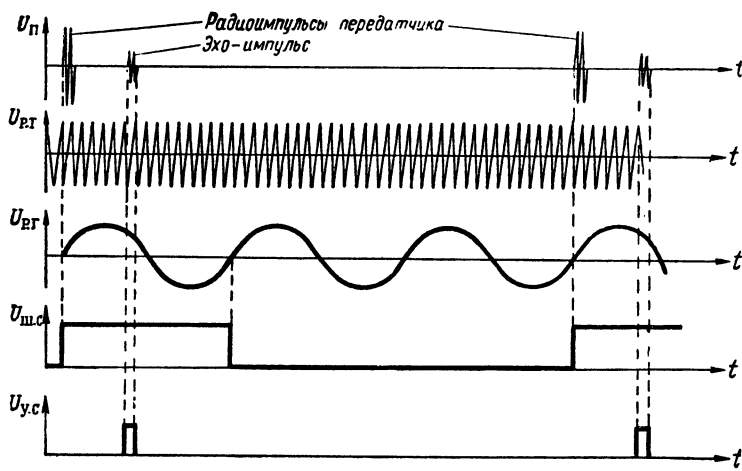
Каскады формирования развертки дальности создают в индикаторах дальности кольцевую развертку посредством преобразования колебаний кварцевого генератора в два синусоидальных напряжения, приложенных к горизонтально и вертикально отклоняющим пластинам трубки со сдвигом по фазе на  $90^\circ$ . На



Фиг. 67. Индикаторы станции SCR-584.

1—азимутальная шкала, 2—измерительное кольцо, 3—отметка цели, 4—масштабные кольца, 5—импульс передатчика, 6—эхо-сигналы, 7—визир, 8—шкала дальности, 9—визир.

фиг. 68 показано только одно из каждой пары напряжений:  $U_{p.t}$  — для развертки в точном отметчике и  $U_{p.g}$  — для развертки в грубом отметчике. Линия развертки в грубом (фиг. 67, б) и точном отметчиках (фиг. 67, в) начинается с верхней точки окружности и замыкается вдоль нее по часовой стрелке за время, равное соответствующему периоду напряжения развертки. Это напряжение в точном отметчике дальности имеет частоту кварцевого генератора  $f = 81,95 \text{ кгц}$ , которой соответствует период  $12,2 \text{ мксек}$  или измеряемая дальность



Фиг. 68. Временные диаграммы процесса измерения дальности.

$12,2 \times 150 = 1800 \text{ м}$ . На такую дальность и градуирована шкала точного отметчика. Напряжение развертки грубого отметчика по частоте в 16 раз меньше ( $5 \text{ кгц}$ ), чем точного отметчика. Соответственно шкала грубого отметчика градуирована на дальность порядка  $30 \text{ км}$ .

Таким образом, блок дальности синхронизирует запуск передатчика с запуском развертки во всех индикаторах.

Передатчик (см. фиг. 66) генерирует радиоимпульсы, имеющие длину волны  $\lambda = 10$  см, длительность  $\tau = 0,8$  мксек и частоту следования, равную частоте пусковых импульсов  $F_0 = 1707$  имп/сек. Эти импульсы по жесткому коаксиальному фидеру поступают в полуволновый вибратор, который облучает параболический рефлектор, а последний излучает импульсы электромагнитных волн с требуемой диаграммой направленности. После отражения от цели эти импульсы улавливаются той же антенной, проходят по фидеру и через антенный переключатель поступают в приемник. Здесь отраженные радиоимпульсы усиливаются и преобразуются в видеоимпульсы, после чего следуют в отметчик.

В ИКО появление видеоимпульсов сопровождается увеличением яркости свечения экрана (яркостная отметка), а в индикаторах дальности при этом возникает выброс от линии развертки к наружной поверхности экрана (амплитудная отметка). Отсчет дальности в ИКО, как было сказано, производится приближенно по расположению отметки относительно масштабных колец, а в индикаторах дальности — по положению механического визира на шкале в момент совмещения визира с передним фронтом отметки.

Измерение дальности по индикатору дальности связано с некоторыми трудностями. Дело в том, что частота развертки грубого отметчика в 3 раза больше, а в точном отметчике в 48 раз больше частоты следования импульсов передатчика. Поэтому одному положению отметки цели и визира на точном отметчике соответствуют 16 различных положений на грубом отметчике. Для устранения этой неопределенности вращение визирных дисков грубого и точного отметчиков производят от общего механизма, имеющего такое передаточное число, что всякое перемещение визира точного отметчика сопровождается замедленным в 16 раз перемещением визира грубого отметчика, и тогда оба визира фиксируют одну и ту же цель.

Впрочем, этого еще недостаточно. Необходимо иметь в виду, что в интервале между импульсами передатчика электронный луч описывает три круга развертки в грубом отметчике и 48 кругов — в точном, из которых лишь один в каждом отметчике является полезным. Поэтому если остальные круги не погасить, то экраны трубок будут засвечиваться многочисленными отметками целей, расположенных на дальностях, выходящих за пределы диапазонов измерения каждого отметчика.

Все эти трудности разрешаются при помощи широких ( $U_{ш.с.}$ ) и узких ( $U_{у.с.}$ ) селекторных импульсов, формируемых в блоке дальности. Временное положение селекторных импульсов относительно радиоимпульса передатчика и эхо-импульса, улавливаемого приемником, а также относительно напряжений развертки показано на фиг. 68.

Широкие селекторные импульсы подаются на грубый отметчик для создания в нем подсвета экрана в течение одного лишь круга

развертки после каждого пускового импульса. Узкие селекторные импульсы формируются с задержкой относительно пускового импульса на величину, пропорциональную измеряемой дальности, и подаются на подсвет точного отметчика и ИКО. Задержка этих импульсов регулируется штурвалом, от которого через систему полуавтоматического сопровождения приводятся во вращение визиры отметчиков. Длительность узких селекторных импульсов подбирается с таким расчетом, чтобы на точном отметчике освещался только тот участок развертки, на котором находятся визир и отметка наблюдаемой цели, а на ИКО дополнительно подсвечивалась отметка от той же цели.

Измерения по индикаторам производятся в такой последовательности. Все цели в радиусе от нуля примерно до 70 км сначала наблюдаются на ИКО. По этому индикатору определяются азимут и дальность. Для того чтобы уточнить дальность целей, удаленных до 30 км, штурвал дальности вращают до совмещения визира на грубом отметчике с интересующей оператора целью, затем положение штурвала корректируют до совмещения визира точного отметчика с передним фронтом отметки этой цели и в заключение отсчет дальности производят сложением показаний грубого и точного отметчиков (по двухшкальной системе).

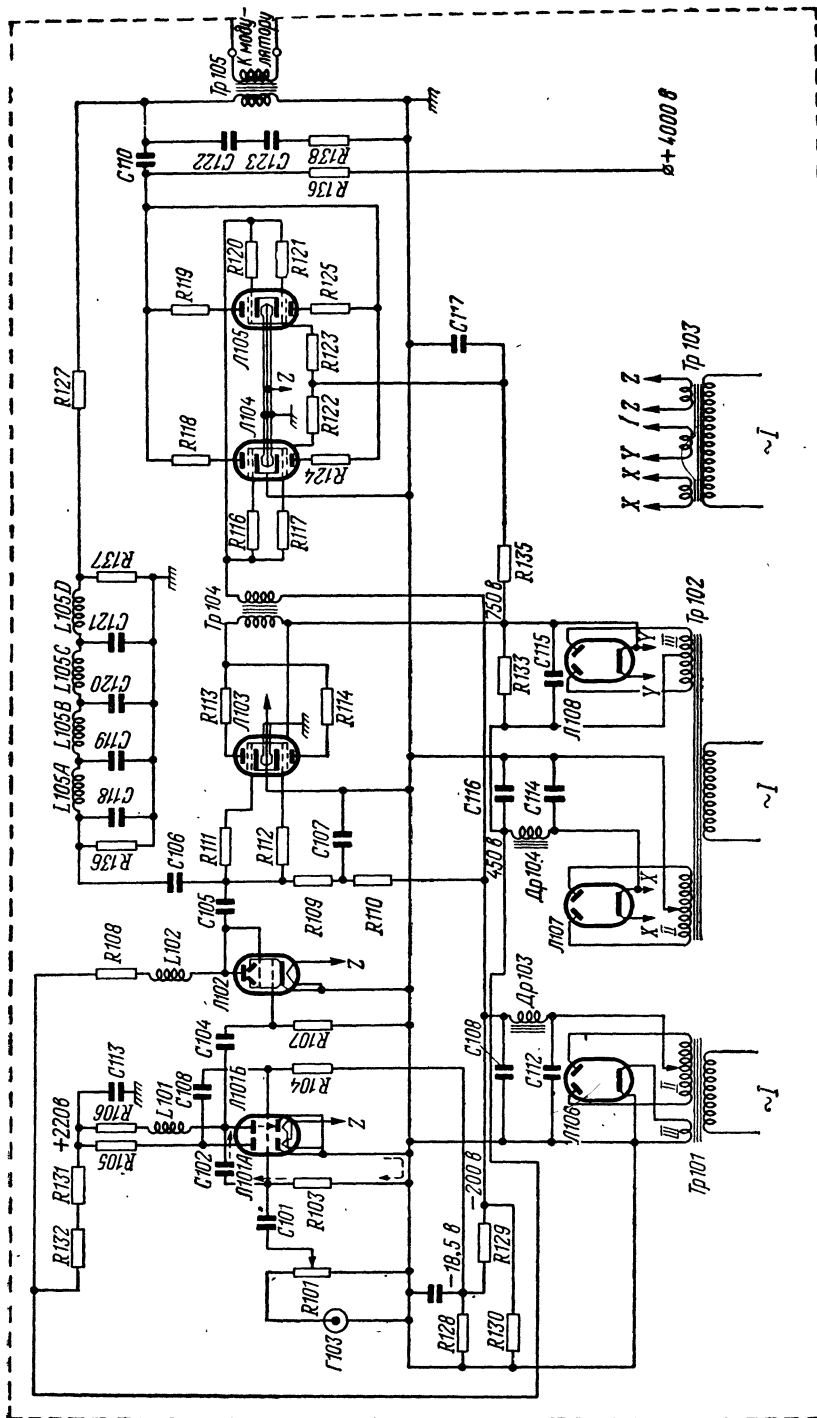
В блоке отметчика кругового обзора имеется смеситель, посредством которого видеосигналы целей, узкие селекторные импульсы и импульсы генератора масштабных меток смешиваются на катоде ИКО.

В режиме автоматического сопровождения сигналы от сопровождаемой цели с выхода приемника поступают на вход системы управления антенной. Сюда же подаются опорные напряжения азимута и угла места, снимаемые с соответствующего генератора, работающего от электродвигателя вращения головки антенны. В результате на выходе системы получаются постоянные напряжения, управляющие электродвигателями вращения антенны по азимуту и углу места таким образом, что антенна направляется на цель, а сигнал ошибки становится равным нулю.

Ручное управление и управление от ПУАЗО отличаются от автоматического способом получения опорного напряжения и сигнала ошибки. Первичным источником всех этих напряжений является сеть питания. Сигнал ошибки вырабатывается отдельно для каналов азимута и угла места посредством сельсинов-датчиков, находящихся в блоке управления антенной, и сельсинов-трансформаторов, расположенных в основании антенны, а опорное напряжение является общим для обоих каналов. Величина сигнала ошибки регулируется поворотом статора сельсина-датчика от соответствующего штурвала управления антенной (по азимуту или углу места). Снимаются сигналы ошибки с роторов сельсинов-трансформаторов.

Координаты цели, полученные в станции, передаются через систему передачи данных к ПУАЗО.

Теперь перейдем к изучению отдельных блоков станции.



Фиг. 69. Принципиальная схема блока подмодулятора.

#### § 4. ПЕРЕДАТЧИК

Передачник станции состоит из трех блоков: блока подмодулятора, высоковольтного выпрямителя и блока модулятора с магнетронным генератором. В блоке подмодулятора под воздействием пускового импульса формируются прямоугольные импульсы постоянного тока длительностью 0,8 мксек и амплитудой 3,5 кв, которые усиливаются в модуляторе за счет энергии высоковольтного выпрямителя. Импульс модулятора возбуждает в магнетронном генераторе колебания СВЧ длиной волны  $\lambda = 10$  см и длительностью 0,8 мксек. Частота следования всех этих импульсов задается блоком дальности и равна 1707 имп/сек.

**Блок подмодулятора.** В состав блока подмодулятора (фиг. 69) входят: ждущий мультивибратор Л101, инвертор Л102, собственно подмодулятор Л103, Л104, Л105, выпрямитель смещения Л106 и два последовательно включенных выпрямителя Л107, Л108 с общим выпрямленным напряжением 750 в. Выпрямители обеспечивают питание цепей анодов и экранных сеток ламп Л101, Л102, Л103 и экранных сеток ламп Л104, Л105.

Для запуска подмодулятора на управляющую сетку Л103 должны быть поданы прямоугольные положительные импульсы амплитудой 350 в, а на вход блока поступают отрицательные пусковые импульсы амплитудой 15 в. Поэтому подмодулятору предшествуют два каскада: мультивибратор и усилитель-инвертор.

Ждущий мультивибратор Л101 представляет собой двухкаскадный реостатный усилитель с анодной нагрузкой, состоящей из сопротивлений R105, R106 и корректирующей индуктивности L101, причем выход первой лампы Л101А имеет анодно-сеточную связь через C108, R104 со входом второй лампы Л101Б, а выход второй лампы имеет обратную связь через C102, R103 со входом первой лампы. В левом триоде Л101А сетка соединяется с катодом через сопротивление R103, благодаря чему в исходном состоянии мультивибратора напряжение на этой сетке равно нулю. На сетку правого триода Л101Б через сопротивление R104 подается смещение —18,5 в, которым обеспечивается запирающее триода Л101Б при открытом триоде Л101А. В таком состоянии ждущий мультивибратор находится до прихода пускового импульса. В это время конденсатор C102, поскольку он подключен к аноду запертой лампы, заряжается до напряжения порядка 220 в по цепи катод Л107, Др104, R132, R131, R106, L101, C102, участок сетка—катод Л101А, земля, половина обмотки II трансформатора Тр102, анод—катод Л107.

Отрицательный пусковой импульс, снятый с коаксиального гнезда Г103, приложен к потенциометру R101 и дальше через переходную цепь C101, R103 подается на участок сетка—катод Л101А. Это вызывает лавинообразное запирающее Л101А и отпирание Л101Б. Через открытую лампу начинается разряд конденсатора C102. Цепь разряда — анод—катод Л101Б, R103, C102. Разрядный ток, показанный пунктирной стрелкой, создает на R103, а следовательно, и на сетке Л101А отрицательное напряжение, которое поддерживает



Л101А в запертом состоянии. Постоянная времени цепи разряда конденсатора С102 подобрана так, что через 1,6 мксек после появления пускового импульса за счет уменьшения разрядного тока напряжение на сетке Л101А достигает напряжения отпирания, и тогда лавинообразно восстанавливается исходное устойчивое состояние мультивибратора (когда Л101А открыта, а Л101Б заперта). Так как во время формирования импульса лампа Л101Б была открытой, то снятый с ее анода посредством цепи С104, R107 импульс имеет отрицательную полярность.

Следующий каскад Л102, работающий на лучевом тетроде 6L6G, включенном триодом, выполняет две функции: усиливает импульс ждущего мультивибратора до 350 в и изменяет его полярность с отрицательной на положительную. Нагрузкой инвертора служат последовательно включенные активное сопротивление R108 и индуктивность L102. Последняя на высших частотах увеличивает сопротивление нагрузки и этим компенсирует уменьшение этого сопротивления за счет шунтирования ее входной емкостью лампы следующего каскада и выходной емкостью лампы данного каскада. Шунтирование сказывается тем больше, чем выше частота усиливаемых колебаний. Улучшение частотной характеристики усилителя-инвертора на высших частотах способствует увеличению крутизны фронта и среза усиливаемых импульсов.

Подмодулятор представляет собой двухкаскадный усилитель с отрицательной обратной связью, осуществляемой через линию задержки L105А, L105Б, L105С, L105D, С118—С121. Первый каскад работает на двойном триоде типа 3Е29, а второй каскад — на двух лампах того же типа. Одноименные электроды этих ламп соединяются между собой через небольшие антипаразитные сопротивления R111—R125, т. е. лампы включены параллельно. Нагрузкой первого каскада служит импульсный трансформатор Tr104, а основной нагрузкой второго каскада — импульсный трансформатор Tr105.

В исходном состоянии оба каскада подмодулятора заперты напряжением —200 в, которое на сетку Л103 подается через развязывающий фильтр R110, С107 и сопротивление утечки R109, а на сетки Л104 — через вторичную обмотку Tr104. Положительный импульс амплитудой 350 в, поданный на вход лампы Л103, открывает ее, усиливается лампой и изменяет свою полярность на обратную. В результате на вторичной обмотке трансформатора Tr104 восстанавливается положительная полярность импульса, которым открываются лампы Л104, Л105. Здесь происходят аналогичные явления: амплитуда импульса увеличивается до 3500 в, полярность его на первичной обмотке Tr105 становится отрицательной, а на вторичной обмотке того же трансформатора — положительной.

Импульс подмодулятора должен иметь заданную длительность  $\tau = 0,8$  мксек, большую крутизну фронта и среза и плоскую вершину. Для этого в схему включается корректирующая цепь С122, С123, R138 и, что особенно важно, оба каскада подмодулятора охватываются отрицательной обратной связью.

Действие корректирующей цепи заключается в следующем. За

счет индуктивности рассеяния и емкости обмоток трансформатора Тр105 на высших гармониках импульса возникает резонанс, который необходимо устранить или притупить. С увеличением частоты емкостное сопротивление конденсаторов С122, С123 уменьшается и обмотка трансформатора все больше шунтируется сопротивлением корректирующей цепи. Это и требуется для сглаживания частотной характеристики подмодулятора.

Если бы не было обратной связи в подмодуляторе, то на управляющей сетке Л103 пусковой импульс длительностью 1,6 мксек и амплитудой 350 в, приходящий от инвертора, изменил бы напряжение от  $E_g = -200$  в до  $U'_g = -200 + 350 = 150$  в (фиг. 70, а).

Цепь обратной связи (см. фиг. 69) начинается с делителя R127 = 4 ком, R137 = 2,2 ком, включенного параллельно выходу подмодулятора. С сопротивления R137 на вход линии задержки подается отрицательный импульс. Линия задержки содержит четыре звена, каждое из которых состоит из индуктивности  $L = 1,8$  мГн и емкости  $C = 100$  пФ. Такая линия имеет волновое сопротивление

$$\rho = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{1,8 \cdot 10^{-3}}{100 \cdot 10^{-12}}} = 4000 \text{ ом}$$

и создает суммарную задержку 0,8 мксек. Так как в конце линии включено сопротивление R136 = 3900 ом =  $\rho$ , то в линии отсутствуют отражения и входное сопротивление линии равно волновому. Следовательно, параллельно R137 включено сопротивление  $\rho$ , и их общее сопротивление равно

$$R' = \frac{R137 \cdot \rho}{R137 + \rho} = \frac{2200 \cdot 4000}{2200 + 4000} = 1420 \text{ ом} = 1,42 \text{ ком},$$

а амплитуда импульса, поступающего на линию задержки, равна

$$3500 \frac{R'}{R' + R127} = 3500 \frac{1,42}{1,42 + 4,0} = 920 \text{ в}.$$

Задержанный импульс переходит на дифференцирующую цепь С106 = 40 пФ, R109 = 47 ком, а с нее — на управляющую сетку Л103.

Так как постоянная времени цепи R109 · С106 =  $47 \cdot 10^3 \cdot 40 \cdot 10^{-12} = 1,8 \cdot 10^{-6}$  сек. = 1,8 мксек превышает длительность импульса, то напряжение  $U_R$  на R109, обусловленное задержанным импульсом, во время действия импульса незначительно изменяется от величины —900 в, а по окончании импульса резко увеличивается на 900 в (фиг. 70, б).

Если теперь учесть обратную связь (фиг. 70, в), то получается, что напряжение  $U_g$  на сетке Л103 остается равным 150 в в течение 0,8 мксек, пока задержанный импульс, пришедший с выхода подмодулятора, не понизит  $U_g$  до —750 в. Благодаря этому, несмотря на положительный перепад напряжения на  $900 - 350 = 550$  в в момент окончания импульса инвертора, подмодулятор оказывается закрытым вплоть до конца периода следования.

Таким образом, на выходе подмодулятора удалось получить положительный импульс амплитудой 3500 в, длительностью 0,8 мксек, причем форма импульса весьма близка к прямоугольной.

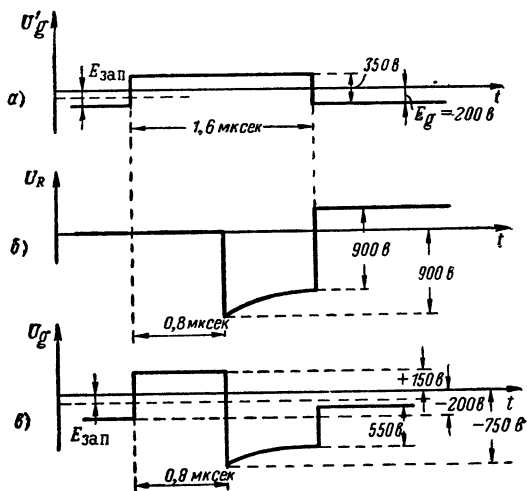
Во всех трех выпрямителях блока подмодулятора вентилями служат кенотроны Л106, Л107, Л108 типа 5U4G (см. фиг. 69). Выпрямители включены по двухполупериодной схеме. Первичные обмотки силовых трансформаторов Тр101, Тр102 и накального трансформатора Тр103 включаются в сеть питания. Выпрямитель смещения создает на выходе фильтра Др103, С112, С108 напряжение —200 в. Выпрямленный ток замыкается по цепи катод Л106, земля R130 (R128, R129), Др103, вторичная обмотка II трансформатора Тр101, анод—катод Л106. Следовательно, выпрямленное напряжение имеет заземленный минус. Оно приложено к делителю, с которого снимается—18,5 в для запирания мультивибратора.

В выпрямителе, работающем на лампе Л107, фильтром служат дроссель Др104 и конденсаторы С114, С116, а в выпрямителе на кенотроне Л108 в качестве фильтра используется конденсатор С115. Первый выпрямитель вырабатывает 450 в, а второй—350 в, и так как «плюс» первого соединяется с «минусом» второго, то на выходе второго выпрямителя получается 750 в относительно земли.

Анодное напряжение на оконечный каскад подмодулятора снимается с выпрямителя, расположенного в блоке модулятора.

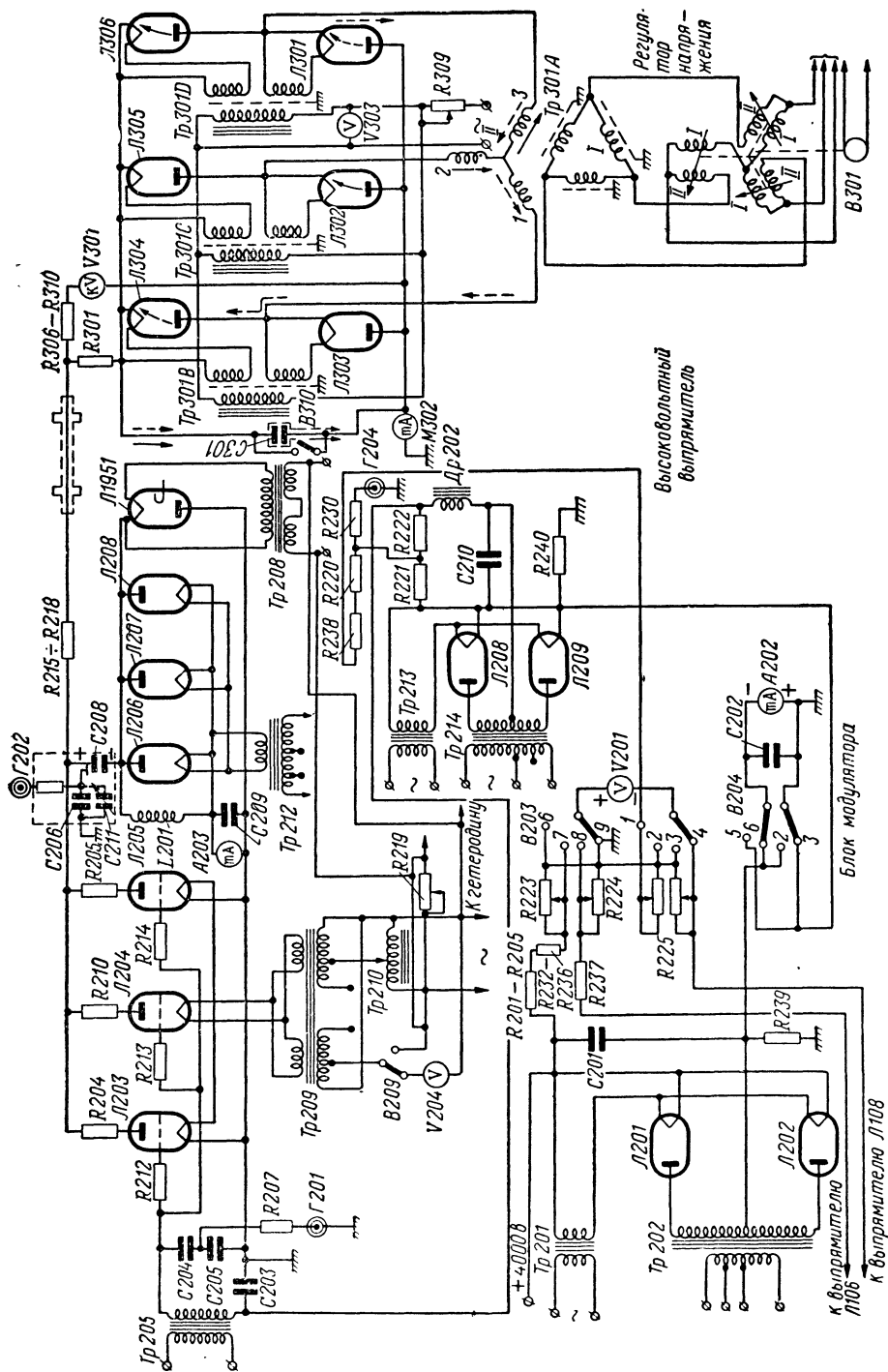
Блок высоковольтного выпрямителя. Модулятор станции состоит из источника постоянного тока, накопителя энергии и коммутирующего прибора (фиг. 71). В данном случае источником постоянного тока служит шестифазный выпрямитель, собранный по схеме Ларионова на кенотронах Л301—Л306 типа 8020; накопителем энергии является конденсатор С208 и коммутирующим прибором — три параллельно включенных триода Л203—Л205 типа 6С21.

Первичные обмотки I высоковольтного трансформатора Тр301А соединяются между собой по схеме треугольника и через регулятор напряжения VR-301 индукционного типа включаются в трехфазную сеть переменного тока. Регулятор напряжения содержит статор, на котором размещаются три первичных обмотки I, и ротор, на кото-



Фиг. 70. Временные диаграммы напряжений в подмодуляторе.

а—на управляющей сетке Л103 без учета обратной связи, б—на сопротивлении R109 за счет обратной связи, в—результатирующее напряжение на управляющей сетке лампы Л103.

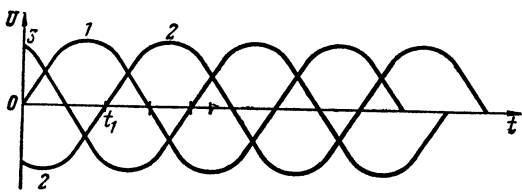


Фиг. 71. Принципиальная схема блоков модулятора и высоковольтного выпрямителя.

ром расположены три вторичных обмотки II. Вторичные обмотки регулятора соединяются звездой по отношению к сети питания. Вместе с тем каждая роторная обмотка имеет общую точку с соответствующей статорной обмоткой, и так как первичные обмотки высоковольтного трансформатора Тр301А включены треугольником, то напряжение на каждой из этих обмоток трансформатора равно сумме напряжений на роторных и статорных обмотках двух фаз регулятора напряжения.

Движением ротора регулятора изменяется сдвиг по фазе между напряжениями на его роторных и статорных обмотках, а это позволяет в больших пределах изменять линейное напряжение, поступающее с регулятора на трансформатор.

Вторичные обмотки трансформатора Тр301А включены звездой. Шесть кенотронов выпрямителя делятся на три пары, причем в каждой паре анод одного кенотрона соединяется с катодом другого кенотрона и с одним из свободных концов 1, 2, 3 высоковольтного трансформатора, а другие аноды и катоды соответственно соединяются между собой и подключаются к конденсатору фильтра С301.



Фиг. 72. Эпюры напряжений на вторичных обмотках высоковольтного трансформатора.

Допустим, что в момент времени  $t=0$

(фиг. 71, 72) напряжение в точке 1 равно нулю, напряжение в точке 2 отрицательное, а в точке 3 — положительное относительно нулевой точки трансформатора. Тогда выпрямленный ток идет в направлении, указанном сплошными стрелками: анод—катод Л306, С301, анод—катод Л302, фазы 2, 3, анод Л306. Если же, как в момент  $t_1$ , напряжение на фазе 2 равно нулю, на фазе 1 — положительное, а на фазе 3 — отрицательное, то ток замыкается по цепи, указанной пунктирными стрелками: анод—катод Л304, С301, анод—катод Л301, фазы 3, 1.

Таким же способом можно убедиться в том, что в любой момент времени напряжение на конденсаторе С301 имеет одинаковую полярность. Номинальная величина выпрямленного напряжения равна 27 кВ при среднем токе в нагрузке 100 мА.

Так как это напряжение очень высокое, то приняты меры по технике безопасности. Одной из таких мер является автоматическое закорачивание конденсатора С301 через блокировочные контакты В310 при открывании дверцы блока выпрямителя.

Как видно из схемы, не все нити накала кенотронов можно включить параллельно друг другу. Поэтому в схему введены три накальных трансформатора Тр301В, Тр301С, Тр301Д. На каждом из них имеется первичная обмотка, включенная через реостат R309 в одну фазу сети питания, и две вторичных обмотки, с которых производится питание нитей накала двух ламп. Напряжение накала контролируется вольтметром V303.

Приведенная схема высоковольтного выпрямителя отличается тем, что она позволяет получить большое выпрямленное напряжение при весьма незначительных пульсациях на нагрузке.

**Блок модулятора.** Модулятор работает в режиме частичного разряда накопительной емкости. В интервале между импульсами коммутирующие лампы Л203, Л204, Л205 заперты отрицательным смещением, которое снимается с выпрямителя, работающего по двухполупериодной схеме на кенотронах Л208, Л209 типа 1616 (VT206). Фильтром выпрямителя служат элементы С210, Др202, С203. Заземление положительного полюса выпрямителя производится через небольшое сопротивление  $R240 = 2,2 \text{ ком}$ .

Так как лампы модулятора заперты, то накопительный конденсатор заряжается по цепи плюсовая обкладка С301, R301, R215—R218, С208, Л201, миллиамперметр А203, земля, миллиамперметр М302, минусовая обкладка С301. Положительный импульс подмодулятора открывает коммутирующие лампы, и тогда на время импульса  $0,8 \text{ мксек}$  напряжение накопительного конденсатора оказывается почти полностью приложенным к магнетрону: минусовая обкладка С208 всегда соединяется с катодом магнетрона, а его заземленный анод подключается к плюсовой обкладке конденсатора через антипаразитные сопротивления R204, R210, R205 и участки анод—катод Л203, Л204, Л205. В результате магнетрон генерирует радиоимпульсы.

Емкость накопительного конденсатора выбрана большой ( $C208 = 0,125 \text{ мкф}$ ) с таким расчетом, чтобы за время генерирования импульса конденсатор не успел сколько-нибудь значительно разрядиться.

В модуляторе, так же как в подмодуляторе, широко используется параллельное включение ламп с целью увеличения анодного тока и соответствующего уменьшения внутреннего сопротивления ламп. В лампах модулятора теряется напряжение около  $1 \text{ кВ}$  при токе  $I_m = 16 \text{ а}$ . Средний ток модулятора или магнетрона равен

$$I_{cp} = \frac{I_m \tau}{T_0} = I_m F_0 \tau = 16 \cdot 1707 \cdot 0,8 \cdot 10^{-6} = 22 \cdot 10^{-3} \text{ а} = 22 \text{ ма}.$$

Индуктивность дросселя Л201 в совокупности с паразитными емкостями схемы (магнетрона, коммутирующих ламп, дросселя и монтажа) образует контур, в котором за счет энергии, накопленной за время действия модулирующего импульса, по окончании его возникают собственные колебания. Если бы не было диодов Л206, Л207, Л208, то в отрицательные полупериоды этих колебаний магнетрон мог бы повторно возбудиться. Диоды в первый же положительный полупериод паразитных колебаний своим малым внутренним сопротивлением в такой мере шунтируют паразитный контур, что колебания в нем резко затухают и этим исключается возможность повторного возбуждения магнетронного генератора.

Наличие дросселя Л201 в схеме модулятора дает и положительный эффект: возникающие колебания благодаря своей высокой частоте способствуют увеличению крутизны линии среза импульса.

Кроме описанных каскадов, в блоке модулятора имеется двух-

полупериодный выпрямитель на кенотронах Л201, Л202, который питает аноды ламп выходного каскада подмодулятора. Фильтром выпрямителя служит конденсатор С201.

Как известно из курса «Радиопередающие устройства», схема модуляции, примененная в данной станции, имеет ряд достоинств:

а) благодаря использованию частичного разряда накопительной емкости модулятор работает с высоким к. п. д., несмотря на применение в схеме электронных ламп в качестве коммутирующего прибора;

б) режим частичного разряда накопительной емкости обеспечивает достаточное постоянство амплитуды модулирующего импульса, что в данном случае очень важно, поскольку генератором СВЧ является магнетрон;

в) несмотря на большую частоту следования и малую длительность импульсов, коммутация в модуляторе благодаря применению электронных ламп для этой цели происходит безынерционно.

В данной схеме модулятор по существу работает как усилитель импульсов, а поэтому весьма важным является качество импульсов подмодулятора, т. е. обеспечение требуемых длительности, величины амплитуды и формы импульсов.

Контроль работы передатчика. Контроль работы передатчика осуществляется рядом измерительных приборов.

Вольтметр В201 производит следующие измерения: а) когда переключатель В203 находится на контактах 6—1, вольтметр измеряет отрицательное смещение, снимаемое с выпрямителя Л208, Л209 на сетки модуляторных ламп; б) в положении переключателя 2—7 вольтметр измеряет напряжение, подаваемое с выпрямителя Л201, Л202 на аноды ламп выходного каскада подмодулятора; в) когда переключатель находится в положении 3—8, вольтметр измеряет анодное напряжение первого каскада подмодулятора; г) в положении переключателя 9—4 вольтметр определяет напряжение смещения на сетках подмодулятора.

При этих измерениях сопротивления R201—R205, R232—R236, R237 выполняют функции добавочных к вольтметру.

Когда переключатель В204 находится на контактах 5—2, то сопротивление R239 закорачивается, заземляя этим минус выпрямителя Л201, Л202, а миллиамперметр А202 включается параллельно шунту R240 и таким образом измеряет постоянную составляющую сеточного тока модулятора. В положении переключателя 3—6 закорачивается R240 и миллиамперметр подключается параллельно R239 для определения постоянной составляющей анодного тока подмодулятора. Переменные составляющие измеряемых токов замыкаются через конденсатор С202, минуя прибор.

Миллиамперметр А203 включен последовательно в цепь заряда накопительного конденсатора и шунтирован конденсатором С209, следовательно, прибор показывает среднее значение зарядного тока. Это позволяет сказать, что данный миллиамперметр измеряет средний ток магнетрона, так как средние значения зарядного и разрядного токов конденсатора равны между собой.

Вольтметр V204 в зависимости от положения переключателя В209 измеряет либо переменное напряжение на первичной обмотке трансформатора накала модулятора Тр209 (напряжение регулируется автотрансформатором Тр210), либо переменное напряжение на первичной обмотке трансформатора накала магнетрона Тр208.

Киловольтметр V301 при помощи добавочных сопротивлений R306—R310 измеряет выходное напряжение высоковольтного выпрямителя.

Миллиамперметр M302, включенный в минусовую цепь этого выпрямителя, измеряет его средний ток. Вольтметр V303 контролирует переменное напряжение на первичных обмотках трансформаторов накала Тр301В, Тр301С, Тр301D. Это напряжение регулируется реостатом R309.

Для исследования на осциллографе формы импульсов подмодулятора и модулятора предусмотрен выход через гнезда Г201, Г202. Амплитуда исследуемых импульсов уменьшается на гнездах при помощи емкостных делителей С204, С205, С208, С206, С211. Коаксиальный выход Г204 используется для подачи отрицательного смещения с делителя R221, R222 выпрямителя смещения модулятора на поджигающий электрод разрядника.

Первичные обмотки силовых и накальных трансформаторов включаются в одну или во все три фазы сети питания при помощи ряда реле и контакторов. Кроме того, имеются максимальные реле и блокировочные контакты, обеспечивающие работу передатчика в нормальном электрическом и температурном режиме, а также соблюдение правил техники безопасности. Все эти дополнительные элементы не показаны на принципиальных схемах блоков (см. фиг. 69, 71).

## § 5. АНТЕННО-ФИДЕРНАЯ СИСТЕМА

**Общие сведения.** Антенно-фидерная система станции (фиг. 73) состоит из параболического рефлектора 1, облучателя 2, отрезков 3, 4, 5, 6 коаксиального фидера, Т-образного разветвления 7, и камеры разрядника антенного переключателя 8.

При коническом обзоре пространства полуволновый вибратор облучателя вращается со скоростью 1800 об/мин. Для того чтобы при этом высокочастотная энергия без потерь передавалась из передатчика к облучателю и от облучателя к приемнику, в антенно-фидерную систему введены сочленения, вращающиеся по азимуту 10 и углу места 11. При изменении азимутального положения антенны вращаются элементы 4, 3, 9, 2, 1, при наклоне антенны в движении находятся элементы 3, 9, 2, 1 и, наконец, для конического обзора требуется вращение только облучателя 2.

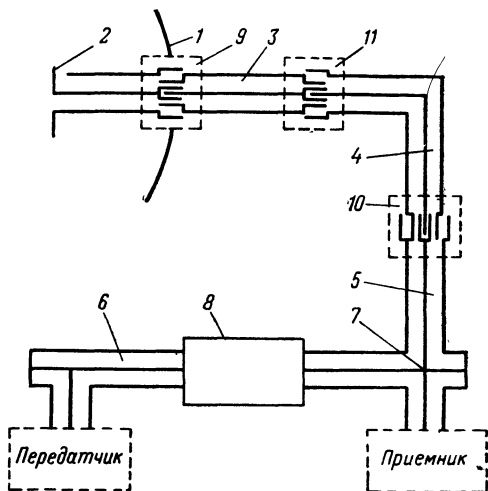
Все перечисленные элементы конструктивно объединены в одну систему, смонтированную на основании антенны. При транспортировке станции эта система находится на уровне пола кузова автоприцепа, а в рабочем состоянии станции основание антенны поднято на крышу кузова. Поэтому отрезок 5 фидера сделан съемным и состоит из двух секций.



Кроме указанных элементов, в системе имеются электродвигатели вращения, сельсины, ряд переходных устройств, разъемных соединений секций фидера, деталей крепления фидера и др. Рассмотрим основные и дополнительные элементы антенно-фидерной системы станций.

**Рефлектор и облучатель.** Антенна состоит из металлического параболоида 1 диаметром 1,8 м и облучателя 2 (фиг. 74); на рефлекторе имеются перфорированные щели для уменьшения сопротивления вращения рефлектора при ветре. Если отверстия в рефлекторе невелики по сравнению с длиной волны, то они существенно не влияют на отражение волн рефлектором.

Основание антенны крепится к подъемной платформе 3 четырьмя винтами 4 со стопорами 5, которые позволяют установить антенну в горизонтальное положение. Это положение контролируется по уровням 6. Подъем платформы в рабочее положение производится посредством четырех винтов 7, вращающихся от приводной цепи специального двигателя. Антенна пропускается через люк в крыше кузова автомашины. В нижнем положении платформа подъемника закрепляется четырьмя гайками, которые навинчиваются на винты 8, имеющиеся на опорах платформы 9. В верхнем положении платформа прикрепляется к крыше кабины теми же четырьмя гайками, но они навинчиваются на другие опоры.



Фиг. 73. Упрощенная схема антенно-фидерной системы.

Основным элементом облучателя рефлектора (фиг. 75) является полуволновый вибратор 1. Одна часть вибратора соединяется непосредственно с внешним проводом коаксиального фидера 2, питающего вибратор, а другая, более длинная часть вибратора проходит через отверстие во внешнем проводе и подключается к внутреннему проводу фидера.

Для исключения значительной несимметричности в питании вибратора на наружный провод фидера надет четвертьволновый симметрирующий стакан 3.

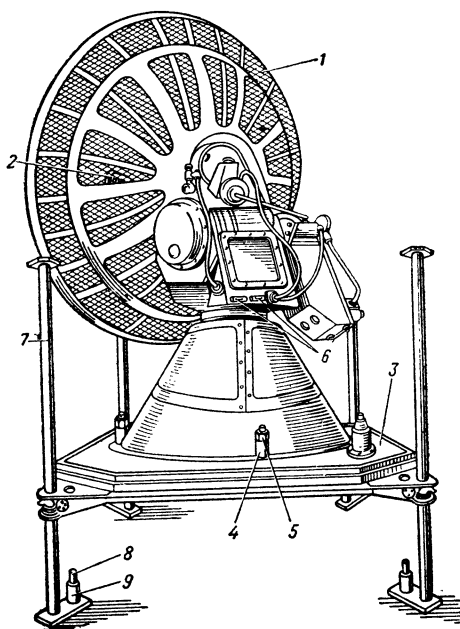
Волновое сопротивление фидера и входное сопротивление вибратора различны по величине. Элементом согласования между ними служит четвертьволновый участок линии 4. Волновое сопротивление этой линии должно быть равно среднему геометрическому согласуе-

мых сопротивлений и получается в результате увеличения диаметра внутреннего провода.

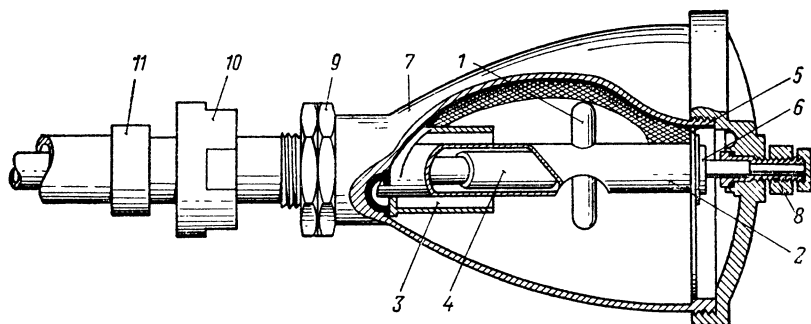
Желательно, чтобы вибратор облучал только рефлектор, в фокусе которого он находится. Если же этого не будет, то в пространстве

будут существовать электромагнитные поля, не только отраженные от рефлектора, но и излучаемые облучателем, вследствие чего диаграмма направленности антенны исказится. В связи с этим облучатель снабжен контррефлектором 5 в виде плоского металлического диска, припаянного к медной пробке 6, которая замыкает накоротко линию. Длина линии от вибратора до закорачивающей пробки равна  $\lambda/4$ , благодаря чему вибратор не шунтируется короткозамкнутым участком линии.

Фидер по всей длине герметизирован и заполнен воздухом, имеющим давление, несколько большее 1 ат. Этим исключается возможность появления влаги внутри фидера и соответственно уменьшаются потери высокочастотной энергии. Облучатель герметизирован пластмассовым колпачком 7, прозрачным для электромагнитных волн. Колпачок с одной стороны навинчивается на резьбу 8 на продолжении внутреннего провода



Фиг. 74. Основание антенны с платформой подъемника.



Фиг. 75. Облучатель антенны.

фидера, а с другой стороны — прижимается гайками 9. Герметизация обеспечивается уплотняющими резиновыми прокладками.

Облучатель, называемый иначе головкой антенны, конструктивно оформлен как отдельный узел, который соединяется с питающим фидером посредством накидной гайки 10 и ключа 11.

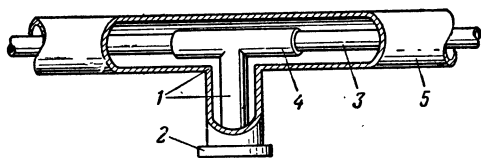
Вибратор облучателя, строго говоря, несимметричный, что вызвано неравенством обеих частей вибратора, а также тем, что облучение рефлектора обусловлено не только током вибратора, но и небольшим током, проникающим в отверстие на внешней поверхности фидера. Асимметрия вибратора вызывает смещение оси излучения антенны относительно оси рефлектора на  $1,25^\circ$ . Это и позволяет при вращении облучателя получать конический сектор обзора пространства.

**Высокочастотный фидер.** Питание антенны производится жестким коаксиальным фидером с металлическими изоляторами. Из всех разновидностей коаксиальных фидеров эта конструкция наиболее сложная, но отличается наименьшими потерями высокочастотной энергии.

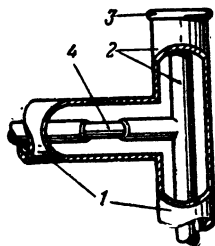
Оба провода фидера изготовлены из меди. Внутренний провод имеет диаметр 10 мм, а внутренний диаметр внешнего провода равен 20 мм. Взаимное расположение проводов фиксируется четвертьволновыми шлейфами 1 (фиг. 76). Шлейф замыкается накоротко пробкой 2. Для расширения полосы пропускания фидера внутренний провод 3 утолщен на участке 4. Внешний провод 5 имеет одинаковый диаметр по всей длине фидера.

Так как входное сопротивление четвертьволновой короткозамкнутой линии очень велико, то опорный шлейф служит одновременно изолятором для фидера.

Радиопульс, как известно, имеет широкий спектр частот, и если, скажем, для несущей частоты опорный шлейф является



Фиг. 76. Участок фидера с опорным шлейфом.



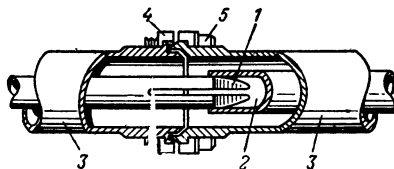
Фиг. 77. Поворотный участок фидера.

четвертьволновым, то для боковых частот его электрическая длина другая, и на этих частотах шлейф в какой-то мере шунтирует фидер. Поэтому все опорные шлейфы в станции сделаны широкополосными. Отличительной особенностью их является уменьшение волнового сопротивления фидера за счет утолщения внутреннего провода на длине  $\lambda/4$  по обе стороны от места подключения шлейфа.

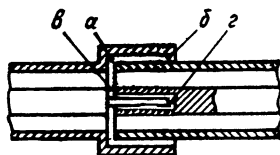
В ряде мест фидер 1 изменяет направление распространения энергии на  $90^\circ$  (фиг. 77). На таких поворотных участках фидер удлиннен на  $\lambda/4$  (участок 2) и замыкается на конце участка пробкой 3,

т. е. внутренний провод фиксируется относительно внешнего металлическим изолятором. Широкополосность этого устройства достигается уменьшением диаметра внутреннего провода (увеличением волнового сопротивления) на участке фидера 4 длиной  $\lambda/4$ .

Неподвижное сочленение секций фидера осуществляется таким образом (фиг. 78). Внутренний провод 1 одной из сочленяемых секций закруглен на конце и имеет прорезь, благодаря чему при



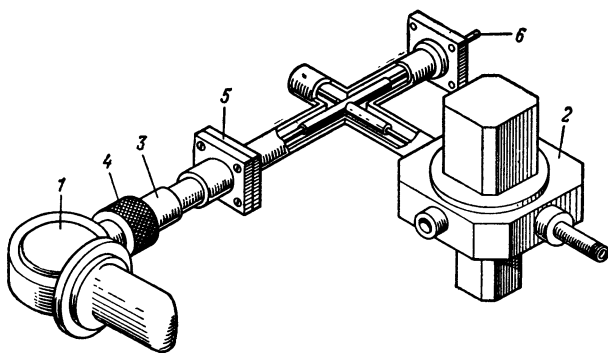
Фиг. 78. Неподвижное сочленение фидера.



Фиг. 79. Вращающееся сочленение фидера.

членении с гнездом 2, просверленным во внутреннем проводе второй секции, получается хороший пружинящий контакт. Внешние провода 3 соединяются друг с другом фланцами 4, которые стягиваются болтами 5. Между внешними проводами помещают резиновую прокладку с целью герметизации фидера в месте сочленения.

Вращающиеся сочленения азимута, угла места и головки антенны — емкостного типа (фиг. 79). Провода секции разделены зазорами, которые от  $a$  до  $b$  и от  $b$  до  $a$  имеют длину  $\lambda/4$ . Таким образом получаются коаксиальные линии, разомкнутые в сечениях  $b$ ,  $g$ . Их входное сопротивление в  $a$  и  $b$  очень мало. Следовательно, несмотря на отсутствие прямого контакта между проводами сочленяемых секций, сопротивление между ними весьма незначительно. В сочленении такого типа герметизация связана с некоторыми трудностями.



Фиг. 80. Т-образное соединение.

Т-образный переход (фиг. 80) предназначен для соединения магнетронного генератора 1, антенного переключателя 2 и фидера 6, идущего к антенне. Коаксиальный фидер в соединении разветвляется в четырех взаимно-перпендикулярных направлениях.

Магнетронный генератор имеет выход к короткому участку линии 3. Внешний проводник линии соединяется с заземленным анодным блоком генератора, а внутренний проводник линии является продолжением петли связи, введенной в один из резонаторов магнетрона. Сочленение магнетрона и переходного отрезка линии 3 фиксируется накидной гайкой 4. Далее следует неподвижное фланцевое сочленение 5, рассмотренное выше, посредством которого передатчик подключается к Т-образному соединению. Аналогично происходит сочленение с антенным фидером 6 и с антенным переключателем 2, с тем лишь отличием, что отвод к переключателю сделан в виде петли связи. Требуемая широкополосность соединения получается благодаря увеличению диаметра внутреннего провода на участке  $\lambda/4$  во всех четырех направлениях от точки разветвления.

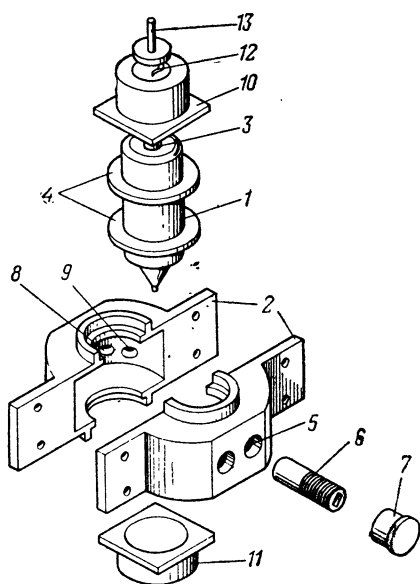
**Антенный переключатель.** Основными элементами антенного переключателя (фиг. 81) являются разрядная лампа 1 и внешний резонатор, образованный двумя полукольцами 2. Разрядная лампа представляет собой стеклянный баллон, наполненный газом, с двумя основными конусообразными электродами и вспомогательным электродом поджига, расположенным внутри одного из основных электродов. Вспомогательный электрод имеет отдельный вывод 3, основные же электроды включаются в схему с помощью плоских дисков 4, к которым вплотную примыкают полукольца 2. Таким образом, электроды разрядника оказываются внутри цилиндрической полости резонатора.

В съемных полукольцах имеются два отверстия 5, через которые ввинчиваются винты 6. Этими винтами можно изменить объем резонатора и таким образом настроить его в резонанс. Для того чтобы в процессе эксплуатации настройка не нарушилась, на винты 6 надевают контргайки 7.

В полукольцах резонатора имеются также отверстия 8 для витка связи с переходным устройством передатчика и отверстия 9 для витка связи с первым детектором.

Съемные полукольца резонатора стягивают винтами. После этого к резонатору монтируют нижнюю крышку 11 и верхнюю крышку 10 с выводом 12 и контактом электрода поджига 13.

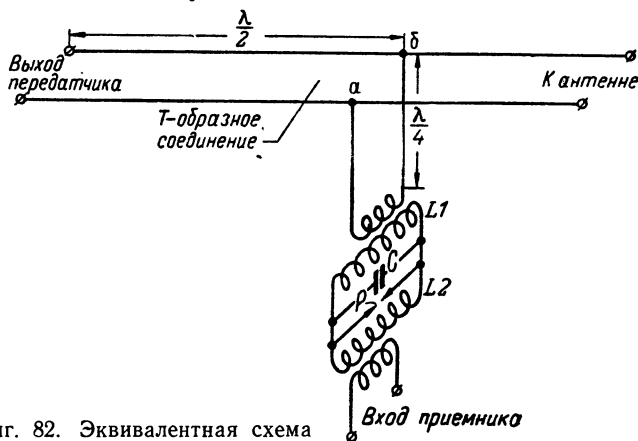
Объемный резонатор, как известно, схематично можно представить в виде параллельного контура  $L_1, L_2, C$  (фиг. 82), к которому в данном случае подключены электроды разрядника  $P$ . Этот



Фиг. 81. Антенный переключатель.

контур с помощью петель индуктивно связан с Т-образным разветвлением и первым детектором приемника.

Когда происходит прием отраженных импульсов, то через Т-образное соединение и элемент связи с ним в резонаторе возбуждаются колебания. Они имеют максимально возможную интенсивность, так как резонатор разрядника обладает очень высокой добротностью и точно настраивается в резонанс с принимаемыми радиоимпульсами. Через второй элемент связи эти колебания поступают на вход приемника. Вместе с тем они почти не отвлекаются из антенны к генератору, так как его входное сопротивление при отсутствии возбуждения очень велико и таким оно остается



Фиг. 82. Эквивалентная схема антенного переключателя.

ся и у Т-образного соединения (для этого расстояние от Т-образного соединения до магнетронного генератора подбирают кратным  $\lambda/2$ ).

Во время генерирования передатчиком мощного импульса происходит дуговой разряд между электродами разрядника. Этому способствует предварительная ионизация газа, заполняющего баллон разрядника, которая вызывается протеканием тока под напряжением, приложенным между поджигающим и основным электродами. Вследствие разряда между основными электродами эквивалентный контур резонатора расстраивается и его сопротивление резко уменьшается. Напряжение на резонаторе становится несоизмеримо меньше напряжения в антенном фидере, причем на входе приемника оно трансформируется и еще более понижается. В результате в приемник поступает весьма незначительная часть мощности передатчика, достаточная лишь для получения на индикаторе отметки зондирующего импульса.

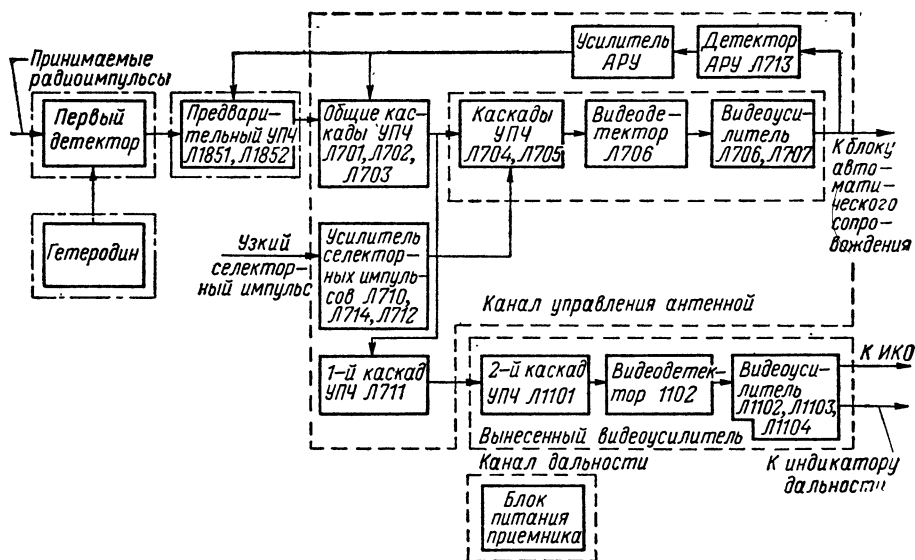
Расстояние между Т-образным разветвлением и его вводом в разрядник переключателя подбирается, равным нечетному числу  $\lambda/4$ . Поэтому при работающем передатчике, когда из-за пробоя разрядника сопротивление элемента связи с ним очень мало, оно трансформируется на Т-образном разветвлении (а, б) в очень большое

сопротивление, и таким образом энергия импульса передатчика почти беспрепятственно проходит в антенну.

## § 6. ПРИЕМНИК

Блок-схема приемника. Этот приемник, как и подавляющее большинство радиолокационных приемников, в целях получения высокой чувствительности и избирательности выполнен по супергетеродинной схеме. Блок-схема его показана на фиг. 83.

Принятые антенной радиопulses преобразуются в первом детекторе с помощью отдельного гетеродина в импульсы промежуточной частоты. Последние усиливаются в двух каскадах предварительного УПЧ, а затем в трех каскадах основного УПЧ, после



Фиг. 83. Блок-схема приемника.

чего разделяются на два канала: канал дальности и канал управления антенной. В первом канале имеется два каскада УПЧ, видеодетектор и три каскада видеоусилителя, а во втором канале — два каскада УПЧ, видеодетектор, два каскада видеоусилителя, детектор АРУ и усилитель АРУ. С канала дальности видеоимпульсы поступают на индикаторы дальности и кругового обзора, а с канала управления антенной видеоимпульсы следуют в блок автоматического сопровождения.

Канал управления антенной открывается селекторными импульсами, которые поступают из блока дальности и усиливаются в приемнике каскадами, работающими на лампах Л710, Л714 и Л712.

Первый детектор, гетеродин и предварительный УПЧ выполнены в виде отдельных блоков, расположенных

в непосредственной близости от передатчика и антенного переключателя. Они образуют так называемую высокочастотную головку приемника. Остальная часть приемника, за исключением вынесенного видеоусилителя и блока питания, смонтирована в блоке, называемом главным усилителем.

Такое конструктивное разделение на высокочастотную головку и основной усилитель характерно для радиолокационных приемников сантиметрового и дециметрового диапазонов. Это разделение вызвано тем, что в данном случае на выходе приемной антенны получаются очень слабые сигналы, и если приемник удален от антенного переключателя на сколько-нибудь значительное расстояние, то за счет потерь и помех, наводимых в кабеле, соединяющем переключатель с приемником, отношение  $\frac{\text{сигнал}}{\text{помеха}}$  дополнительно пони-

жается, что крайне нежелательно. Выход из создавшегося положения заключается в том, что высокочастотные каскады приемника, включая несколько первых каскадов УПЧ, помещаются вблизи остальных высокочастотных элементов станции, а основное усиление по промежуточной частоте и последующие преобразования происходят в другом блоке, расположенном близко к отметчикам.

Заметим, что для приемника станции SCR-584, как и для всех станций орудийной наводки, характерно разделение на каналы дальности и управления антенной. Это вызвано тем, что в станциях орудийной наводки применяется автоматическое сопровождение цели.

**Высокочастотная часть приемника.** В высокочастотную часть (головку) приемника входят: гетеродин, первый детектор и предварительный усилитель промежуточной частоты.

Частота колебаний гетеродина больше частоты радиоимпульсов на 30 Мгц. В качестве гетеродина используется клистрон. Для этой цели можно было бы использовать маячковый триод, но для него длина волны порядка 10 см является почти предельной, и к тому же клистрон отличается большей гибкостью в отношении регулировки частоты, чем триодные генераторы СВЧ.

На фиг. 84 изображена схема гетеродина. Клистрон содержит подогревный катод 1, управляющую сетку 2, объемный резонатор с сетками 3, 4 и отражатель 5, помещенные в металлический баллон с высоким вакуумом. Высокочастотная энергия выводится от клистрона с помощью петли связи, помещенной в резонатор. Петля связи переходит во внутренний провод коаксиальной линии. Внешний провод этой линии соединяется со стенкой резонатора.

Питание клистрона производится от выпрямителей, выполненных на кенотронах Л1801 и Л1802. Один из выпрямителей (на Л1802) стабилизирован с помощью газовых стабилизировольтов Л1804, Л1805, Л1806, Л1807 типа VR105-30. Это сделано в целях стабилизации частоты гетеродина.

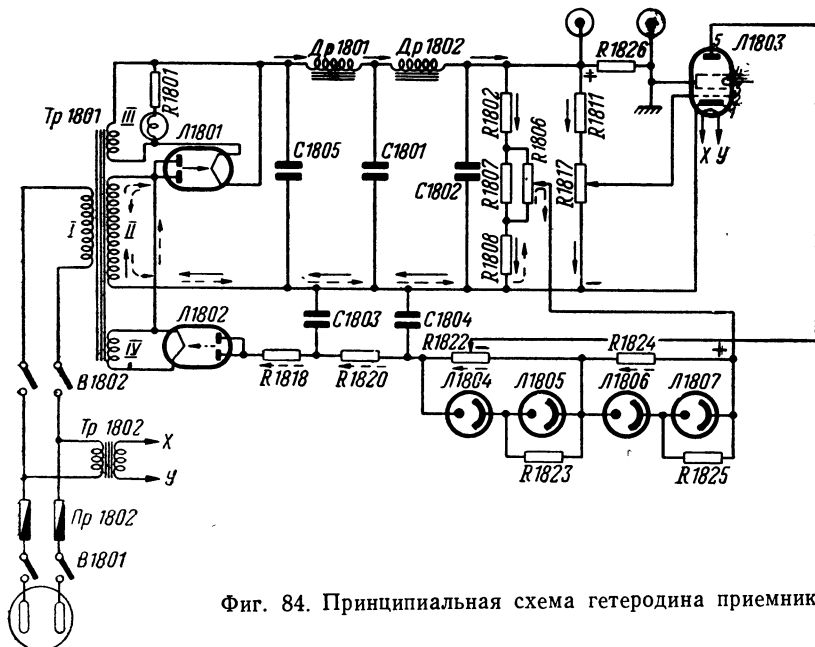
Тумблером В1801 («накал») переменное напряжение сети подается на первичную обмотку трансформатора Тр1802, со вторичной обмотки которого снимается напряжение накала клистрона. За-



тем тумблером В1802 («анод») сеть подключается к силовому трансформатору Тр1801. В нем, кроме первичной обмотки I и обмотки накала кенотронов III, IV, имеется повышающая обмотка II, которая является общей для обоих кенотронов.

Фильтрами выпрямителей служат элементы С1805, Др1801, С1801, Др1802, С1802, С1803, R1820 и С1804.

Ток выпрямителя, работающего на кенотроне Л1801, показан сплошными стрелками, а ток выпрямителя с кенотроном Л1802 — пунктирными. В соответствии с направлением и величиной этих токов на схеме показаны полярность и величины напряжений на нагрузочных сопротивлениях.



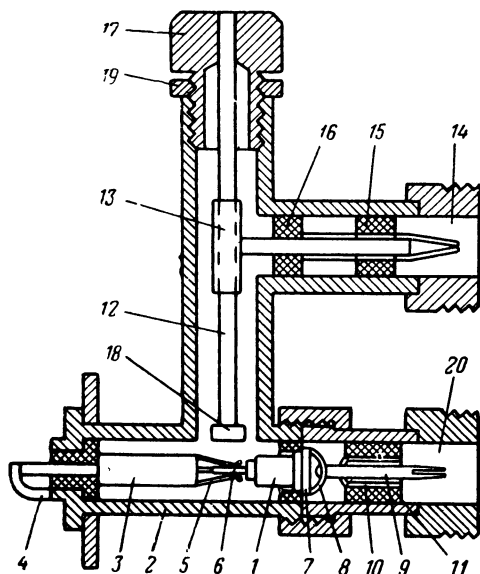
Фиг. 84. Принципиальная схема гетеродина приемника.

Со стабилизированной сети снимается 420 в. Сопротивление R1818 является балластным в цепи стабилизированной сети, на этом сопротивлении гасится та часть напряжения выпрямителя, которая превышает 420 в. В результате сглаживаются пульсации выходного напряжения, обусловленные нестабильностью напряжения сети или нагрузки.

Нестабилизованный выпрямитель минусом подключается к катоду клистрона, а плюсом, заземленным через R1826, — к сеткам резонатора. Часть напряжения этого выпрямителя, которая снимается с потенциометра R1817 («сеточное напряжение»), подается на управляющую сетку клистрона. К отражателю клистрона приложено отрицательное (относительно катода) напряжение, которое равно алгебраической сумме положительного нестабилизованного напряжения, снимаемого с R1808, R1806 («напряжение делителя»), и отрицательного стабилизированного напряжения, снимаемого с R1824, R1822 («напряжение отражателя»). Такая схема

питания клистрона составлена с учетом того, что напряжение отражателя в основном стабилизировано, но если нестабилизированный выпрямитель изменит свое напряжение, то с одинаковым знаком изменится напряжение на отражателе и сетке клистрона. Одинаковое по знаку приращение напряжений на этих электродах вызывает противоположное по знаку изменение частоты колебаний клистрона. В результате частота гетеродина еще более стабилизируется.

Эту частоту можно регулировать напряжением на отражателе и в еще большей мере — механическим изменением объема резонатора.



Фиг. 85. Преобразователь частоты в разрезе.

проволоки, помещенных в керамический патрон. Диод включается в схему с помощью двух латунных наконечников, расположенных с противоположных сторон патрона. Один наконечник соединяется с кристаллом, а другой — с вольфрамовой проволокой. После подбора контактной точки кристалла и проволоки патрон заливают воском для сохранения надежного контакта и предохранения диода от влаги.

На фиг. 85 изображен преобразователь частоты. Патрон с кристаллом 1 служит нагрузкой коаксиальной линии 2, внутренний провод которой 3 является продолжением петли связи 4 с камерой разрядника. Наружные провода линии, камеры разрядника и других коаксиальных элементов смесителя непосредственно соединяются между собой.

Провод 3 кончается пружинным контактом 5, который охватывает один из наконечников 6 патрона кристалла. Другой наконечник патрона 7 через пружинный контакт 8 соединяется с внутренним

Преобразователь частоты. В качестве преобразователя частоты используется кристаллический смеситель. Кроме малого уровня шумов, кристаллические смесители имеют преимущество в малых потерях мощности сигнала и в малых размерах. Недостатком этих смесителей является склонность к повреждению кристаллов при мощности сигналов, большей 100 мвт. В связи с этим антенный переключатель и рассчитан на большое затухание (70 дб); вносимое разрядником приемника при работе передатчика.

Кристаллический диод состоит из силиконового кристалла и вольфрамовой

проводом 9 коаксиального выхода к усилителю промежуточной частоты. Провод 9 зажимается металлическим колпачком 10, который отделен от наружного провода линии изолирующей шайбой 11. С помощью этой шайбы образуется конденсатор, через который замыкается цепь диода по току СВЧ. Волновое сопротивление линии 2 подбирают равным входному сопротивлению диода, благодаря чему принимаемый сигнал не отражается в направлении разрядника.

Колебания клистронного гетеродина вводятся в смеситель по другой коаксиальной линии 12 с Т-образным отводом 13. Отвод кончается коаксиальным разъемом 14 для соединения с высокочастотным выходом клистрона. Внутри линии отвода находится опорная шайба 15 и дисковое сопротивление 16, примерно равное волновому сопротивлению линии. Это сопротивление выполняет роль основной нагрузки гетеродина.

Отрезок линии 12 с одной стороны замкнут накоротко ввинчивающейся пробкой 17, а с другой стороны его внутренний провод заканчивается дисковым зондом 18, который погружается в линию смесителя. Пробка 17 выполняет функции конструктивной опоры и вместе с тем позволяет регулировать связь между гетеродином и смесителем изменением глубины погружения зонда. Связь должна быть очень слабой, чтобы исключить просачивание сигнала в гетеродин и изменение частоты последнего.

Расстояние от петли связи 4 до зонда 18 следует устанавливать равным нечетному числу  $\lambda/4$ , а расстояние от того же зонда до сопротивления 16 — равным  $\lambda/2$ . Поскольку линия в месте расположения петли 4 имеет очень малое сопротивление, то у зонда 18 оно трансформируется в очень большое сопротивление и таким же остается на нагрузочном сопротивлении гетеродина (входное сопротивление полуволновой линии равно сопротивлению нагрузки). Это дополнительно ослабляет влияние смесителя на частоту гетеродина.

Для того чтобы при перемещении пробки 17 не нарушался контакт между внутренними проводами линии, в месте отвода контакт сделан скользящим посредством муфты 13. После настройки пробка 17 фиксируется контргайкой 19. Обычно расстояние от пробки до муфты равно  $\lambda/4$ , и тогда эта часть линии выполняет функции металлического изолятора.

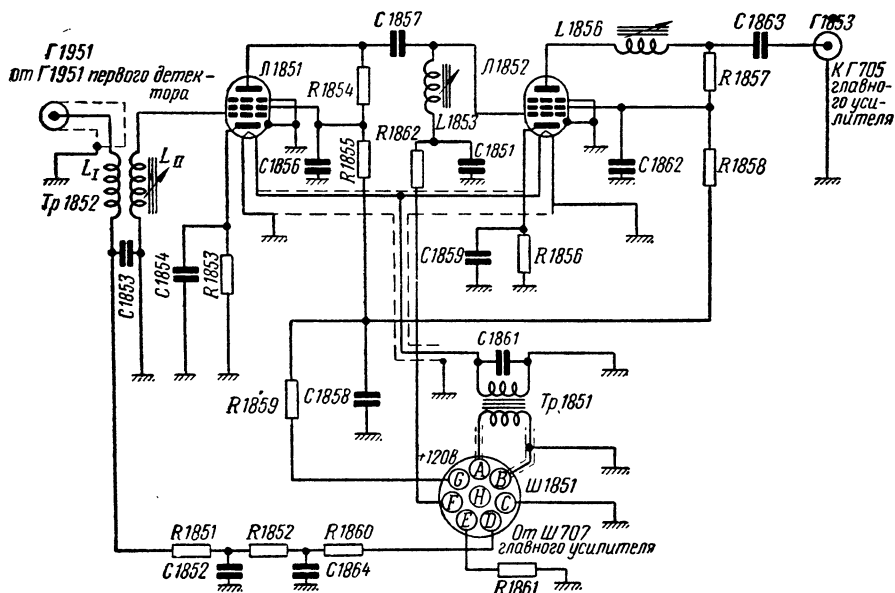
Итак, на кристалл воздействуют колебания с частотой сигнала и гетеродина. Входной контур усилителя промежуточной частоты, который подключается к коаксиальному разъему 20, настроен в резонанс на промежуточную частоту. Поэтому из всех составляющих тока кристалла на контуре создается значительное падение напряжения только за счет тока промежуточной частоты, а остальные высокочастотные составляющие замыкаются через емкость, образованную элементами 10, 11 и 2. Так радиопульсы превращаются в импульсы промежуточной частоты.

Предварительный усилитель промежуточной частоты (фиг. 86) содержит два каскада, работающих на пентодах Л1851 и Л1852 типа 6АС7.

Выход смесителя при помощи разъема Г1951 индуктивно связан

с входным контуром первого каскада. Контур, состоящий из индуктивности  $L_{II}$  и соответствующих емкостей схемы, настроен в резонанс на промежуточную частоту 30 Мгц.

Питание анодной цепи первого каскада Л1851 производится по параллельной схеме. Постоянная и высокочастотные составляющие анодного тока разветвляются с помощью сопротивления R1854 и конденсатора C1857. Усиленные лампой импульсы промежуточной частоты поступают в контур, составленный из индуктивности L1853 и емкостей схемы.



Фиг. 86. Схема предварительного усилителя промежуточной частоты.

Нагрузкой второго каскада является настроенный контур, состоящий из последовательно соединенных L1856, выходной емкости лампы Л1852, входной емкости кабеля, соединяющего через разъем Г1853 предварительный УПЧ с главным усилителем, емкости монтажа и конденсаторов C1863, C1859, практически не влияющих на резонансную частоту контура. Преимущество такой схемы в том, что емкости лампы и кабеля включены последовательно, благодаря чему общая емкость контура значительно уменьшается.

Контуры обоих каскадов настраиваются сердечниками контурных катушек.

Через разъем Ш1851 производятся основные соединения между предварительным УПЧ и главным усилителем.

На контакт G разъема подается стабилизированное напряжение 120 в. Это напряжение через развязывающие фильтры R1859, C1858; R1855, C1856; R1858, C1862 и небольшие сопротивления R1854,

R1857, шунтирующие контуры, поступает на аноды и экранные сетки ламп усилителя.

Напряжение смещения на управляющую сетку Л1851 снимается полностью с катодного сопротивления R1853, блокированного конденсатором C1854, а на управляющую сетку Л1852 — частично с аналогичных элементов R1856, C1859 и дополнительно с нагрузки АРУ через фильтр R1862, C1851.

Трансформатор Тр1851 — накальный. Его первичная обмотка через главный усилитель включается в сеть питания, а вторичная обмотка — к нитям накала ламп. Цепь накала экранирована для устранения паразитных наводок на провода этой цепи.

Постоянная составляющая тока кристалла измеряется миллиамперметром, включенным между контактами *С* и *Д* разъема Ш1851 главного усилителя. Этот ток замыкается по цепи кристалл, подключенный через схему смесителя к разъему Г1951, земля, контакт *С* разъема Ш1851, миллиамперметр, контакт *Д* того же разъема, R1860, R1852, R1851,  $L_1$ . Сопротивления этой цепи и конденсаторы C1853, C1852, C1864 образуют развязывающие фильтры, которые не допускают ток промежуточной частоты к измерительному прибору. Данный прибор позволяет судить о режиме работы смесителя.

Главный усилитель. Принципиальная схема главного усилителя показана на фиг. 87.

Импульсы промежуточной частоты на главный усилитель поступают через коаксиальное гнездо Г705. Для того чтобы кабель, соединяющий предварительный УПЧ с главным усилителем, работал в режиме бегущих волн, его нагружают активным сопротивлением R701, равным волновому сопротивлению кабеля (75 ом).

Через конденсатор C746 импульсы подаются в сеточный контур первого каскада основного УПЧ. Контур состоит из индуктивности L701 и соответствующих емкостей. Все три каскада основного УПЧ, общие для обоих каналов, работают на пентодах Л701, Л702, Л703 типа 6АС7 по схеме простого резонансного усилителя. По такой же схеме включен предварительный УПЧ. Резонансный УПЧ наиболее прост в производстве и эксплуатации, менее чувствителен к смене ламп, но при широкой полосе пропускания дает меньшее усиление, чем другие схемы УПЧ. В данном случае полоса пропускания относительно неширокая (1,7 Мгц), а поэтому выбор резонансной схемы УПЧ следует считать оправданным.

Питание всех трех каскадов производится по параллельной схеме, и контуры их, состоящие из индуктивностей L702, L703, L704 и соответствующих емкостей схемы, включены в цепи управляющих сеток следующих каскадов. Напомним, что такой способ включения контуров позволяет получить быстрое восстановление схемы после приема сильного импульсного сигнала или помехи. Контуры шунтируются небольшими сопротивлениями R703, R706, R709 для расширения полосы пропускания каскадов.

После третьего каскада основного УПЧ происходит разделение каналов. В главном усилителе находится только один каскад УПЧ



канала дальности. Этот каскад работает на пентоде Л711 типа 6АС7 и по схеме совпадает со вторым каскадом предварительного УПЧ, отличаясь от него лишь дополнительным конденсатором С729, включенным, как и R730, для расширения полосы пропускания, а также для большей устойчивости работы каскада при смене ламп. Импульсы, полученные на выходе Л711, через кабель, подключенный к разъему Г706, следуют в вынесенный видеоусилитель.

Канал управления антенной начинается с каскадов УПЧ, выполненных на пентодах Л704 и Л705 типа 6АС7. Первый каскад называется селекторным, потому что он открывается положительным импульсом, поступающим к аноду и экранной сетке Л704 с последнего каскада усилителя селекторных импульсов. Этот импульс, как было сказано, совпадает по времени с приемом эхосигнала от цели, предназначенной для автоматического сопровождения. В интервале между селекторными импульсами напряжения с анода и экранной сетки Л704 сняты, и тогда лампа заперта по анодному току. В таком случае участок катод — управляющая сетка ведет себя как диод, шунтирующий нагрузку лампы Л703. Входное сопротивление диода, как известно, мало. Поэтому для ослабления шунтирующего действия этого диода последовательно в цепь управляющей сетки включено сопротивление R722. В остальном схема УПЧ канала управления антенной существенно не отличается от схемы общих каскадов УПЧ.

В качестве видеодетектора используется левый триод лампы Л706 типа 6SN7-GT. Анод этого триода заземлен, а сетка выполняет функции анода диодного детектора. Заземление анода триода способствует экранировке каскада видеоусилителя (правый триод лампы) от колебаний промежуточной частоты. В качестве видеодетекторов наиболее широко используются диоды. Основанием для этого является присущий им большой линейный участок детекторной характеристики. Малое входное сопротивление диодного детектора в данном случае является несущественным недостатком, так как для получения требуемой полосы пропускания контуры УПЧ радиолокационных приемников специально шунтируют небольшими сопротивлениями.

Схема работает так. Обладая односторонней проводимостью, диод преобразует импульсы промежуточной частоты в пульсирующий ток, который содержит постоянную составляющую, изменяющуюся согласно огибающей преобразуемых импульсов, и переменные составляющие промежуточной и других частот. Переменные составляющие замыкаются по цепи катод — сетка, небольшая емкость С723, Л706, катод, а постоянная составляющая — по цепи сетка — катод, Л706, R746, Л707. При этом на сопротивлении нагрузки детектора R746 создается падение напряжения (создаются видеоимпульсы) с отрицательным знаком относительно земли.

Полученные видеоимпульсы оказываются приложенными к сетке правого триода лампы. Дроссель Л707 наряду с конденсатором С723 препятствует попаданию токов промежуточной частоты на видеоусилитель.

Нагрузкой первого каскада видеоусилителя служит сопротивление R751. С этого сопротивления положительные видеоимпульсы через переходную цепь C725, R717 передаются на участок сетка—катод лампы второго каскада видеоусилителя, выполненного на пентоде Л707 типа 6АС7. На нагрузке R720 получаются отрицательные видеоимпульсы, которые через элементы C737, R758 следуют на вход схемы АРУ и через C740 подаются на коаксиальное гнездо Г702 и далее на блок автоматического сопровождения.

Видеоимпульсы имеют широкий спектр частот, а поэтому для неискаженного воспроизведения видеоимпульсов усилитель должен иметь хорошую частотную характеристику в широком диапазоне частот. Как видно, видеоусилитель включен по реостатной схеме. Это объясняется тем, что реостатный усилитель благодаря минимальному влиянию реактивных элементов схемы создает меньше частотных искажений, чем усилители другого вида. В целях дальнейшего уменьшения искажений на высших частотах сопротивления нагрузки видеоусилителя устанавливают меньшей величины, чем в реостатном усилителе низкой частоты ( $R720 = 2200 \text{ ом}$ ,  $R751 = 6200 \text{ ом}$ ). Это способствует ослаблению шунтирующего действия входной емкости следующего каскада на нагрузку данного каскада.

**Усилитель селекторных импульсов.** Усиление селекторных импульсов происходит в двух каскадах, выполненных на лучевых тетрадах Л710, Л712 типа 6L6G, включенных триодами. Узкий селекторный импульс отрицательной полярности длительностью 3 мксек и амплитудой 95—110 в с блока дальности через коаксиальное гнездо Г703 подается на сетку Л710. С анодной нагрузки этой лампы R737 усиленный импульс положительной полярности через цепь C734, C733 передается на сетку второго каскада, включенного по схеме с катодной нагрузкой. Анод лампы через большую емкость C743 заземляется по переменному току, а на катодной нагрузке R747 выделяются импульсы той же полярности, что и на сетке. Полученные положительные импульсы амплитудой 106 в с помощью переходной цепи C728, R732 подаются на анод и экранную сетку Л704, открывая этим канал управления антенной.

Для того чтобы амплитуда импульсов, управляющих селекторным каскадом УПЧ (Л704), имела определенную величину, напряжение на сетке Л712 фиксируется посредством схемы, работающей на двойном триоде Л714 типа 6SN7-GT, включенном диодом. Катод диода подключен к +120 в стабилизированного выпрямителя, а анод диода соединяется с сеткой Л712. Поэтому диод заперт до тех пор, пока напряжение на сетке Л712 не превысит +120 в. Если же это произойдет, то диод станет проводящим, его сопротивление резко уменьшится и зашунтирует нагрузку первого каскада R737, в результате чего напряжение на сетке Л712 не сможет превысить +120 в.

Следует заметить, что выходной каскад усилителя, как всякий каскад с катодной нагрузкой, не создает усиления по напряжению,



так как все напряжение с нагрузки передается в противофазе на сетку. Коэффициент усиления каскада  $k < 1$  ( $k = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{106}{120}$ ).

В каскаде с катодной нагрузкой благодаря глубокой отрицательной обратной связи большое приращение анодного тока  $\Delta I_a$  вызывает весьма незначительное приращение напряжения на нагрузке  $\Delta U_p$ . Это равнозначно малому выходному сопротивлению каскада. Вместе с тем в каскаде с катодной нагрузкой анод заземлен по переменному току и к емкости  $C_{ga}$  приложено только входное напряжение, а в каскаде с анодной нагрузкой к емкости  $C_{ga}$  приложена сумма входного и выходного напряжений. Благодаря этому в каскаде с катодной нагрузкой получается меньший емкостной ток и соответственно большее входное сопротивление.

Эти свойства выходного каскада усилителя селекторных импульсов позволяют сохранить устойчивым режим усилителя, несмотря на резкое изменение нагрузки на усилитель в моменты отпирания и затухания лампы Л704. Так как выходное сопротивление лампы Л712 мало, то даже при резком изменении нагрузки на выходной каскад усилителя его выходное сопротивление практически не изменяется, а входное сопротивление по-прежнему остается высоким, что и требуется для нормальной работы усилителя.

Схема автоматической регулировки усиления (АРУ) выполнена на лампе Л713 типа 6SN7-GT, правый триод которой включен диодом и служит детектором АРУ, а левый триод работает в качестве усилителя постоянного тока.

АРУ имеет задержку, которая создается напряжением, снимаемым с делителя R741, R748, подключенного к источнику стабилизированного напряжения 120 в. Напряжение задержки положительной полярности через R742 подается на катод и отрицательной полярности — через R743, R740, R739 — на анод диода. Когда отрицательный видеоимпульс, поданный с выхода лампы Л707 на катод диода, превысит отрицательное напряжение задержки на аноде диода, то в его цепи появляется ток, который идет в направлении анод—катод, R742, R748, R743, R740, R739. Этот ток создает на сопротивлениях нагрузки R739, R740 отрицательное (относительно земли) напряжение.

Усилитель постоянного тока представляет собой каскад с катодной нагрузкой R735. Напряжение на сетке усилителя зависит, в частности, от реле Р701. В том случае, когда происходит автоматическое сопровождение цели, реле разомкнуто. Для этого достаточно в главном усилителе выключить В701 или переключатель управления антенной, присоединенный к данной схеме через разъем Ш701, поставить в положение «Автоматич».

Если принимаемый сигнал настолько слабый, что видеоимпульс, поступающий на схему АРУ, не превышает напряжения задержки, то на сетку усилителя подается лишь отрицательное (относительно земли) напряжение, которое снимается с реостата R743, входящего в делитель R743, R738, R736, подключенный к стабилизированному источнику — 105 в. Вместе с тем катод усилителя через R735 под-

ключен к зажиму —105 в того же источника. Следовательно, напряжение на сетке относительно катода положительное, и так как на анод усилителя подано +120 в, то в анодной цепи имеется ток, который идет в направлении анод—катод, R735, от минуса к плюсу источника 105 в, земля, от минуса к плюсу источника 120 в, анод. При этом на сопротивлении нагрузки R735 создается падение напряжения со знаком плюс на катоде. Реостатом R743, ось которого выведена под шлиц, напряжение на сетке регулируется так, чтобы падение напряжения на R735 было равно 105 в. Тогда катод лампы будет иметь потенциал земли и на лампы второго каскада предварительного УПЧ и первого каскада основного УПЧ Л701 будет подаваться только начальное смещение, снимаемое с катодных сопротивлений R1856 (фиг. 86), R702 (см. фиг. 87), заблокированных соответственно конденсаторами C1859, C701. Это напряжение смещения к катодам ламп приложено со знаком плюс и к земле со знаком минус, а потенциал земли передается на управляющие сетки ламп через плюс, минус источника 105 в, R735 (напряжения на этих двух элементах полностью компенсировались) и через развязывающие фильтры R750, C747 (фиг. 87), R1862, C1851 (фиг. 86). УПЧ в таком случае работает с максимальным усилением.

Когда же принимаемый сигнал достаточно сильный, чтобы открыть детектор АРУ, то чем больше амплитуда сигнала, тем больше отрицательное напряжение, снимаемое с нагрузки детектора АРУ на усилитель, тем меньше анодный ток усилителя и падение напряжения на R735 и тем больше отрицательное смещение на управляющих сетках ламп Л1851, Л701. Так как эти лампы имеют переменную крутизну, то в результате коэффициент усиления УПЧ уменьшается. Таким образом автоматически поддерживается постоянной амплитуда видеоимпульсов, следующих в блок автоматического сопровождения.

Если же станция работает в другом режиме (поиска или неавтоматического сопровождения), то реле Р701 оказывается под током и сетка усилителя постоянного тока отключается от нагрузки детектора АРУ, а напряжение на ней определяется потенциометром R738, ручка которого («Регулировка усиления») выведена на переднюю панель главного усилителя. От положения этой ручки, очевидно, зависит напряжение на нагрузке R735 и смещение на сетках Л1852, Л701. Таким способом осуществляется ручная регулировка усиления приемника.

Емкости C735, C736 увеличивают постоянную времени цепи нагрузки детектора АРУ в такой мере, чтобы АРУ не изменяла усиление УПЧ вслед за огибающей сигнала ошибки, которая имеет частоту 30 гц.

Стабилизатор напряжения. Питание приемника производится от отдельного блока, который подключается к главному усилителю через разъем Ш708. На контакты F, G разъема подается напряжение сети, которым запитываются накальные трансформаторы Tr701 и Tr702. К контакту H подводится +300 в нестабили-

зированного выпрямителя, к контакту *B* — 105 в стабилизированного напряжения, а к контакту *E* — земля, с которой соединяется минус первого и плюс второго источников напряжения.

Основная часть высоковольтных цепей главного усилителя питается от 120 в стабилизированного напряжения, получаемого с помощью дополнительного электронного стабилизатора, состоящего из усилителя постоянного тока на пентоде Л709 типа 6SI7-GT и управляющей лампы на лучевом тетроде Л708 типа 6L6G.

Между контактами разъема, на которые подано +300 в и —105 в, включен делитель R718, R728, R727, R726. Так как 120 в приложено между катодом Л708 и землей, то на сопротивлениях R728, R727, R726 должно поддерживаться  $120 + 105 = 225$  в. Примерно половина этого напряжения приходится на сопротивления R726 и потенциометр R727, которые последовательно с источником —105 в приложены к участку управляющая сетка—катод Л709.

Если, скажем, на выходе стабилизатора напряжение превысило 120 в, то напряжения на сетке лампы Л709 и на сопротивлении R724 увеличиваются. Это сопротивление включено между анодом и управляющей сеткой Л708. Следовательно, напряжение на сетке и соответственно проводимость лампы Л708 уменьшатся, и так как лампа Л708 включена последовательно между контактом +300 в и нагрузкой, то в результате напряжение на нагрузке понизится до номинального (120 в). Аналогично происходит стабилизация при уменьшении напряжения на нагрузке.

Обратим внимание на то, с какой целью на схему стабилизатора подается напряжение —105 в от стабиливольта, имеющегося в блоке питания. Предположим, что ползунок потенциометра R727 делит пополам напряжение, снимаемое с делителя. Тогда на управляющую сетку Л709 подается напряжение  $\frac{225}{2} - 105 = 7,5$  в. Если

же удалить источник —105 в, то R726 будет подключен к катоду и те же 7,5 в будут приложены к сетке усилителя при условии, что потенциометр R727 делит напряжение на сопротивлениях в пропорции  $\frac{7,5}{225} = 3,3\%$ . Следовательно, если на входе схемы стабилизатора

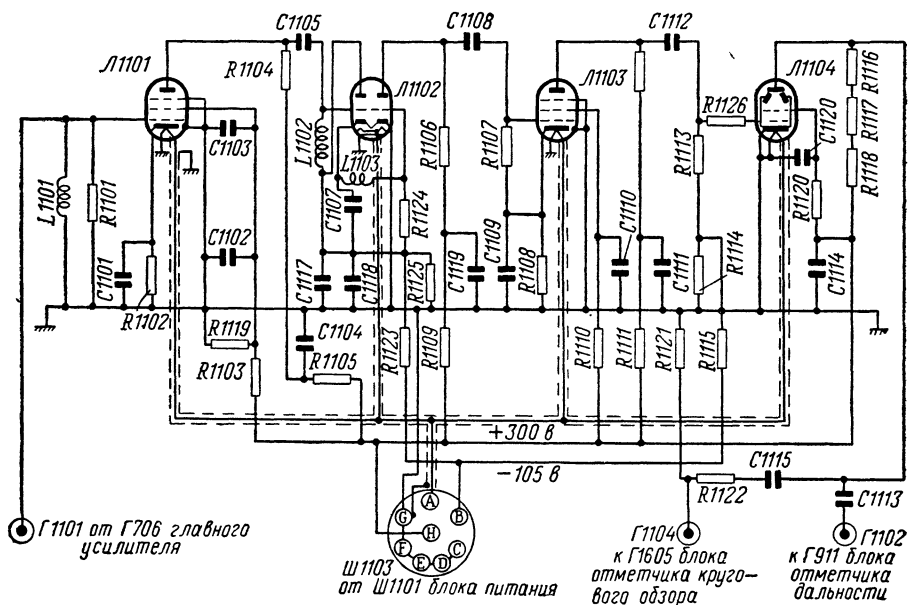
произойдет изменение напряжения на 20 в, то от этого на управляющей сетке Л709 в первом случае напряжение изменится на  $20 \cdot 0,5 = 10$  в, а во втором случае — на  $20 \cdot 0,033 = 0,66$  в. Таким образом, благодаря включению так называемого опорного напряжения (—105 в) чувствительность стабилизатора значительно увеличилась.

Питание главного усилителя производится нестабилизированным напряжением 300 в и стабилизированными напряжениями +120 в и —105 в. В цепь питания от 300 в включены блокировочный конденсатор C726 и развязывающий фильтр R719, C720, в цепь питания от 120 в включены развязывающие фильтры R704, C703; R707, C707; R710, C711; R716, C719.

Все усилительные каскады работают без сеточных токов. Исходная рабочая точка в них задается начальным смещением на управ-

ляющей сетке, которое создается на сопротивлениях R702, R705, R708, R711, R749, R714, R721, R729, блокированных соответственно конденсаторами C701, C705, C709, C713, C718, C749, C731. Падение напряжения получается за счет постоянной составляющей катодного тока.

Внесенный видеоусилитель входит в канал дальности. Этот блок содержит второй каскад УПЧ (первый каскад находится в главном усилителе), видеодетектор и три каскада видеоусиления (фиг. 88). Большое число каскадов в видеоусилителе потребо-



Фиг. 88. Схема внесенного видеоусилителя.

валось в связи с тем, что первый каскад УПЧ дает малое усиление, поскольку он нагружен на кабель. Для того чтобы этот кабель работал в режиме бегущих волн, входной коаксиальный разъем Г1101 замкнут на активное сопротивление R1101, равное волновому сопротивлению кабеля (75 ом).

Второй каскад УПЧ, работающий на пентоде 6AC7 (Л1101), совпадает по схеме с другими каскадами УПЧ, расположенными в главном усилителе. С выходного контура этого каскада, состоящего из индуктивности L1102 и емкостей схемы, импульсы промежуточной частоты подаются на левый триод Л1102 типа 6SN7-GT, где они детектируются.

Анод триода заземлен по переменному току через конденсаторы C1117, C1118 и в детектировании не участвует. Анодом видеодетектора служит сетка триода. Постоянная составляющая выпрямленного тока образует на нагрузке R1124 видеоимпульсы, которые со знаком плюс приложены к сетке правого триода, являющегося первым

усилителем видеоимпульсов. Конденсатор C1107 и дроссель L1103 образуют фильтр, не допускающий колебания промежуточной частоты в видеоусилитель.

С нагрузки первого каскада видеоусилителя R1106 снимают отрицательные импульсы, которые через переходную цепь C1108, R1107 передаются на управляющую сетку пентода Л1103 типа 6АС7. Эта лампа является вторым каскадом видеоусилителя, ограничителем амплитуды и автоматическим регулятором шумов. На нагрузке лампы R1112 выделяются положительные видеоимпульсы, ограниченные по амплитуде. Ограничение происходит за счет отсечки анодного тока. В отсутствии импульсов на входе лампа открыта и напряжение на ее аноде равно 200 в. Когда же на сетку поступают отрицательные импульсы, то амплитуда их оказывается настолько значительной, что импульсы, не достигнув амплитудного значения, запирают лампу и напряжение на ней увеличивается до 300 в. Таким образом на аноде получается положительный перепад напряжения с постоянной амплитудой 100 в.

Переходная цепь C1108, R1107 имеет большую постоянную времени. Благодаря этому происходит сеточное детектирование шумов. Чем больше уровень шумов, тем больше заряд конденсатора C1108, ток разряда этого конденсатора через сопротивление R1107 и отрицательное смещение, снимаемое с сопротивления на управляющую сетку лампы. В результате шумы на выходе уменьшаются. Такая автоматическая регулировка необходима для того, чтобы уровень шумов на экране метчиков был постоянным, а это облегчает обнаружение сигналов.

Сопротивление R1108, блокированное конденсатором C1109, создает отрицательное смещение на антидинаatronной сетке. Это способствует стабилизации режима лампы, так как с увеличением анодного тока увеличивается отрицательное смещение на антидинаatronной сетке, что препятствует росту анодного тока.

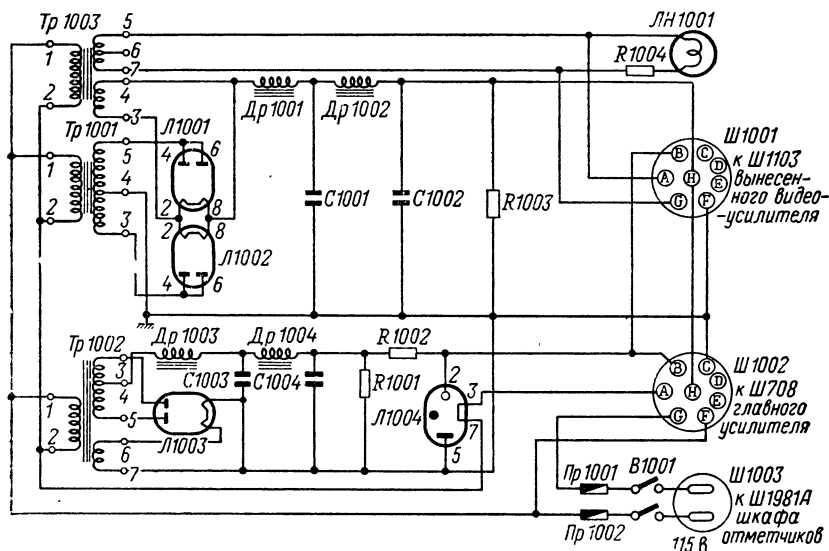
Усиленные и ограниченные по амплитуде положительные видеоимпульсы через антипаразитное сопротивление R1126 подаются на выходной каскад усилителя, выполненный на лучевом тетраде Л1104. С его нагрузочных сопротивлений R1116, R1117, R1118 отрицательные видеоимпульсы подаются через C1113 на метчики дальности и через C1115, R1122 на метчик кругового обзора. Поскольку видеоимпульс для амплитудной отметки должен иметь большую амплитуду, чем для яркостной отметки, амплитуда импульса на гнезде Г1104 в 10 раз меньше, чем на гнезде Г1102.

Питание к схеме подводится через разъем Ш1103. От выпрямителя 300 в, блокированного конденсатором C1114, через развязывающие фильтры R1105, C1104, R1109, C1119; R1110, C1110; R1111; C1111 и делитель R1103, R1119 питаются аноды и экранные сетки ламп. Экранная сетка лампы Л1101 блокирована по переменному току конденсаторами C1102, C1103.

От стабилизированного источника — 105 в с помощью делителя R1123, R1125, блокированного конденсаторами C1117, C1118, подается смещение на сетку лампы Л1102 и посредством делителя R1115,

R1114 — на управляющую сетку выходного каскада. Цепи накала экранированы.

Блок питания приемника. Принципиальная схема блока показана на фиг. 89. Питание приемника включается тумблером В1001. При этом от переходной колодки Ш1103 первичное напряжение сети 115 в, 400 гц подается через предохранители Пр1001, Пр1002 на трансформаторы Тр1001, Тр1002, Тр1003. Для замыкания цепи необходимо также, чтобы был включен стабилизатор Л11004



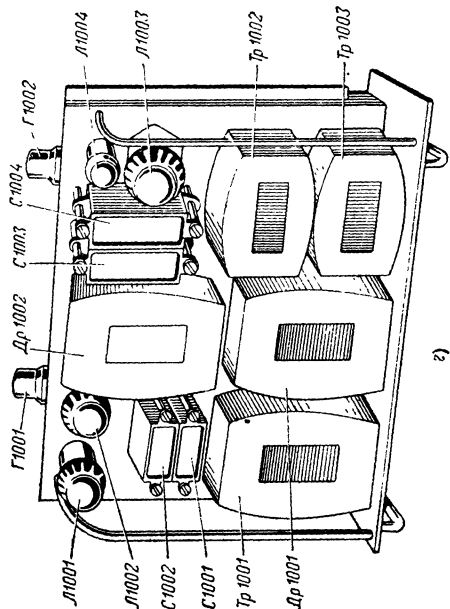
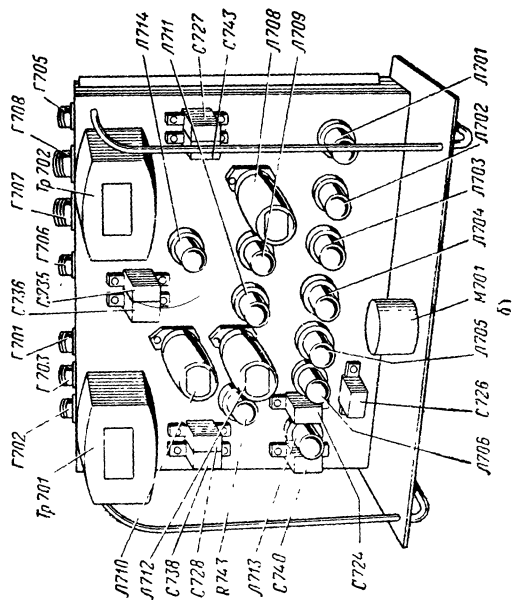
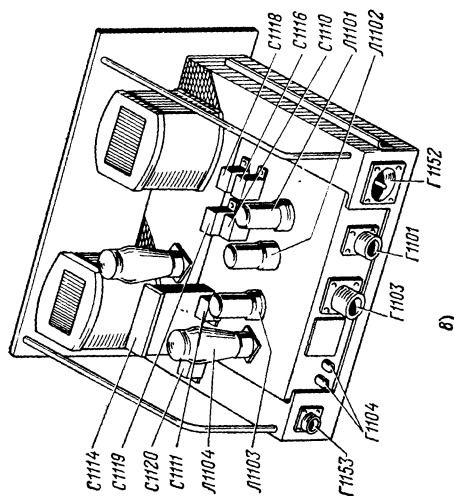
Фиг. 89. Схема блока питания приемника.

(замкнута его блокировочная перемычка) и закорочены контакты А и G разъема Ш708 (для этого должно быть вставлено шасси главного усилителя).

Выпрямитель на 300 в выполнен на силовом трансформаторе Тр1001, кенотронах Л1001, Л1002 типа 5U4G и фильтре Др1001, С1001, Др1002, С1002.

Второй выпрямитель имеет силовой трансформатор Тр1002, кенотрон Л1003 типа 5U4G, фильтр С1003, Др1004, С1004, стабилизатор Л1004 типа VR-105-30, балластное сопротивление к нему R1002 и шунтирующее сопротивление R1001. Стабилизатор обеспечивает стабильное напряжение 105 в. Плюс второго выпрямителя соединен с минусом первого выпрямителя, который заземлен. Следовательно, с первого выпрямителя снимается положительное напряжение, а со второго — отрицательное. Оба выпрямителя включены по двухполупериодной схеме.

На фиг. 90 показано расположение деталей на передней панели (а) и шасси (б) блока главного усилителя, на шасси вынесенного видеоусилителя (в) и блока питания приемника (г). Обозначения деталей соответствуют принципиальной схеме.



Фиг. 90. Расположение деталей на передней панели (а) и шасси (б) главного усилителя, на шасси вынесенного видеосинтезатора (в) и блока питания при-емника (г).

## § 7. БЛОК ДАЛЬНОСТИ

Назначение. Дальность измеряется при помощи блоков: дальности, отметчиков дальности и питания всей системы.

Блок дальности предназначен для получения:

а) двух синусоидальных напряжений с частотой 81,95 кГц и сдвинутых по фазе на  $90^\circ$  с целью создания круговой развертки в точном отметчике;

б) двух синусоидальных напряжений с частотой 5,12 кГц и сдвинутых по фазе на  $90^\circ$  с целью создания круговой развертки в грубом отметчике;

в) импульсов с частотой следования 1707 имп/сек, предназначенных для запуска передатчика и развертки отметчика кругового обзора;

г) широких селекторных импульсов с частотой следования 1707 имп/сек для подсвета каждого первого после пускового импульса круга развертки на грубом отметчике;

д) узких селекторных импульсов с частотой следования 1707 имп/сек для подсвета экранов ИКО и точного отметчика в месте расположения отметки наблюдаемой цели, а также для отпира- ния канала управления антенной на время приема импульсов сопрово- ждаемой цели.

Рассмотрим последовательно схемы получения каждого из этих напряжений и импульсов.

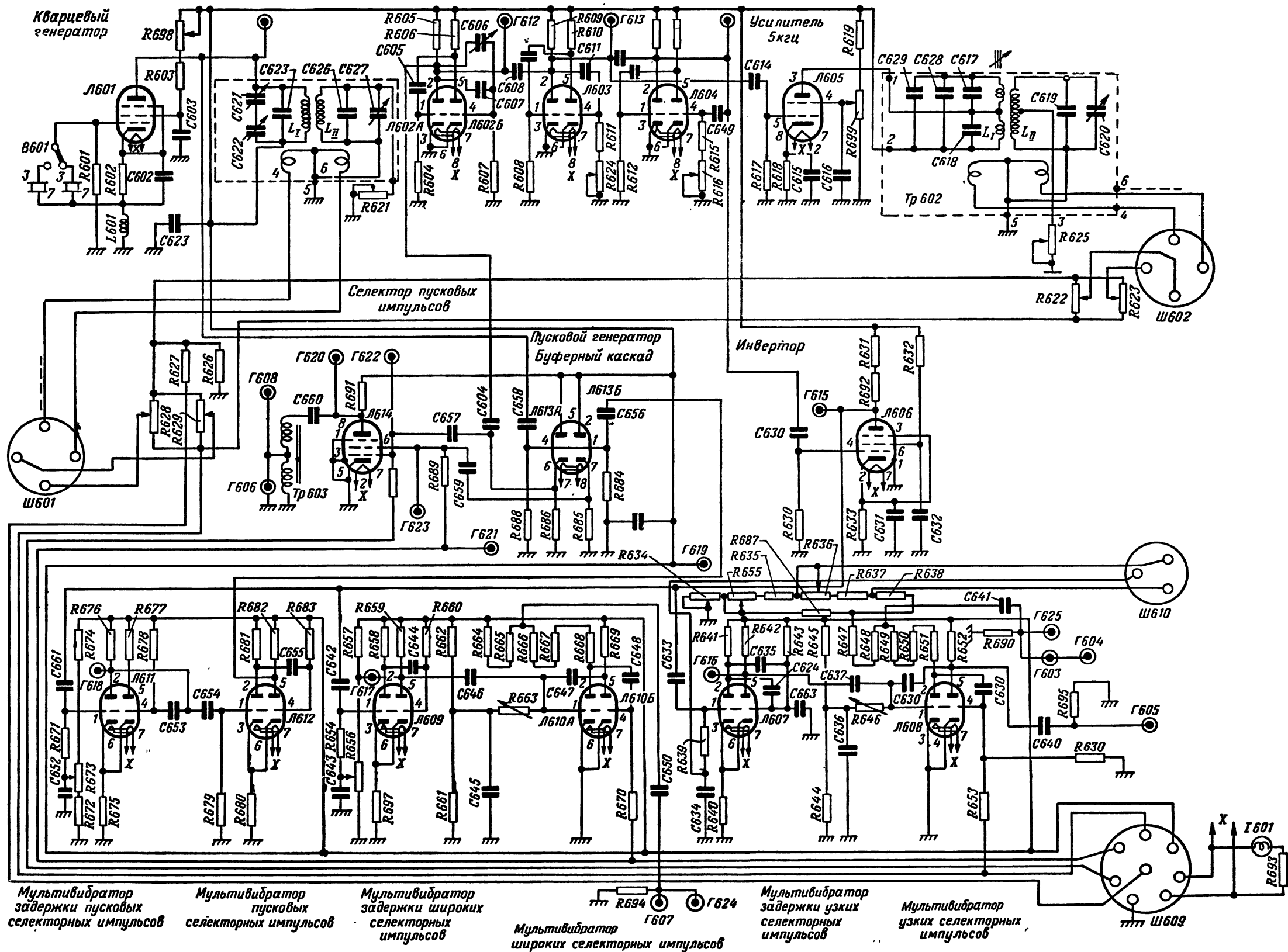
Получение развертки в точном отметчике дальности. Первичным источником выходных напряжений и им- пульсов блока дальности является *кварцевый генератор*, работаю- щий по схеме с электронной связью на пентоде Л601 (фиг. 91).

Внутренний контур генератора используется для самовозбужде- ния. Этот контур состоит из кварцевой пластины, включенной между управляющей сеткой и катодом. Для подвозбуждения кварца между катодом и экранной сеткой, выполняющей функции анода для схемы самовозбуждения, включена индуктивность L601 (сопротивлением блокировочных конденсаторов С602 и С603 для тока высокой час- тоты можно пренебречь). При наличии колебаний кварцевая пла- стина эквивалентна контуру, который несколько расстроен и имеет индуктивный характер. Следовательно, правило составления трех- точечных схем выполняется: между управляющей и экранной сет- ками имеется внутриламповая емкость, а между управляющей сет- кой и катодом и между экранной сеткой и катодом включены ин- дуктивные сопротивления. Наличие кварцевого контура обеспечи- вает высокую стабильность частоты генерируемых колебаний.

Внешний контур  $L_1$ , С623, С621, С622 включен в анодную цепь, и так как его эквивалентное сопротивление больше, чем соответствую- щее сопротивление внутреннего контура, то в нем выделяются уси- ленные колебания, возбужденные кварцем.

Во вторичном контуре  $L_{II}$ , С626, С627 происходят колебания с той же частотой, но со сдвигом по фазе на  $90^\circ$ . Действительно, на- пряжение на первичном контуре  $U_1$  вызывает в индуктивности  $L_I$  ток





Фиг. 91. Принципиальная схема блока дальности.

$I_I$  с отставанием по фазе на  $90^\circ$  (фиг. 92). Ток  $I_I$  индуцирует во вторичном контуре э. д. с.  $E_{II}$  с дополнительным отставанием по фазе на  $90^\circ$ . Вторичный контур настраивается в резонанс, а поэтому ток  $I_{II}$  в нем совпадает по фазе с э. д. с.  $E_{II}$ , и так как напряжение  $U_{II}$  на индуктивности  $L_{II}$  опережает по фазе ток  $I_{II}$  на  $90^\circ$ , то между напряжениями на первичном и вторичном контурах получается требуемый сдвиг по фазе на  $90^\circ$ . Это фазовое соотношение сохраняется между э. д. с., индуцируемыми в катушках связи, с которых через разъем Ш601 (фиг. 91) снимаются напряжения на две системы взаимно-перпендикулярных отклоняющих пластин точного отметчика дальности.

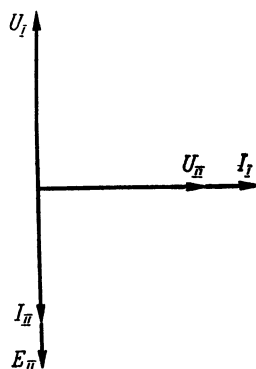
Для получения круговой развертки в отметчике необходимы два условия: а) синусоидальные напряжения, поданные на отклоняющие пластины, должны иметь точный сдвиг по фазе на  $90^\circ$ ; исходя из этого вторичный контур настраивают в резонанс конденсатором С627; б) амплитуды напряжений, снимаемых на отклоняющие пластины, при равной чувствительности последних должны быть равны; это достигается при помощи переменного сопротивления R621, регулирующего затухание вторичного контура.

Если не соблюдается первое условие, то развертка имеет форму эллипса, оси которого наклонены относительно плоскостей отклоняющих пластин. При несоблюдении второго условия развертка также имеет форму эллипса, но оси его остаются параллельными плоскостям пластин.

Для регулировки диаметра развертки используются два переменных элемента: сопротивление R698, посредством которого изменяется напряжение на экранной сетке генератора, и конденсатор С621, предназначенный для настройки первичного контура в резонанс.

Описанная схема обеспечивает высокое качество развертки. Применение кварцевого генератора является гарантией высокой стабильности частоты развертки. Использование резонансных свойств двух контуров создает условия для получения чисто синусоидального напряжения развертки, без высших гармоник, а это обеспечивает высокую линейность развертки. Наконец, необходимые фазовые сдвиги и амплитудные соотношения между напряжениями на горизонтальных и вертикальных отклоняющих пластинах трубки устанавливаются без труда благодаря тому, что даже незначительное отклонение формы развертки от круговой легко наблюдается на глаз.

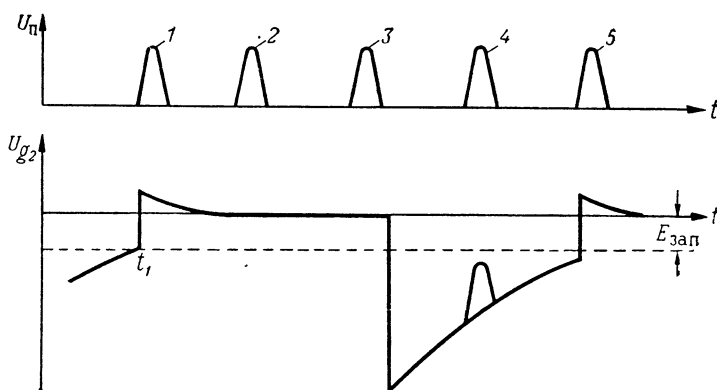
Получение развертки в грубом отметчике дальности. Напряжение развертки в грубом отметчике отличается от напряжения развертки в точном отметчике только частотой (в 16 раз меньшей — 5,12 кГц). Поэтому в данном случае синусоидальные напряжения кварцевого генератора с частотой 81,95 кГц сначала



Фиг. 92. Векторная диаграмма, иллюстрирующая получение напряжений круговой развертки.

преобразуются в импульсы той же частоты в пусковом генераторе. Затем эти импульсы запускают два мультивибратора (Л602, Л603), каждый из которых работает в режиме деления частоты 1 : 4. С выхода второго мультивибратора прямоугольные импульсы с частотой следования 5,12 кГц поступают в усилитель (Л605), в нагрузку которого выделяется только первая гармоника этих импульсов, после чего полученное синусоидальное напряжение расщепляется на два при помощи фазосдвигающего трансформатора.

Пусковой генератор выполнен на левом триоде Л613. Возбуждение на сетку этой лампы поступает с кварцевого генератора через



Фиг. 93. Синхронизация мультивибратора.

переходную цепь С658, R688, имеющую большую постоянную времени. Нагрузкой лампы служит катодное сопротивление R686. Смещение на сетку снимается как с этого сопротивления, так и с R688, по которому проходит постоянная составляющая сеточного тока. В сумме смещение достигает  $-40$  в, а напряжение отсечки лампы равно  $-20$  в. Следовательно, лампа работает с нижней отсечкой анодного тока, а напряжение на нагрузке имеет форму остроконечных синусоидальных импульсов с углом отсечки, меньшим  $90^\circ$  (точнее  $60^\circ$ ).

На мультивибратор Л602 эти импульсы подаются через С604, R605. Мультивибратор включен по основной схеме и генерирует прямоугольные колебания, период которых определяется длительностью разряда конденсаторов С606, С607 через открытый левый триод и R607 и С605 через открытый правый триод и R604, т. е. период зависит от параметров упомянутых конденсаторов и сопротивлений. С помощью переменного конденсатора С606 частота колебаний мультивибратора устанавливается несколько меньшей 20 кГц.

Положительные импульсы пускового генератора  $U_n$  приложены к аноду левого триода Л602А и к сетке правого триода Л602Б (через С606, С607, R607). Положим, что запираение Л602А и открывание Л602Б произошло в момент  $t_1$ , когда пусковой генератор подал импульс 1 (фиг. 93). Тогда импульсы 2 и 3 не оказывают воздействия

на мультивибратор, так как увеличение сеточного напряжения правого триода  $U_{g2}$  поддерживает правый триод в открытом состоянии, а левый триод запертым. Импульс 4, действующий во второй полупериод, также не изменяет состояние мультивибратора, поскольку увеличения  $U_{g2}$  еще недостаточно для отпирания правого триода, и только от импульса 5 напряжение на сетке этой лампы возрастает настолько, что заставляет правый триод открыться, а левый закрыться раньше, чем это произошло бы в отсутствии синхронизирующих импульсов. Аналогично происходит синхронизация импульсами 9, 13, 17-м, т. е. каждым четвертым импульсом пускового генератора. Таким образом, на выходе мультивибратора получаются импульсы с частотой  $\frac{81,95}{4} = 20,49$  кГц.

Следующий мультивибратор, работающий на лампе Л603 (см. фиг. 91), синхронизируется первым мультивибратором и отличается от него параметрами схемы, рассчитанными на частоту колебаний, несколько меньшую 5 кГц. Эта частота регулируется переменным сопротивлением R624. Синхронизирующие импульсы на сетке правого триода Л603 получаются путем дифференцирования прямоугольных колебаний предыдущего мультивибратора. Полученные в результате дифференцирования положительные остroконечные импульсы не используются, а каждый четвертый отрицательный импульс опрокидывает схему. В результате формируются прямоугольные колебания со стабильной частотой следования 5,12 кГц, которые подаются на усилитель, выполненный на тетроде Л605.

Подбором сеточного смещения, снимаемого с сопротивлений R618 и R617, усилитель работает с отсечкой анодного тока. Импульсы анодного тока имеют частоту следования поданных на вход прямоугольных колебаний. Так как нагрузкой анодной цепи усилителя служит колебательный контур  $L_1$ , C628, C629, C617, C618, настроенный на эту частоту, то из всех гармонических составляющих импульса на контуре выделяется только синусоидальное напряжение основной частоты 5,12 кГц. Для получения оптимального эквивалентного сопротивления нагрузки усилителя анод подключается к промежуточной точке контура.

Вторичный контур  $L_{II}$ , C619, C620, шунтированный сопротивлением R625, настраивается в резонанс конденсатором C620. Поэтому на катушках связи, которые через разъем Ш602 подключаются к отклоняющим пластинам грубого отметчика дальности, получаются два синусоидальных напряжения, сдвинутых по фазе на  $90^\circ$ . Таким образом создается круговая развертка с частотой 5,12 кГц.

Диаметр развертки регулируется изменением напряжения на экранной сетке усилителя посредством потенциометра R699 и настройкой первичного контура в резонанс посредством железного сердечника,двигаемого в катушку контура. Требуемая (круглая) форма линии развертки получается регулировкой элементов вторичного контура C620 и R625.

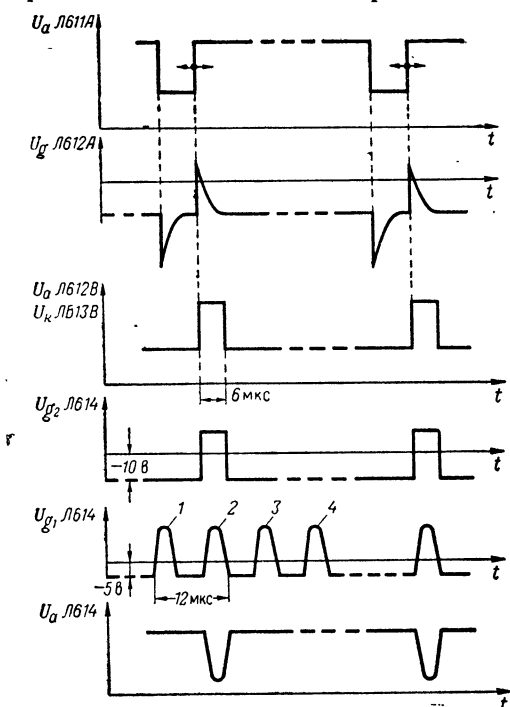
Качество развертки в грубом отметчике получается таким же высоким, как и в точном.



лителя R674, R673, R672 снимается положительное напряжение от 10 до 27 в.

В исходном состоянии правый триод ждущего мультивибратора открыт, а левый закрыт, поскольку сетка правого триода через сопротивление R678 подключена к  $+250$  в, а потенциометром R673 устанавливают такое напряжение на сетке левого триода, которое требуется для его запираания. Катодный ток правого триода вызывает на сопротивлении R675 падение напряжения 40 в, и если с делителя снимается  $+12$  в, то напряжение на сетке левого триода относительно катода равно  $12 - 40 = -28$  в, что по абсолютной величине превышает напряжение запираания ( $E_{gz} = -12$  в). В то же время на сетке правого триода напряжение относительно катода приблизительно равно нулю (так как сопротивление R678 = 3,3 Мом значительно больше сопротивления участка сетка—катод  $R_{gk} \approx 1$  ком), а относительно земли равно  $+40$  в.

В связи с тем, что левый триод заперт, конденсатор C653 заряжается до напряжения источника за вычетом падения напряжения на сопротивлении R675, т. е. до 210 в. Заряд происходит по цепи  $+250$  в, R676, C653, сетка—катод, R675, минус источника.



Фиг. 95. Формирование пусковых импульсов.

Прямоугольные колебания, полученные в ограничителе-усилителе, преобразуются дифференцирующей цепочкой C661, R671 в остроконечные импульсы чередующихся полярностей. Положительные импульсы лавинообразно отпирают левый триод и запирают правый. Вслед за этим наступает разряд конденсатора C653 (фиг. 94, б), который происходит по цепи анод—катод левого триода, R675, от минуса к плюсу источника, R678, C653. На R678 образуется падение напряжения 252 в, обращенное минусом к сетке правого триода.

Для того чтобы вычислить напряжения на сетках триодов, необходимо учесть, что напряжение на сопротивлении R675 уменьшилось от 40 до 20 в, так как в данном случае анодный ток левого триода значительно меньше тока, который проходил по анодной цепи правого триода. Это объясняется уменьшением напряжения на сетке

проводящей лампы и тем, что  $R_{676}=5,6 \text{ ком}$ ,  $R_{677}=2,7 \text{ ком}$ . Следовательно, напряжение на сетке левого триода  $U_{g1}=12-20=-8 \text{ в}$ , а на сетке правого триода  $U_{g2}=20+250-252=-22 \text{ в}$ . Этим подтверждается, что левый триод открыт, а правый закрыт.

По мере разряда конденсатора  $C_{653}$  ток через сопротивление  $R_{678}$  и напряжение на нем уменьшаются, а напряжение на сетке правого триода увеличивается. В соответствии с постоянной времени цепи  $R_{678}$ ,  $C_{653}$  через некоторое время это напряжение достигает величины, необходимой для отпирания правого триода. Затем следует лавинообразный процесс перехода схемы в исходное состояние, когда правый триод открыт, а левый закрыт.

На следующий каскад импульс снимается с анода левого триода, и так как во время формирования импульса этот триод был открыт, то импульс имеет отрицательную полярность. Длительность импульса регулируется потенциометром  $R_{673}$ . Если увеличить напряжение, подаваемое на сетку с этого потенциометра, от  $+12$  до  $+16 \text{ в}$ , то, как показывает анализ, при отпирании левого триода напряжение на его аноде уменьшится не до  $+208 \text{ в}$ , как в предыдущем случае, а до  $+200 \text{ в}$ . Соответственно напряжение на сетке правого триода дополнительно уменьшится на  $8 \text{ в}$ , т. е. в начале разряда конденсатора оно будет равно  $-30 \text{ в}$ , и для отпирания правого триода потребуются более продолжительный разряд конденсатора, а длительность импульса получится большей.

Сформированный прямоугольный импульс через дифференцирующую цепь  $C_{654}$ ,  $R_{679}$  (фиг. 91, 95) запускает ждущий мультивибратор пусковых селекторных импульсов, который выполнен на двойном триоде  $Л612$  по аналогичной схеме с катодной связью. Переднему фронту дифференцируемого импульса соответствует отрицательный, а заднему фронту — положительный остrokонечный импульс. Так как в исходном состоянии триод  $Л612А$  закрыт, а триод  $Л612Б$  открыт, то отрицательный импульс не оказывает воздействия на ждущий мультивибратор, а положительный импульс запускает его.

Постоянная времени цепи  $C_{655}$ ,  $R_{683}$  подобрана так, что импульс ждущего мультивибратора длится  $6 \text{ мксек}$ . Поскольку его передний фронт совпадает с задним фронтом импульса предыдущего мультивибратора, то при помощи потенциометра  $R_{673}$  можно регулировать задержку импульса данного мультивибратора.

Полученный импульс положительной полярности снимается с анода триода  $Л612Б$  и подается через переходную цепь  $C_{656}$ ,  $R_{684}$  на сетку буферного каскада ( $Л613Б$ ). На катодной нагрузке каскада  $R_{685}$  выделяется примерно такой же положительный прямоугольный импульс.

Посредством переходной цепи  $C_{659}$ ,  $R_{689}$  этот импульс оказывается приложенным к экранной сетке селектора пусковых импульсов, работающего на пентоде  $Л614$ .

Вместе с тем на управляющую сетку селектора приходят положительные остrokонечные синусоидальные импульсы 1, 2, 3, 4, ..., которые снимаются с катодной нагрузки пускового генератора

(Л613А). Лампа селектора заперта отрицательными напряжениями на управляющей ( $-5$  в) и экранной ( $-10$  в) сетках и открывается только при наличии импульсов на обеих сетках.

При помощи потенциометра R673 можно добиться совпадения этих импульсов, и тогда на нагрузке селектора — автотрансформаторе Tr603 — выделяются отрицательные импульсы для запуска передатчика и развертки индикатора кругового обзора. Коэффициент трансформации нагрузки выбирается с учетом необходимости согласования селектора с кабелями, соединяющими через разъемы Г608 и Г606 блок дальности с блоками подмодулятора и отметчика кругового обзора. Благодаря конденсатору С660 через обмотку трансформатора не проходит постоянная составляющая анодного тока селектора.

Поскольку частота импульсов пускового генератора (81 950 имп/сек) в 48 раз больше частоты импульсов, приходящих с буферного каскада (1707 имп/сек), то запуск передатчика происходит лишь одним из 48 импульсов, вырабатываемых пусковым генератором, т. е. с частотой 1707 имп/сек.

Для того чтобы полученные импульсы имели высокую стабильность, предусмотрено следующее: а) исходным источником всех импульсов является высокостабильный кварцевый генератор; б) ограничитель-усилитель обеспечивает четкое срабатывание ждущего мультивибратора задержки благодаря увеличению крутизны импульсов, запускающих данный мультивибратор; в) буферный каскад, как каскад с катодной нагрузкой, обладает высоким входным сопротивлением, а это исключает влияние селектора на ждущий мультивибратор пусковых импульсов; г) схема совпадений почти полностью устраняет влияние нестабильности многочисленных каскадов, участвующих в создании импульсов запуска передатчика, так как выходные импульсы селектора должны точно совпадать с одним из тех, которые непосредственно синхронизируются кварцевым генератором.

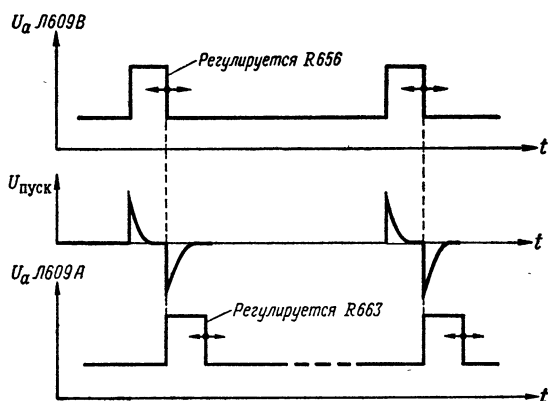
Получение широких селекторных импульсов (фиг. 91, 96). Частота следования широких селекторных импульсов равна 1707 имп/сек, а поэтому для их получения можно использовать уже описанные кварцевый генератор (Л601), пусковой генератор (Л613А), запускаемые последним мультивибраторы деления частоты (Л602, Л603, Л604) и ограничитель-усилитель (Л606). Кроме того, схема содержит ждущий мультивибратор (Л609), который создает требуемую задержку широких селекторных импульсов, и ждущий мультивибратор (Л610), непосредственно формирующий эти импульсы.

Каскад задержки широких селекторных импульсов (Л609) отличается от ждущего мультивибратора задержки пусковых селекторных импульсов (Л611) только номиналами конденсаторов и сопротивлений. Длительность импульсов регулируется потенциометром R656. Импульсы снимаются с анода триода Л609Б, а поэтому имеют положительную полярность. Они подаются на дифференцирующую цепочку С646, R663, на выходе которой получаются остроконечные



импульсы ( $U_{\text{пуск}}$ ), из которых первый имеет положительную полярность, а второй — отрицательную.

Мультивибратор широких селекторных импульсов (Л610) относится к группе электронных реле с задержкой. Эта задержка создается напряжением  $-10$  в на сетке Л610Б, которое подается из блока питания через разъем Ш609 и сопротивление R670. Вместе с тем на сетку Л610А с делителя R662, R661 через сопротивление R663 подается  $+3,7$  в. Этим определяется то, что в устойчивом состоянии левый триод открыт, а правый закрыт. Запуск ждущего мультивибратора производится отрицательным продифференцированным им-



Фиг. 96. Формирование широких селекторных импульсов.

пульсом, т. е. задним фронтом импульса предыдущего мультивибратора. Отсюда следует, что *задержка широких селекторных импульсов регулируется потенциометром R656.*

В ждущем мультивибраторе Л610 как прямая, так и обратная связь между левым и правым триодами анодно-сеточная. Элементами связи служат С648, R670 и С647, R663, R661. Вслед за лавинообразным запирающим левым триодом и открыванием правого триода наступает разряд конденсатора С647 по цепи анод—катод правого триода, R661, R663, С647. Напряжение на R663 с отрицательным знаком приложено к сетке левого триода, и этим лампа поддерживается в запертом состоянии. По мере разряда конденсатора отрицательное напряжение, снимаемое с R663 на сетку, постепенно уменьшается, и через некоторое время левый триод лавинообразно открывается, а правый закрывается. Схема приходит в устойчивое состояние. Очевидно, что *длительность широких селекторных импульсов можно регулировать сопротивлением R663.*

Импульсы снимаются с части нагрузки левого анода R664, R665 и через цепь С650, R694 подаются на коаксиальный разъем Г607.

Задержка (R656) регулируется в пределах от нуля до  $50$  мксек с таким расчетом, чтобы начало подсвета развертки грубого отсчетчика совпало с отметкой импульса передатчика (нулем шкалы), а

длительность (R663) изменяется от нуля до 195 мксек так, чтобы подсвет распространялся на один полный круг развертки.

Получение узких селекторных импульсов (см. фиг. 91). Узкие селекторные импульсы, как и широкие, имеют частоту следования 1707 имп/сек. Поэтому для их получения используются те же кварцевый генератор, пусковой генератор, мультивибраторы деления частоты, ограничитель-усилитель и два дополнительных ждущих мультивибратора: один (Л607) для создания требуемой задержки узких селекторных импульсов, а другой (Л608), запускаемый первым, для формирования селекторных импульсов по длительности.

Ждущий мультивибратор Л607, как и остальные мультивибраторы задержки, составлен по схеме с катодной связью и запускается остроконечным положительным импульсом, полученным в результате дифференцирования цепочкой С633, R639 прямоугольных колебаний, поступающих с ограничителя-усилителя. Ждущий мультивибратор задержки создает прямоугольные импульсы положительной полярности, которые снимаются с анода правого триода Л607 и через дифференцирующую цепь С637, R646 подаются на сетку левого триода мультивибратора узких селекторных импульсов.

По аналогии со схемой получения широких селекторных импульсов можно утверждать, что *задержка узких селекторных импульсов регулируется переменными сопротивлениями R901, R636, R655 и R634, из которых сопротивление R901 находится в блоке отметчиков дальности. Длительность этих импульсов регулируется сопротивлением R646.* Пределы регулировки задержки 0—195 мксек, а длительности 0—100 мксек.

Узкие селекторные импульсы положительной полярности снимаются с нагрузочных сопротивлений R647, R648 левого триода Л608 и через переходную цепь С641, R690 подаются на разъемы Г603, Г604, ведущие к трубкам точного отметчика дальности и индикатора кругового обзора. Одновременно с анода правого триода отрицательные импульсы через С640, R695 подаются на разъем Г605, ведущий к главному усилителю.

Поскольку узкие селекторные импульсы должны подсвечивать экран точного отметчика в месте расположения визира для отсчета дальности, то задержка узких селекторных импульсов должна происходить синхронно с вращением визирных дисков. Конструктивно это оформляется так. Потенциометр задержки R901 помещается в блок отметчиков дальности и ось потенциометра вращается вместе с визирными дисками от общего штурвала дальности. Развертка дальности в отметчиках линейная. Поэтому для синхронного перемещения визира и узкого селекторного импульса задержка последнего должна быть линейной, т. е. прямо пропорциональной углу поворота ползунка потенциометра R901. Это требование удовлетворяется тем, что ждущий мультивибратор задержки включен по схеме с катодной связью, основным преимуществом которой является прямая пропорциональность между временем задержки и напряжением, управляющим этой задержкой.

Указанная линейность нарушается вначале при малых управляющих напряжениях. Поэтому в схему делителя включены сопротивления R635, R655, R634, из которых R634 регулирует начальную задержку в широких пределах, а R655 — в узких пределах. Соответственно должен быть задержан и импульс передатчика, с тем чтобы нулевое положение потенциометра R901 было согласовано с нулем шкалы точного отметчика дальности. Для этого предварительно прибегают к потенциометру задержки пусковых селекторных импульсов R673, посредством которого в селекторе пусковой импульс передатчика совмещают не с первым импульсом пускового генератора (см. фиг. 95), запускающего мультивибраторы задержки, а от последующих импульсов 2, 3, 4.

После того как нулевое положение потенциометра R901 согласуют с импульсом передатчика, задержанным на величину нелинейной области схемы задержки селекторных импульсов, необходимо совместить другое крайнее положение ползунка R901 с концом шкалы дальности точного отметчика. Для этого предназначено переменное сопротивление R636, регулирующее максимальное напряжение, которое может быть снято с потенциометра R901.

Оси переменных сопротивлений R634, R655, R636 выведены под шлиц.

Основными требованиями, предъявляемыми к схемам получения селекторных импульсов, являются их стабильность и соответствие со шкалами дальности отметчиков и с импульсом передатчика. Эти требования удовлетворяются благодаря тому, что для всех цепей общим задающим каскадом является кварцевый генератор, а также благодаря возможности независимой регулировки задержки и длительности пусковых, широких и узких селекторных импульсов.

В блоке дальности с целью экономии ламп широко используются двойные триоды 6SL7 (Л602, Л603, Л604), 6SN7 (Л607, Л608, Л609, Л610, Л611, Л612, Л613). Остальные лампы — пентоды 6SK7-GT (Л601), 6AC7 (Л606), 6AG7 (Л614) и тетрод 6L6G (Л605).

Некоторые цепи блока дальности являются промежуточными между схемами блока питания и блока отметчиков дальности. Эти цепи описаны ниже.

## **§ 8. БЛОК ОТМЕТЧИКОВ ДАЛЬНОСТИ**

**Цепи отметчиков дальности.** Блок отметчиков дальности (фиг. 97) содержит две электронно-лучевые трубки электростатической системы Л901, Л902 типа ЗДР-1 с диаметром экрана 3 дюйма; трансформаторы Тр902, Тр903, Тр904, Тр905, входящие в схему получения развертки; цепи питания электродов трубок и системы ручного и полуавтоматического сопровождения цели.

Блок отметчиков дальности соединяется с блоком дальности, блоком питания и вынесенным видеоусилителем через кабели, подключаемые к разъемам.

Из блока дальности подаются напряжения развертки, а из схемы, ограниченной пунктирными линиями, — центрирующие напряжения.



К разъемам Г907, Г909 из блока дальности подводятся соответственно широкие и узкие селекторные импульсы. К коаксиальному разъему Г910 подается напряжение —2000 в.

Напряжение на нити накала трубок 1, 14 снимается со вторичной обмотки трансформатора Тр901. Первичная обмотка трансформатора подключается к сети 115 в, 50—60 гц.

Напряжение 2000 в приложено к делителю R904—R911. Имея в виду, что плюс этого напряжения заземлен, а катоды трубок подключены к промежуточной точке делителя, можно сказать следующее: на управляющие электроды подается отрицательное напряжение, которым посредством потенциометров R910, R911 регулируется яркость; на первые аноды трубок с R909, R908, R907 снимается положительное напряжение, которое можно изменять потенциометрами R908, R907 и этим регулировать фокусировку; на второй анод подается с положительным знаком почти все напряжение 2000 в, введенное к делителю.

Для уменьшения вредного влияния емкостей кабелей, подводящих напряжения развертки, кабели в блоке дальности подключаются к понижающим трансформаторам, а в блоке отметчиков для этого используются повышающие трансформаторы Тр902, Тр903, Тр904, Тр905. Понижение напряжения на кабелях приводит к уменьшению емкостных токов в них. В целях дополнительной фильтрации высших гармоник и приближения формы напряжений развертки к синусоидальной вторичные цепи повышающих трансформаторов составлены из настроенных в резонанс колебательных контуров. Фазовые и амплитудные соотношения между напряжениями на горизонтально и вертикально отклоняющих пластинах таковы, что получается круговая развертка.

Центрирование развертки осуществляется так. В каждой паре отклоняющих пластин одна пластина заземляется через сопротивление R923, R921, R919 и R917, а другая подключается к одному из потенциометров R622, R623, R628, R629, с которых можно снять напряжение от —100 в до +100 в (напряжение +100 в получается в результате деления 400 в на R627, R626). Потенциометры центровки находятся в блоке дальности.

Из вынесенного видеоусилителя на центральные электроды трубок подаются отрицательные видеоимпульсы. Они вызывают на экранах трубок всплески светового пятна, близкие по форме к прямоугольной (см. фиг. 67). Угловая ширина всплеска на грубом отметчике 2°, а на точном отметчике около 30°. Это соотношение определяется тем, что скорость развертки на точном отметчике в 16 раз больше, чем в грубом.

По периферии экранов отметчиков расположены равномерно градуированные шкалы дальности. Для облегчения отсчета перед экранами трубок находятся прозрачные диски с визирными линиями. На диске грубого отметчика нанесена одна визирная линия, а на диске точного отметчика — две линии, которые в соответствии с угловой шириной отметки расположены под углом 30°. Отсчет дальности про-

изводят по положению визирной линии на шкале дальности, когда визирная линия совмещена с передним фронтом отметки цели.

Широкие и узкие селекторные импульсы подаются через переходные цепи С904, R914 и С905, R915 (см. фиг. 97) на управляющие электроды трубок, и так как они имеют положительную полярность, то вызывают подсвет экрана: в грубом отметчике, как было сказано, подсвечивается первый за период следования круг развертки, а в точном отметчике — небольшой участок развертки в месте расположения отметки цели и визирных линий.

Сопровождение цели по дальности. Как видно из фиг. 98, а, штурвал ручного сопровождения одновременно приводит во вращение визирные диски отметчиков, потенциометр задержки узких селекторных импульсов R901, потенциометр дальности R903 и сельсины-дачики Сл903 и Сл904, при помощи которых на ПУАЗО передаются данные о дальности, указываемые на грубом и точном отметчиках. Требуемый синхронизм между перемещением визиров достигается подбором коэффициента передачи: на один оборот визирного диска точного отметчика приходится  $1/16$  оборота визирного диска грубого отметчика.

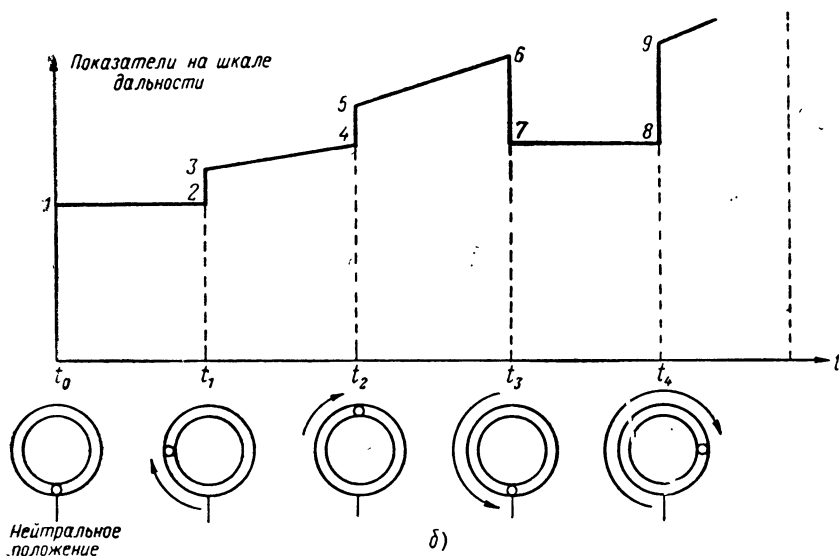
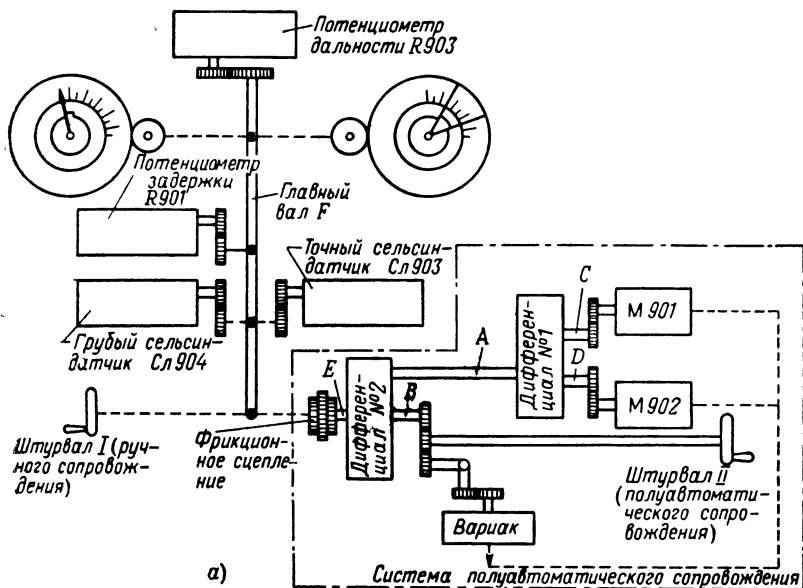
Система полуавтоматического сопровождения состоит из а) фрикционного сцепления между главным валом и системой сопровождения; б) двух электродвигателей M901 и M902, вращающих валы *С* и *Д* в противоположные стороны; в) дифференциала № 1, который сообщает валу *А* вращение, равное алгебраической сумме вращений валов *С* и *Д*; г) штурвала *II*, приводящего во вращение вал *В* и ползунок вариака; д) дифференциала № 2, который заставляет вал *Е* поворачиваться на угол, равный алгебраической сумме углов поворота валов *А* и *В*; е) вариака, регулирующего скорости вращения электродвигателей M901 и M902 за счет изменения токов в их якорях.

Положим, что в момент  $t_0$  (фиг. 98, б) штурвал полуавтоматического сопровождения *II* занимает нейтральное положение. Тогда ползунок вариака должен быть расположен так, чтобы якоря электродвигателей M901, M902 питались равными токами, а, следовательно, валы *С*, *Д* вращались с равной скоростью и вал *А* оставался неподвижным. Так как вал *В* также неподвижен, то главный вал *Е* останется без движения и показания отметчиков не изменяются (1—2).

Допустим, что в момент  $t_1$  для совмещения визира с отметкой цели штурвал *II* был повернут по часовой стрелке на  $1/4$  оборота. При этом вал *В*, а с ним и валы *Е* и *Е* поворачиваются на угол, соответствующий скачку 2—3 показаний отметчиков. Так как одновременно от штурвалов *II* ползунок вариака сместился из исходного положения, то увеличилась скорость одного электродвигателя и уменьшилась скорость другого. В результате вал *А*, а с ним и валы *Е* и *Е* приходят во вращение со скоростью, равной разности скоростей валов *С* и *Д*, вследствие чего показания отметчиков плавно возрастают по линии 3—4.

Если скорость цели не соответствует скорости перемещения визира, то штурвал *II* вновь поворачивается до совмещения визира с от-

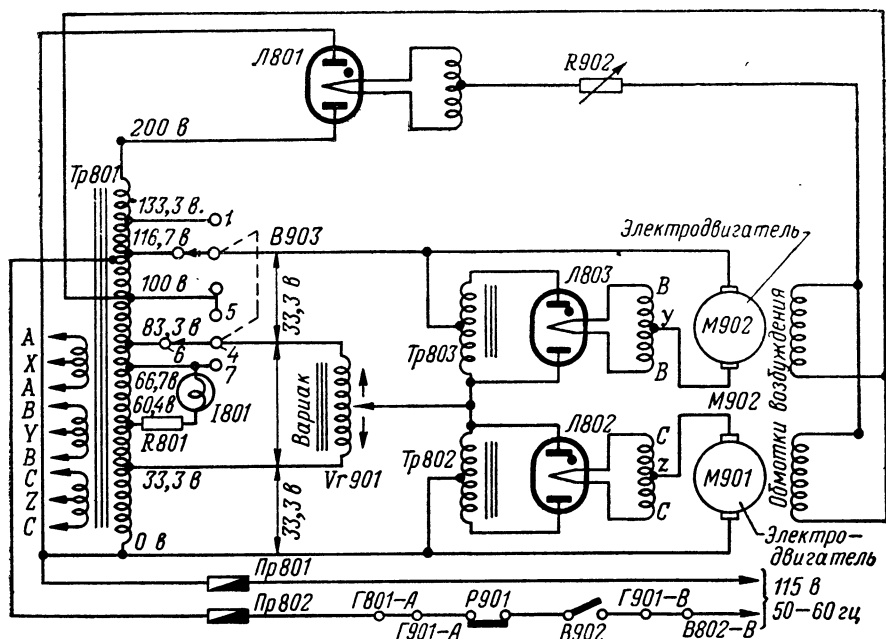
меткой цели. Пусть в момент  $t_2$  штурвал II пришлось повернуть еще на  $1/4$  оборота по часовой стрелке. Тогда в этот момент показания от-



Фиг. 98. Упрощенная кинематическая схема механической связи элементов блока отметчиков дальности.

метчиков сделали скачок 4—5, равный скачку 2—3, но так как при этом ползунок вариака отклонился в большей мере от исходного по-

Система полуавтоматического сопровождения по сравнению с ручным сопровождением имеет два преимущества: а) значительно облегчается работа оператора, так как если цель движется с посто-



Фиг. 99. Схема питания системы полуавтоматического сопровождения по дальности.

Теперь рассмотрим упрощенную схему питания системы сопровождения по дальности (фиг. 99). Здесь показаны расположенные в блоке питания силовые автотрансформаторы Тр801, Тр802, Тр803, кенотроны Л801, Л802, Л803, предохранители Пр801, Пр802 и расположенные в блоке отметчиков дальности электродвигатели М901, М902, реостат R902 («скорость двигателей»), вариак Vr901, переключатель В903 («соотношение скоростей») и тумблер В902 («двигатели дальности»).

При включенном тумблере В902 первичный источник 115 в, 50—60 гц запитывает автотрансформатор Тр801, а от него через вариак



запитываются автотрансформаторы Тр802 и Тр803. При помощи кенотрона Л801 получается постоянный ток в обмотках возбуждения обоих электродвигателей, а посредством кенотронов Л802 и Л803 создается постоянный ток в якорях электродвигателей М901 и М902.

Пусть переключатель В903 находится на контактах 2, 6, а ползунок вариака занимает среднее положение. Тогда на трансформаторы Тр802, Тр803 подаются равные напряжения, через обмотки якорей электродвигателей проходят равные токи и якоря вращаются с равной скоростью.

Если же штурвалом полуавтоматического сопровождения сместить ползунок вариака из среднего положения, то в якоре одного из электродвигателей ток окажется больше, чем в якоре другого, и соответственно скорость первого электродвигателя увеличится, а второго — уменьшится. При обратном отклонении ползунка вариака скорость первого электродвигателя уменьшится, а второго увеличится. Разность скоростей тем больше, чем больше угол поворота штурвала и отклонение ползунка вариака от среднего положения.

Переключатель В903 имеет три положения: «1», « $1/2$ », « $1/3$ ». Посредством этого переключателя производится ступенчатое изменение напряжения на вариаке, а следовательно, и ступенчатое переключение скоростей электродвигателей.

Переменное сопротивление R902, ручка которого обозначена «Скорость электродвигателей», позволяет плавно изменять скорости обоих электродвигателей путем изменения тока в обмотках возбуждения.

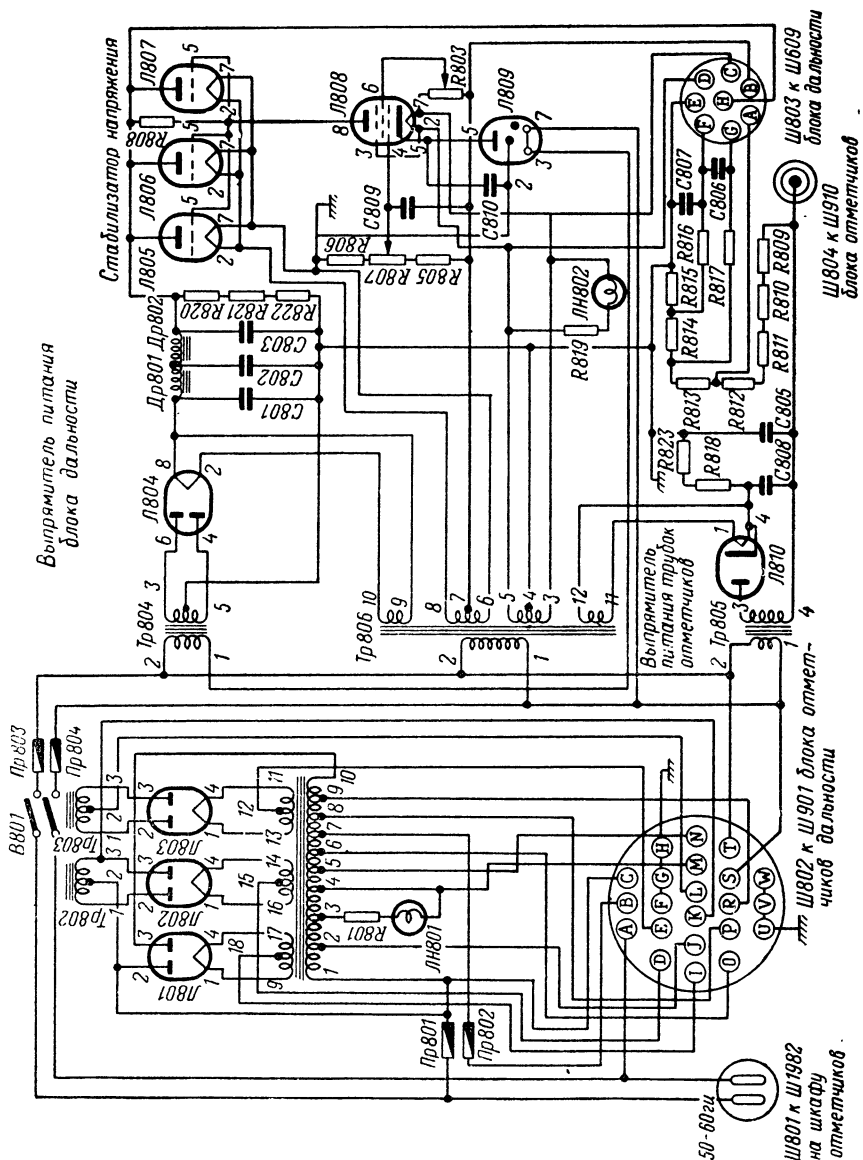
## **§ 9. БЛОК ПИТАНИЯ СИСТЕМЫ ДАЛЬНОСТИ**

В этом блоке (фиг. 100) находятся описанные выше выпрямитель питания электродвигателей системы полуавтоматического сопровождения, выпрямитель питания блока дальности и выпрямитель питания трубок отметчиков дальности.

Выпрямитель питания блока дальности выполнен по двухполупериодной схеме на кенотроне Л804 типа 5U4G. Фильтром выпрямителя служат С801, Др801, С802, Др802, С803. Сопротивления R820, R821, R822 предназначены для разряда конденсаторов фильтра после снятия нагрузки. С выхода фильтра снимается нестабилизированное напряжение +400 в, которое подается в блок дальности на потенциометры, центрирующие развертку, и на вход стабилизатора, с которого снимается 250 в стабилизированного напряжения для питания схемы блока дальности.

Стабилизатор состоит из усилителя постоянного тока на лампе Л808 типа 6SJ7-GT, стабиливольта Л809 типа VR-105-30, создающего опорное напряжение на катоде Л808, и управляющих ламп Л805, Л806, Л807 типа 6В4G.

Стабилизированное напряжение 250 в приложено к делителю R806, R807, R805. Часть этого напряжения при помощи потенциометра R807 подается на управляющую сетку Л808. Поэтому всякое увеличение напряжения на выходе схемы вызывает увеличение напряжения на сетках управляющих ламп относительно их катодов,



Фиг. 100. Схема блока питания системы дальности.

вследствие чего увеличивается сопротивление этих ламп и на выходе стабилизатора напряжение уменьшается до номинального. Величину выходного напряжения можно регулировать потенциометром R807.

На цоколе стабиливольта имеются короткозамкнутые контакты 3—7, включенные в цепь первичных обмоток трансформаторов Тр804, Тр806 и Тр805. Этим исключается появление повышенного напряжения на выходе стабилизатора при вынутом стабиливольте. О наличии напряжения на трансформаторах можно судить по загоранию сигнальной лампы ЛН802.

Высоковольтный выпрямитель выполнен по однополупериодной схеме на кенотроне Л810 типа 2Х2/879 с фильтром, состоящим из сопротивлений R818, R823, C808, C805. Такое упрощение схемы (однополупериодная, с фильтром, состоящим из элементов R, C) характерно для выпрямителей, питающих электронно-лучевые трубки. Плюс выпрямителя заземлен.

Полученное на выходе фильтра напряжение 2000 в приложено к делителю R809—R815. С R815 снимается —5 в на управляющую сетку селектора пусковых импульсов. С R815, R814 подается —13 в на экранную сетку той же лампы и на сетки ламп мультивибраторов, формирующих селекторные импульсы. Наконец, с R815, R814, R813 снимается —100 в на потенциометры центрирования развертки.

Блок питания включается тумблером В801. О включении электродвигателей дальности сигнализирует лампа ЛН1801.

## § 10. ИНДИКАТОР КРУГОВОГО ОБЗОРА

В систему кругового обзора входят: блок трубки кругового обзора, блок отметчика кругового обзора и блок питания системы.

### А. Блок трубки кругового обзора

Трубка кругового обзора Л1701 (фиг. 101) имеет магнитную систему отклонения и фокусировки луча.

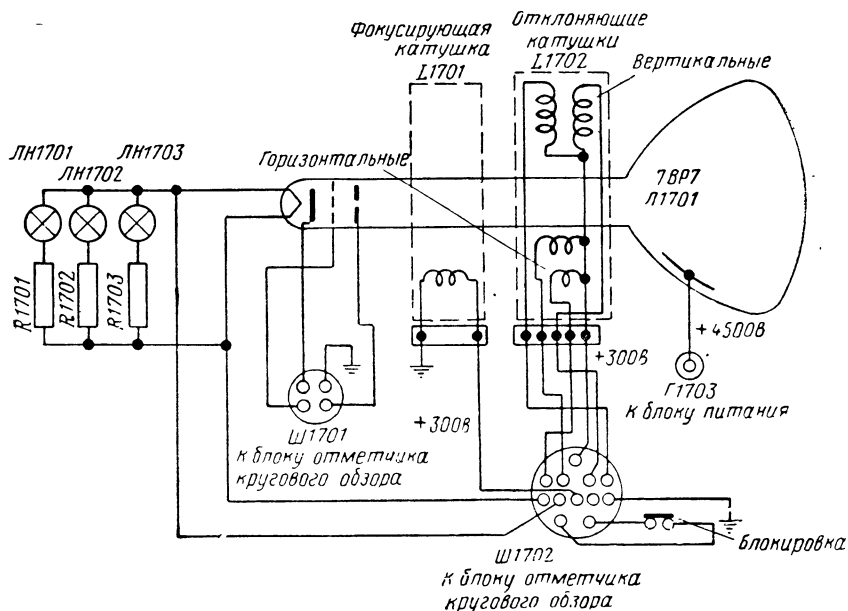
Блок трубки кругового обзора через разъемы Ш1701 и Ш1702 соединяется с блоком отметчика кругового обзора, который в свою очередь соединяется с блоком питания. Через эти соединения производится питание трубки.

На нить накала трубки и лампы подсвета азимутальной шкалы ЛН1701, ЛН1702, ЛН1703 подается 6,3 в. К катоду трубки подводится положительное (относительно земли) напряжение, которое превышает положительное напряжение на управляющем электроде в такой мере, в какой это необходимо для запираания трубки. На первый анод подается +300 в, а на второй анод, имеющий вид тонкого графитового покрытия внутри трубки (аквадага), подается +4500 в. В трубках с магнитным отклонением отпадает необходимость в заземлении плюса высоковольтного источника. Благодаря этому минус напряжения 4500 в заземлен, потенциал катода близок к потенциалу земли и видеоимпульсы передаются на катод трубки без применения высоковольтного переходного конденсатора.

Фокусирующая катушка L1701 питается от выпрямителя на 300 в.

Отклоняющая система L1702 предназначена для получения радиально-круговой развертки и состоит из двух пар катушек. Одна из них создает отклонение в горизонтальном направлении, другая — в вертикальном.

Концы отклоняющих катушек подключаются к анодам оконечных каскадов схемы развертки, а к средним точкам катушек подво-



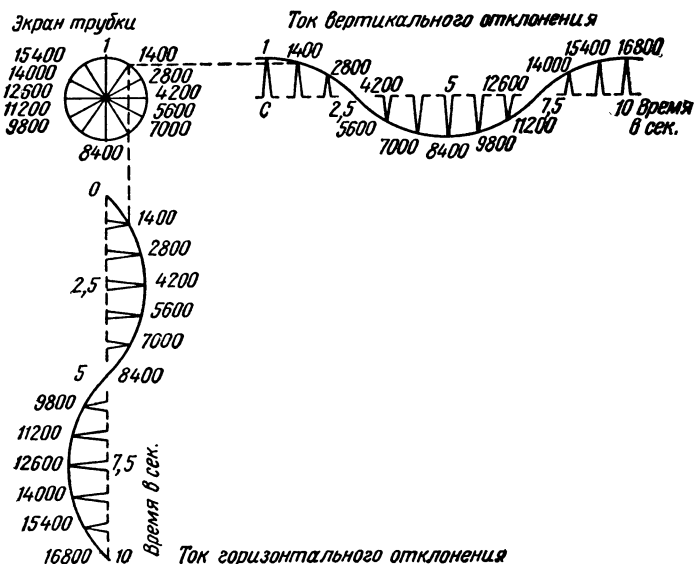
Фиг. 101. Схема блока трубки кругового обзора.

дится +300 в. Таким образом, отклоняющие катушки оказываются последовательно включенными в анодную цепь оконечных усилителей развертки.

Радиально-круговая развертка может быть получена вращением отклоняющих катушек или магнитного поля при неподвижных катушках. В данном случае используется второй метод. Сущность его заключается в том, что в отклоняющих катушках создается пилообразный ток с частотой следования импульсов передатчика, причем амплитуда тока в горизонтально отклоняющих катушках изменяется по закону синуса угла поворота антенны, а в вертикально отклоняющих катушках — по закону косинуса того же угла (фиг. 102). Благодаря пилообразной форме тока электронный луч равномерно движется по радиусу от центра экрана к его краю и обратно, а вследствие указанного изменения амплитуды токов радиальная линия развертки вращается по экрану синхронно с антенной.

Действительно, импульс *1* имеет максимальную амплитуду в вертикальных катушках и полностью отсутствует в горизонтальных. Следовательно, этот импульс создает на экране вертикальную линию развертки.

Поскольку антенна вращается со скоростью  $1/10$  об/сек, то она поворачивается на  $30^\circ$  через  $5/6$  сек. За это время в соответствии с частотой следования 1707 имп/сек получается 1400 пилообразных импульсов и такое же число линий развертки. Последний (1400-й) импульс в вертикально отклоняющих катушках имеет меньшую ам-

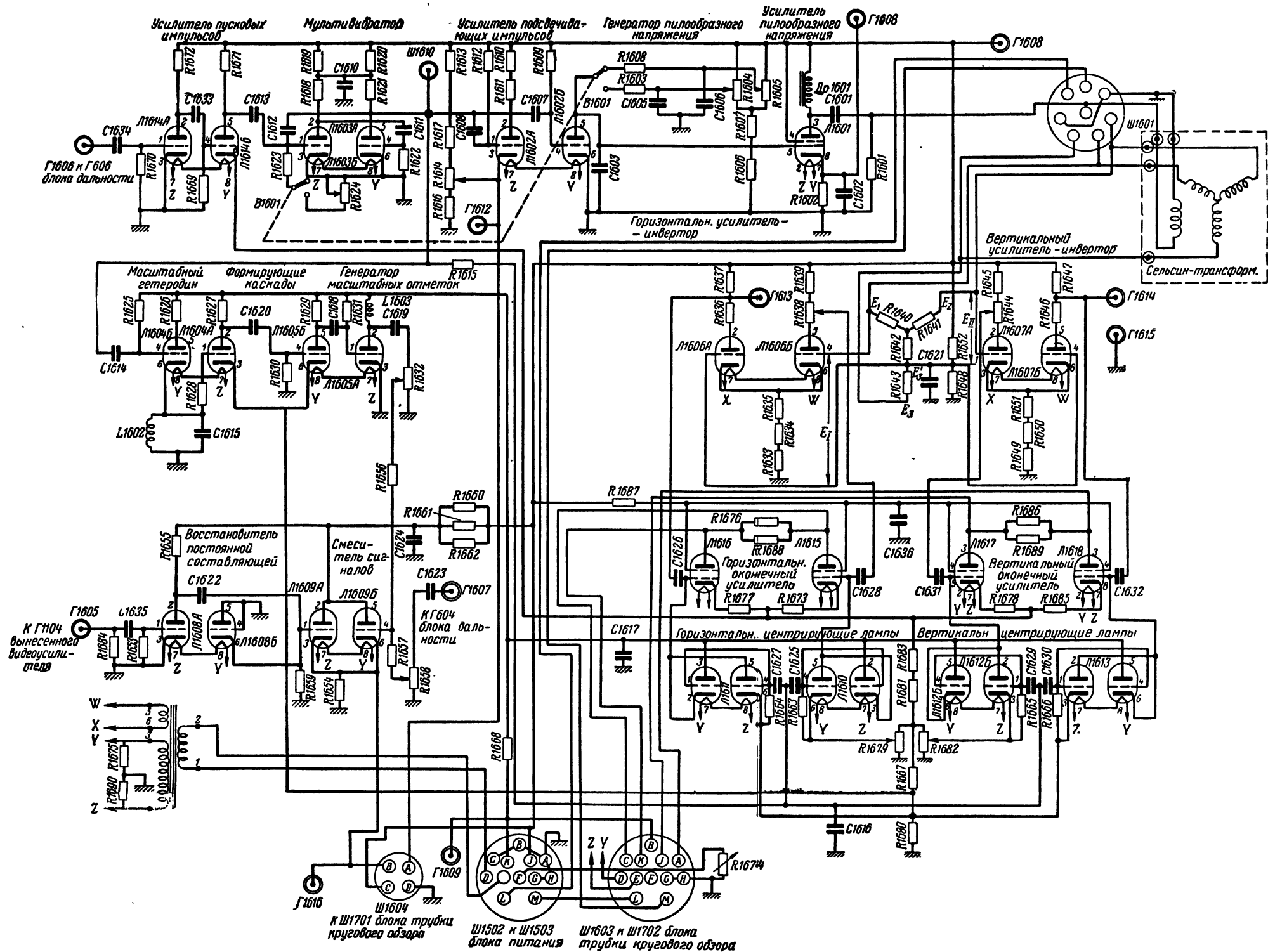


Фиг. 102. Получение радиально-круговой развертки.

плитуду, чем импульс *1*, а в горизонтально отклоняющих катушках — большую амплитуду. В результате линия развертки смещается из вертикального положения и в данном случае поворачивается на  $30^\circ$ .

Через четверть оборота антенны появляется 4200-й импульс, который имеет нулевую амплитуду в вертикально отклоняющих катушках и максимальную амплитуду — в горизонтально отклоняющих. Поэтому данный импульс создает линию развертки, повернутую относительно исходной на  $90^\circ$  и т. д. Следует заметить, что число радиальных линий на экране настолько велико и они так близко расположены друг к другу, что практически нельзя их различить.

Перед экраном трубки помещается прозрачная шкала желтого цвета, на которую нанесены азимутальные деления и центральная точка. Начало линий развертки совмещают с этой точкой. Цвет шкалы выбран с таким расчетом, чтобы хорошо наблюдалось желтое послесвечение экрана и вместе с тем яркие голубые вспышки, появляющиеся иногда на экране, поглощались диском, на который нанесена шкала.



Фиг. 103. Схема блока отметчика кругового обзора.

## Б. Блок отметчика кругового обзора

В этом блоке находятся схемы, обеспечивающие работу индикатора кругового обзора. Так как работа блока отметчика неразрывно связана с работой некоторых других блоков, то последние частично введены в принципиальную схему и для большей наглядности очерчены пунктирными линиями (фиг. 103).

Для работы ИКО требуется:

а) создать ток развертки в отклоняющих катушках трубки; эта задача разрешается каналом развертки;

б) сформировать импульсы, необходимые для получения масштабных и измерительной окружностей на экране трубки; эти импульсы вырабатываются в канале электрического масштаба;

в) получить импульсы, которые подсвечивали бы экран только во время прямого хода радиальной развертки; для этой цели служит канал засвечивающих импульсов;

г) подавать на трубку видеоимпульсы; последние усиливаются и смешиваются с масштабными и селекторными импульсами в канале сигналов;

д) синхронизировать работу всех перечисленных каналов с запуском передатчика; с этой целью из блока дальности подаются пусковые импульсы, которые соответствующим образом изменяются в канале преобразования пусковых импульсов.

Канал преобразования пусковых импульсов. В этом канале остроконечные пусковые импульсы, поступающие из блока дальности, преобразуются в прямоугольные импульсы, длительность которых равна длительности прямого хода радиальной развертки.

Канал преобразования пусковых импульсов состоит из двухкаскадного усилителя Л1614А, Л1614Б и мультивибратора Л1603А, Л1603Б.

Триод Л1614А работает при нулевом смещении, а на сетку Л1614Б с катодных сопротивлений ламп Л1615, Л1616, Л1617, Л1618 снимается смещение  $-9$  в. Отрицательные пусковые импульсы, поданные на сетку Л1614А, усиливаются лампой и с положительным знаком поступают на сетку Л1614Б. Во втором каскаде они вновь усиливаются и восстанавливают отрицательную полярность.

Мультивибратор (расширитель) включен по основной схеме. Отрицательные импульсы, снятые с анода Л1614Б, запирают триод мультивибратора Л1603А и открывают триод Л1603Б. Наступает разряд конденсатора С1612 через участок анод—катод лампы Л1603Б и сопротивление R1623; в процессе разряда отрицательное напряжение на сетке Л1603А уменьшается и через некоторое время схема возвращается в исходное состояние. При этом с анода правого триода снимаются отрицательные прямоугольные импульсы, длительность которых зависит от постоянной времени цепи разряда конденсатора С1612. Переключателем дальности В1601 в эту цепь можно дополнительно включить R1624, и тогда длительность импульса увеличивается от 220 до 440 мксек, что соответствует увеличению диапазона дальности от 31,5 до 63 км.

Параметры всей схемы мультивибратора подобраны так, что частота его собственных колебаний (100 имп/сек) меньше частоты пусковых импульсов (1707 имп/сек). Поэтому передний фронт импульсов мультивибратора задается пусковыми импульсами.

К а н а л р а з в е р т к и. В схему развертки входят генератор пилообразного напряжения Л1602Б, усилитель пилообразного напряжения Л1601, сельсин-трансформатор, расположенный в основании антенны, предварительные усилители горизонтального (Л1606) и вертикального (Л1607) отклонения, оконечные усилители развертки (Л1615, Л1616, Л1617, Л1618) и центрирующие каскады (Л1610, Л1611, Л1612, Л1613).

Во время обратного хода радиальной развертки лампа генератора Л1602Б открыта, так как сетка ее находится под положительным напряжением, подаваемым от источника +270 в через Р1609. На время прямого хода развертки лампа запирается отрицательным импульсом мультивибратора, приходящим на сетку генератора через С1607. В связи с этим конденсатор С1603 заряжается по экспоненциальному закону через сопротивление  $R1608 = 100 \text{ ком}$  (на диапазоне 31,5 км) или  $R1603 = 180 \text{ ком}$  (на диапазоне 63 км). Напряжение, вызывающее ток заряда, снимается с делителя Р1604, Р1605, Р1607, Р1606. Величина этого напряжения регулируется на диапазоне 31,5 км потенциометром Р1605, а на диапазоне 63 км — потенциометром Р1604 с таким расчетом, чтобы развертка на каждом диапазоне дальности почти полностью охватывала экран трубки. Постоянная времени цепи заряда конденсатора С1603 значительно больше длительности импульсов расширителя, а поэтому для развертки используется только начальный (линейный) участок экспоненты.

Конденсаторы С1605, С1606 входят в фильтр анодной цепи генератора.

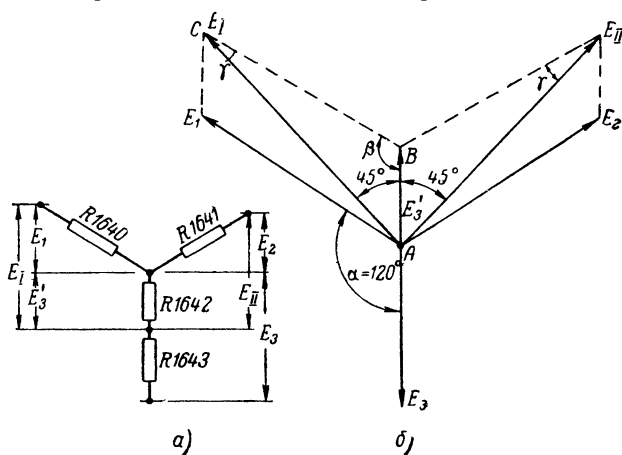
По окончании импульса мультивибратора лампа генератора открывается и конденсатор С1603 разряжается через нее. Происходит обратный ход развертки.

Снятые с конденсатора С1603 пилообразные импульсы положительной полярности усиливаются лампой Л1601 и в отрицательной полярности передаются от нагрузки усилителя — дросселя Др1601 — через цепь С1601, Р1601 на ротор сельсина-трансформатора. В сельсине и соединительном кабеле составляющие вышних частот ослабляются, и для того, чтобы компенсировать это ослабление, конденсатор С1602, блокирующий катодное сопротивление, имеет сравнительно малую величину (0,01 мкф). По мере увеличения частоты емкостное сопротивление конденсатора, а соответственно и напряжение отрицательной обратной связи, снимаемое с Р1602, С1602, уменьшается, а коэффициент усиления каскада увеличивается.

Ротор сельсина-трансформатора связан с осью вращения антенны передачей 1 : 1. На статоре сельсина-трансформатора расположены три обмотки под углом 120°. Поэтому ток ротора сельсина индуцирует в статорных обмотках сельсина аналогичные пилообразные импульсы, но они модулированы по амплитуде с частотой вращения антенны (0,1 гц) и сдвинуты по фазе на 120°.



Из полученного трехфазного напряжения  $E_1, E_2, E_3$  (фиг. 104, 103) требуется получить двухфазное напряжение  $E_I, E_{II}$  с взаимным сдвигом на  $90^\circ$ . Для этой цели статорные обмотки сельсина подключают к сопротивлениям R1640, R1641, R1642, R1643, причем вход двухтактного усилителя горизонтального отклонения Л1606, на который должно быть подано напряжение  $E_I$ , соединяют с сопротивлениями R1640, R1642, а вход аналогичного усилителя вертикального отклонения Л1607, на который должно быть подано напряжение  $E_{II}$ , соединяют с R1641, R1642. При этих условиях можно считать, что  $E_I$  равно сумме напряжений  $E_1$  и  $E'_3$ , из которых последнее снимается



Фиг. 104. Векторная диаграмма, иллюстрирующая получение напряжений горизонтального и вертикального отклонения в ИКО.

с сопротивления R1642. Стало быть,  $E'_3$  составляет какую-то часть от напряжения  $E_3$  и направлено ему навстречу, а  $E_{II}$  равно сумме напряжений  $E_2$  и  $E'_3$ .

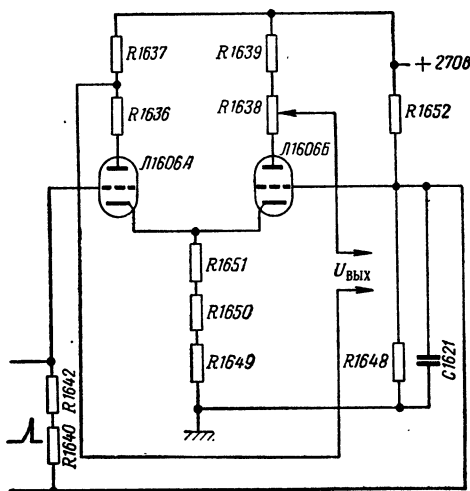
На векторной диаграмме угол  $\alpha = 120^\circ$ , как угол между векторами напряжений, снимаемых со статорных обмоток сельсина-трансформатора. В таком случае  $\beta = 120^\circ$ , поскольку углы  $\alpha$  и  $\beta$  равны как соответственные при параллельных прямых. Для того чтобы напряжения  $E_I$  и  $E_{II}$  были сдвинуты по фазе на  $90^\circ$ , угол  $BAC$  должен быть равен  $45^\circ$ , но так как сумма внутренних углов треугольника  $ABC$  равна  $180^\circ$ , то угол  $\gamma = 180^\circ - (\beta + 45^\circ) = 180 - 165 = 15^\circ$ . Отсюда находим, что напряжение  $E'_3$  должно приблизительно составлять одну треть от  $E_3$ . Это соотношение устанавливается подбором сопротивлений R1642 и R1643.

Горизонтальный усилитель напряжения развертки аналогичен вертикальному. Обратимся к одному из них (фиг. 105). Оба триода усилителя имеют анодную и общую катодную нагрузку. За счет последней создается глубокая отрицательная обратная связь, способствующая уменьшению искажений. С делителя R1652, R1648 снимается постоянное напряжение порядка 150 в, которое со знаком

плюс подается на сетки ламп. В интервале между импульсами через анодную цепь каждой лампы проходит ток около 3 ма, который на катодных сопротивлениях создает падение напряжения свыше 150 в, и так как это напряжение приложено к сеткам со знаком минус, то исходная рабочая точка ламп находится на линейном участке характеристики в области отрицательных напряжений на сетке.

Пилообразные импульсы, снятые с сопротивлений R1642, R1640 на сетку Л1606А, повторяются с той же фазой на катодах ламп и с сопротивлений R1651, R1650, R1649 подаются на сетку Л1606Б в обратной фазе. Благодаря этому выходные импульсы, снимаемые с сопротивлений анодных цепей R1637, R1639 и R1638, изменяются в противофазе. Потенциометром R1638 добиваются уравнивания амплитуд этих импульсов, признаком чего является правильная форма масштабных окружностей.

Оконечные усилители горизонтального и вертикального отклонения, как и предварительные усилители, включены по двухтактной схеме. Катоды ламп Л1615, Л1616, Л1617, Л1618 (см. фиг. 103) находятся под положительным напряжением относительно земли, которое создается за счет катодного тока, проходящего через сопротивления R1677, R1673, R1678, R1685, R1683, R1681, R1667, R1679, R1682, R1680. Все эти сопротивления не блокированы конденсатором, чтобы получить обратную связь, понижающую искажения.



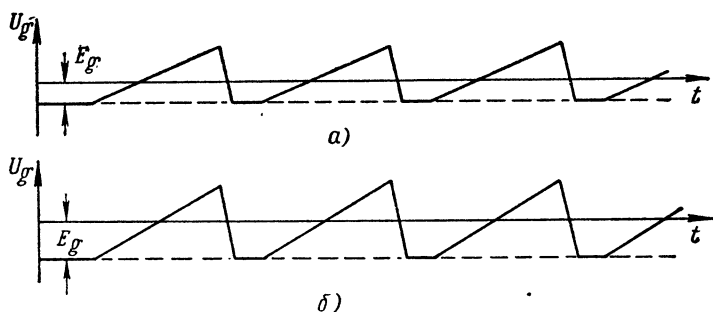
Фиг. 105. Схема усилителя напряжения горизонтального отклонения.

Нагрузкой усилителей служат отклоняющие катушки, к средней точке которых подводится «+300 в». Поэтому через обе половины любой отклоняющей катушки анодный ток проходит в противоположных направлениях. В интервале между импульсами токи в обеих секциях катушки равны и сердечник отклоняющей катушки не намагничивается. При наличии импульсов на входе усилителя благодаря двухтактному возбуждению его анодный ток одной лампы увеличивается, а другой лампы уменьшается, и поскольку эти токи в отклоняющей катушке направлены навстречу, то получается двойной эффект изменения магнитного поля в сердечнике катушки и соответствующее отклонение электронного пучка.

Индуктивность отклоняющих катушек в совокупности с их емкостью образуют колебательные контуры. Для того чтобы избежать паразитных колебаний в этих контурах, их шунтируют сопротивлениями R1676, R1688, R1686, R1689.

Пилообразные импульсы подаются на сетки оконечных усилителей развертки через разделительные конденсаторы. При прохождении импульсов конденсаторы заряжаются, а в интервалах между импульсами частично разряжаются. Чем больше амплитуда пилообразных импульсов, поступающих на вход оконечных усилителей развертки, тем больше ток заряда разделительных конденсаторов и больше остаточное напряжение на них к концу разряда. В связи с этим увеличивается отрицательное смещение  $E_g$  на управляющих сетках оконечных усилителей (фиг. 106).

В данном случае амплитуда пилообразных импульсов изменяется синхронно с вращением антенны. Следовательно, в зависимости от азимутального положения антенны напряжения на сетках оконечного усилителя к началу очередного импульса развертки имеют различную величину, в результате чего развертка может начаться несвоевременно или не с центра экрана. Поэтому в канал развертки



Фиг. 106. Изменение напряжения на управляющей сетке усилителя развертки при малой (а) и большой (б) амплитуде пилообразных импульсов на входе.

вводятся фиксирующие схемы. Одна из них, работающая на двойном триоде Л1611, показана на фиг. 107. Пилообразные импульсы поступают на сетку оконечного усилителя через конденсатор С1626. Эта сетка подключается к катоду триода Л1611А и аноду триода Л1611Б. Анод первого триода находится под постоянным напряжением  $+140$  в, поданным от выпрямителя  $300$  в через фильтр R1668, С1617. Катод Л1611Б находится под напряжением  $+7$  в, снятым с сопротивления R1680, которое ( $+7$  в) на фиг. 107 не показано.

На время прямого хода развертки фиксирующие лампы запираются отрицательным импульсом  $90$  в, поступающим с расширителя пусковых импульсов на сетки ламп Л1611А, Л1611Б. В это время ничто не препятствует нарастанию напряжения на сетке оконечного усилителя в соответствии с пилообразными импульсами на входе схемы.

Во время обратного хода развертки фиксирующие лампы открываются и анодный ток этих ламп замыкается в направлениях, показанных стрелками ( $\rightarrow$ ). К началу развертки токи обеих ламп должны быть равны, а на сетке усилителя и на конденсаторе С1626 должно установиться напряжение  $14$  в. В таком случае анодное нап-

ражение в Л1611А  $U_a = 140 - 14 = 126$  в, а в Л1611Б  $U_a = 14 - 7 = 7$  в; несмотря на неравенство анодных напряжений, токи в фиксирующих триодах равны, так как сеточное напряжение (относительно катода) в Л1611А равно  $U_g = 7 - 14 = -7$  в, а в Л1611Б  $U_g = 7 - 7 = 0$  в.

Положим, что пилообразный импульс изменил напряжение на конденсаторе С1626 до 16 в и соответственно напряжение на сетке усилителя увеличилось до +16 в. Тогда в триоде Л1611Б  $U_a$  увеличилось на 2 в, а в триоде Л1611А  $U_a$  и  $U_g$  уменьшились на 2 в. В связи с этим анодный ток в Л1611Б увеличился, а в Л1611А — уменьшился. Приращение анодного тока триода Л1611Б можно рассматривать как результат замыкания через этот триод разрядного тока конденсатора С1626 (направление тока показано стрелкой —→). Разряд происходит до тех пор, пока напряжение на С1626 и сетке

усилителя не установится равным 14 в и анодные токи ламп не уравниваются.

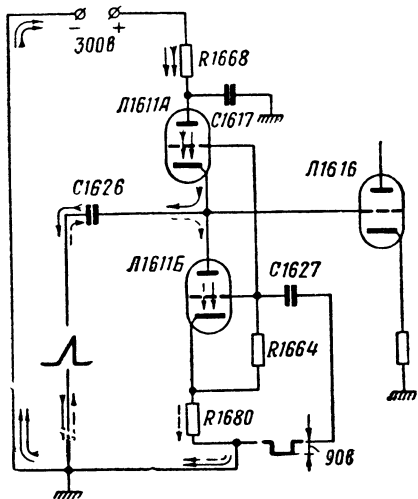
Если же по окончании импульса напряжение на конденсаторе С1626 и сетке Л1616 окажется меньше 14 в, то анодное и сеточное напряжения и анодный ток Л1611А увеличатся, а анодное напряжение и анодный ток триода Л1611Б уменьшатся. В таком случае приращение анодного тока Л1611А пойдет на дополнительный заряд конденсатора С1626 в направлении, указанном стрелкой >—→. Заряд закончится, когда установится равенство анодных токов ламп.

Таким образом, к началу прямого хода развертки на сетках оконечного усилителя всегда устанавливается напряжение +14 в, что и требуется для центрирования

развертки. Следует заметить, что напряжения на катодах ламп оконечных усилителей превышают +14 в, а поэтому лампы усилителей работают без сеточных токов.

Электрический масштаб создается с помощью генератора с ударным возбуждением Л1604Б, формирующих каскадов Л1604А, Л1605Б и генератора масштабных пиков Л1605А. Принципиальная схема канала показана на фиг. 103, а эпюры напряжений в этой схеме изображены на фиг. 108.

Генератор с ударным возбуждением Л1604Б содержит в катодной цепи колебательный контур Л1602, С1615. В интервале между прямым ходом развертки благодаря сопротивлению R1625, включенному между сеткой и плюсом источника, лампа гетеродина открыта, анодный ток ее имеет постоянную величину и напряжение на катоде



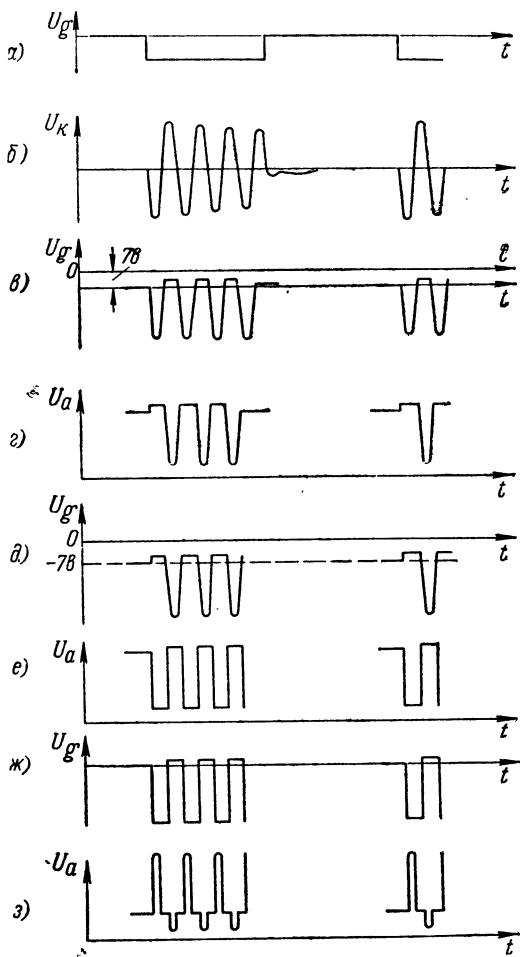
Фиг. 107. Схема фиксации начального напряжения на сетке одной из ламп оконечного усилителя развертки.

равно нулю. На время прямого хода развертки отрицательным импульсом расширителя лампа запирается (фиг. 108, а) и в контуре возбуждаются собственные колебания. За счет потерь, происходящих в контуре и в сеточной цепи следующего каскада, эти колебания приобретают затухающий характер (фиг. 108, б).

На сетке Л1604А полученные колебания ограничиваются сверху (фиг. 108, в). Ограничению положительной полуволны способствует сопротивление R1628, на котором входное напряжение почти полностью выделяется при наличии сеточных токов. Анодное напряжение в Л1604А обратно по фазе (фиг. 108, г) и в таком же виде подается на сетку Л1605Б (фиг. 108, д). При построении эюр учтено, что катоды Л1604А и Л1605Б находятся под напряжением  $+7$  в.

Следующий каскад Л1605Б — ограничитель-усилитель. Здесь двустороннее ограничение импульсов: снизу — за счет отсечки анодного тока и сверху — за счет перераспределения катодного тока (фиг. 108, е, ж).

Последний каскад — генератор масштабных отметок Л1605А — в качестве нагрузки содержит дроссель L1603. В исходном состоянии благодаря подключению сопротивления утечки R1631 к  $+140$  в анодный ток лампы имеет большую величину. Когда напряжение на сетке Л1605А резко уменьшается, анодный ток также резко понижается, а э. д. с. самоиндукции в дросселе, которая всегда препятствует происходящему изменению тока, создает большой положительный пик напряжения. Увеличение сеточного напряжения влечет за собой появление на выходе отрицательных импульсов, но значительно меньшей амплитуды.



Фиг. 108. Временные диаграммы напряжений в схеме электрического масштаба.

Полученные импульсы через С1619, R1632 подаются в смеситель, а от него на управляющий электрод трубки. Положительные пики вызывают яркое свечение экрана, и так как эти импульсы возникают через равные интервалы времени после пускового импульса, то вспышки экрана происходят на равных расстояниях от начала радиальной линии развертки. Следовательно, в процессе вращения антенны, а с ней и линии развертки масштабные отметки приобретают форму окружности.

Частота колебаний гетеродина равна 16,4 кГц, что соответствует периоду 61 мксек и измеряемому расстоянию 9 км.

В канал сигналов входят инвертор сигналов Л1608А, восстановитель постоянной составляющей Л1608Б и смеситель сигналов Л1609 (см. фиг. 103).

На сетку инвертора с вынесенного видеоусилителя приходят отрицательные видеоимпульсы. Они усиливаются лампой и с положительной полярностью через цепь С1622, R1659 подаются на сетку смесителя Л1609А. При этом видеоимпульсы теряют свою постоянную составляющую.

Дело в том, что пульсирующее напряжение, имеющееся на аноде Л1608А, содержит постоянную составляющую, которая остается на конденсаторе С1622, и переменную составляющую, которая приложена к сопротивлению R1659, а следовательно, и к сетке Л1609А. При изменении частоты следования и амплитуды видеоимпульсов их постоянная составляющая также изменяется, и если бы не было восстановителя постоянной составляющей, то начальное напряжение на сетке за счет конденсатора С1622 стало бы отрицательным и непостоянным.

От исходной величины видеоимпульсов зависят уровень шумов и фон, который они создают на экране. Если этот уровень постоянный, то легче обнаружить слабые сигналы, а если исходный уровень понижается и изменяется, как в данном случае, то слабые сигналы уже не создают достаточно четкой отметки на экране.

В описываемой схеме восстановитель постоянной составляющей в интервале между импульсами полностью разряжает конденсатор С1622, делая начальное напряжение на сетке Л1609А не зависимым от постоянной составляющей входного сигнала.

В качестве восстановителя постоянной составляющей используется триод Л1608Б, включенный диодом. Если конденсатор С1622 после прохождения импульса зарядится, вследствие чего напряжение на сетке Л1609А станет отрицательным относительно земли, то диод станет проводящим и конденсатор через него разрядится по цепи левая обкладка С1622, анод—катод Л1608А, земля, анод—катод Л1608Б, правая обкладка С1622. Сопротивление диода мало, а поэтому разряд происходит быстро и в отсутствии видеоимпульсов на сетке Л1609А неизменно поддерживается нулевое напряжение. Если бы не было диода, то разряд конденсатора происходил бы через большое сопротивление утечки R1659, вследствие чего при сильных видеоимпульсах разряд был бы неполным, а начальное напряжение на сетке смесителя стало бы отрицательным и непостоянным.

На правый триод смесителя Л1609Б подаются масштабные импульсы и через разъем Г1607 — селекторные импульсы. Оба триода имеют общую катодную нагрузку R1654, на которой выделяются видеоимпульсы, масштабные и селекторные импульсы. Все они имеют такую же (положительную) полярность, как и на входе, а поэтому, следуя через разъем Ш1604 и кабель на управляющий электрод трубки, они вызывают яркостную отметку на ее экране. Яркость масштабных колец регулируется потенциометром R1632, а амплитуда селекторных импульсов — потенциометром R1658.

Селекторные импульсы создают на экране измерительное кольцо, которое совпадает с отметкой цели, выделенной для наблюдения или сопровождения. Дальность этой цели на ИКО определяется по расположению измерительного кольца относительно масштабных колец.

К а н а л п о д с в е ч и в а ю щ и х и м п у л ь с о в содержит один каскад с катодной нагрузкой, работающий на триоде Л1602А. Катод лампы соединяется с катодом трубки индикатора и находится под положительным напряжением, снимаемым с делителя R1613, R1617, R1614, R1616, подключенного к источнику постоянного напряжения 270 в.

Во время обратного хода развертки лампа Л1602А открыта, так как сетка ее через R1612 подключается к +270 в. Анодный ток лампы создает на катодной нагрузке (R1616 и части R1614) дополнительное падение напряжения, за счет которого увеличивается потенциал катода трубки и последняя запирается.

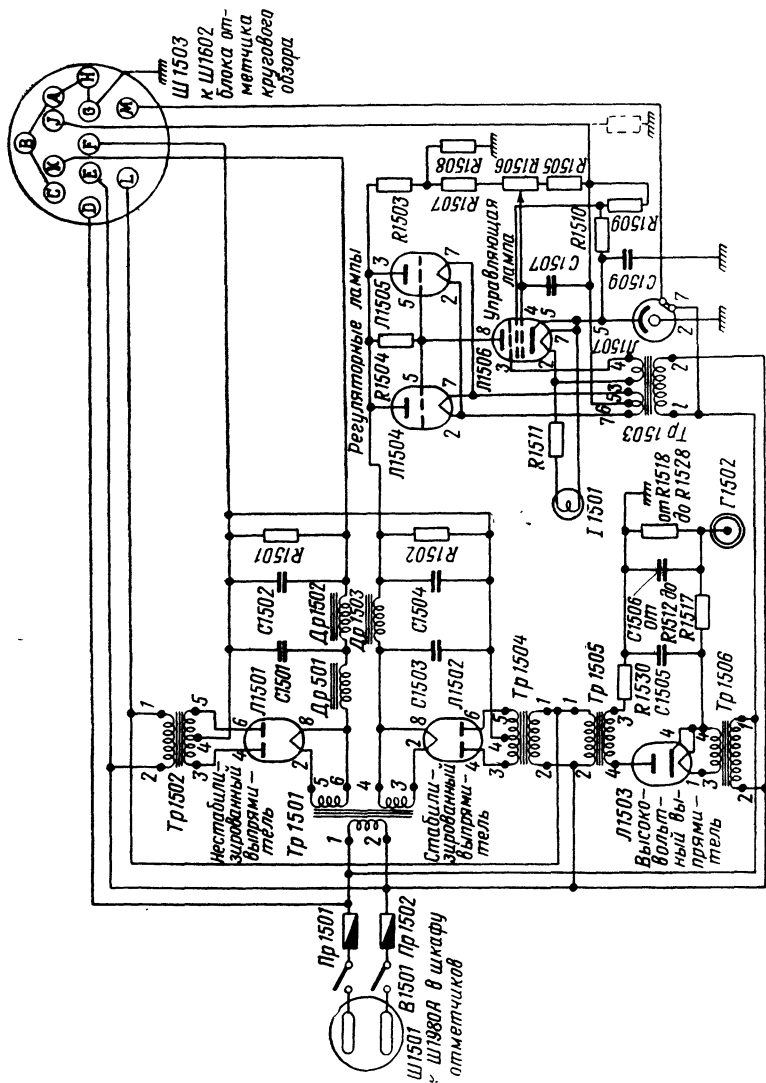
На время прямого хода развертки расширитель импульсов отрицательным импульсом, поданным через С1608, запирает лампу подсвета, в результате чего потенциал катода трубки понижается до исходной величины и на экран трубки падает электронный пучок. Потенциометр R1614 позволяет регулировать яркость линии развертки при открытой трубке и запирающий потенциал катода при запертой трубке.

## **В. Блок питания системы кругового обзора**

Блок питания включается тумблером В1501 (фиг. 109). Этим первичная сеть подключается к блоку, который содержит три выпрямителя: на 4500 в для питания второго анода трубки; на 300 в для питания ламп оконечных усилителей развертки, фиксирующей схемы, канала электрического масштаба и фокусирующей катушки; на 270 в стабилизированного напряжения — для питания остальных каскадов системы.

В ы п р я м и т е л ь на 4500 в включен по однополупериодной схеме на кенотроне Л1503 типа 2Х2 и содержит накальный трансформатор Тр1506, повышающий трансформатор Тр1505 и двухзвенный фильтр из активных сопротивлений и емкостей. Сопротивление R1530 служит одновременно для ограничения тока кенотрона.

В ы п р я м и т е л ь на 300 в работает по двухполупериодной схеме и содержит кенотрон Л1501 типа 5У4Г, трансформаторы Тр1501, Тр1502 и двухзвенный фильтр Др501, С1501, Др1502, С1502.



Фиг. 109. Схема блока питания системы кругового обзора.



Стабилизированный выпрямитель на 270 в состоит из двуханодного кенотрона Л1502 типа 5U4G, трансформаторов Тр1501 и Тр1504, фильтра С1503, Др1503, С1504 и стабилизатора напряжения. В этой схеме параллельно включенные триоды Л1504, Л1505 типа 6В4G последовательно соединяются с нагрузкой (показанной пунктирными линиями). Пентод Л1506 типа 6SJ7-GT служит усилителем постоянного тока, стабилизатор Л1507 типа VR-105-30 фиксирует на катоде усилителя напряжение 105 в. Напряжение на экранную сетку усилителя снимается с делителя R1509, R1510, а на управляющую сетку — с делителя R1505, R1506, R1507, R1508.

Работа схемы стабилизатора существенно не отличается от ранее описанных. Следует лишь добавить о назначении сопротивления R1503, включенного между входом стабилизатора и делителем напряжения, благодаря чему изменение напряжения не только на выходе, но и на входе стабилизатора воздействует на усилитель постоянного тока. В результате увеличивается эффективность схемы стабилизации напряжения.

## § 11. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ АНТЕННОЙ

Упрощенная блок-схема системы автоматического сопровождения по направлению показана на фиг. 60. Уточним эту схему.

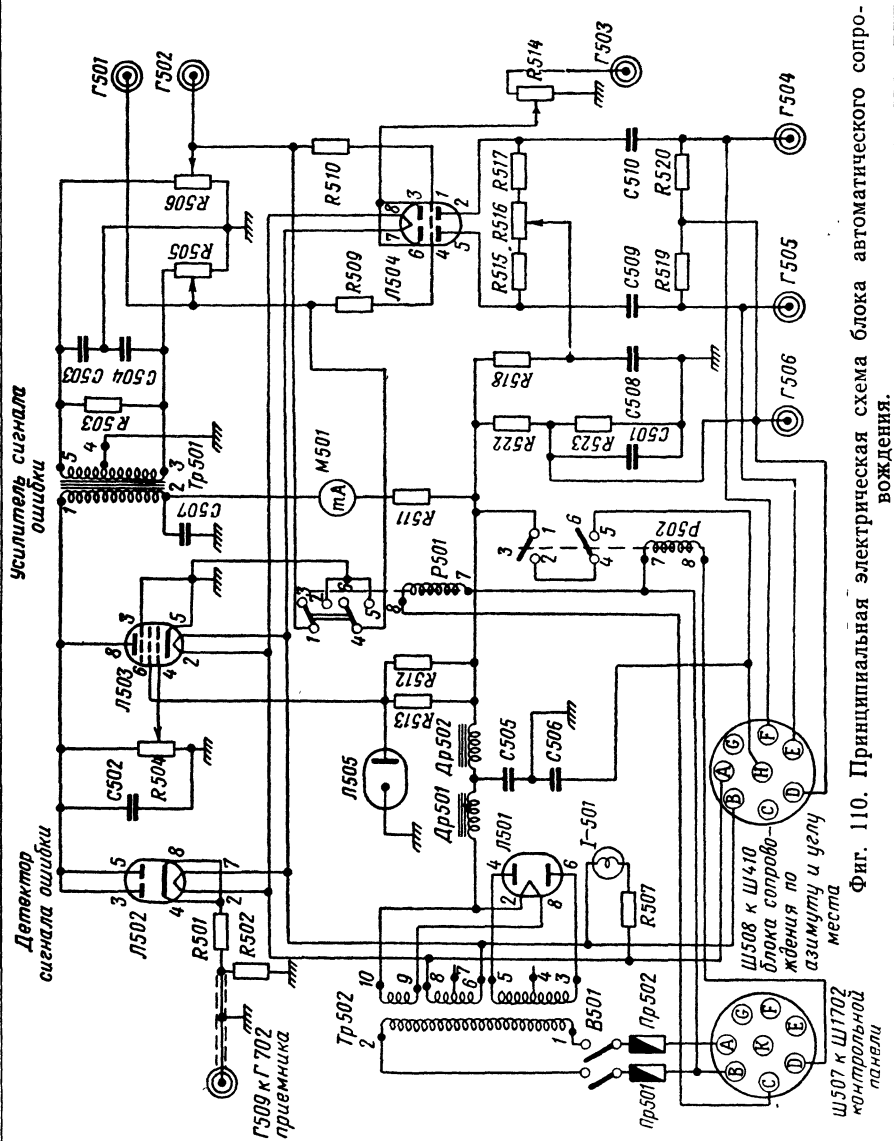
Преобразование эхо-импульсов в сигнал ошибки происходит в блоке автоматического сопровождения, состоящем из детектора сигнала ошибки, усилителя сигнала ошибки, балансного усилителя и выпрямителя. Затем сигнал ошибки совместно с опорными напряжениями поступает в блок сопровождения по азимуту и углу места, где они преобразуются в управляющие напряжения постоянного тока. Эти напряжения усиливаются в амплитудных усилителях, которые управляют последним звеном системы — двигателями вращения антенны по азимуту и наклона по углу места.

Рассмотрим все блоки и элементы системы управления антенной.

### А. Блок автоматического сопровождения

Отрицательные видеоимпульсы через коаксиальный кабель, соединяющий приемник с блоком автоматического сопровождения (фиг. 110), подаются на сопротивление R502, а с него — на диод Л502 типа 6Н6, выполняющий функции детектора сигнала ошибки. Нагрузкой детектора служит потенциометр R504, блокированный конденсатором С502. При наличии импульсов происходит заряд конденсатора по цепи анод—катод диода, R501, R502, земля, С502. В интервалах между импульсами конденсатор медленно разряжается через большое сопротивление R504 = 1 Мом. Благодаря тому, что конденсатор не успевает полностью разрядиться, напряжение на нем изменяется в соответствии с огибающей видеоимпульсов.

Полученное на выходе детектора напряжение называется сигналом ошибки. Оно имеет на сопротивлении R504 отрицательную по-



Фиг. 110. Принципиальная электрическая схема блока автоматического сопровождения.

лярность. Напомним, что огибающая сигнала ошибки представляет синусоидальное напряжение частотой 30 гц.

Усилитель сигнала ошибки выполнен на пентоде Л503 типа 6SK7-GT. Сигнал ошибки подается на сетку усилителя непосредственно, без разделительного конденсатора, в отрицательной полярности. Благодаря этому смещение на сетке создается за счет среднего значения выходного напряжения детектора и таким образом осуществляется автоматическая регулировка усиления. Если сигнал ошибки малый, то его постоянная составляющая, а следовательно, и отрицательное смещение на сетке усилителя невелики, а коэффициент усиления каскада большой. Наоборот, при большой интенсивности сигнала ошибки усиление каскада мало. В результате амплитуда переменной составляющей анодного тока усилителя оказывается независимой от интенсивности сигнала ошибки и определяется исключительно глубиной модуляции сигнала.

Нагрузкой усилителя является трансформатор Тр501, вторичная обмотка которого с конденсаторами С503, С504 образует колебательный контур, настроенный на частоту 30 гц. В связи с этим на выходе усилителя получается чисто синусоидальное напряжение данной частоты.

При прохождении сигнала в детекторе и усилителе получается некоторый сдвиг по фазе.

Балансный усилитель работает на двойном триоде Л504 типа 6SN7. Возбуждение на сетки усилителя подается в противофазе. Амплитуда возбуждения, а стало быть, и выходное напряжение блока регулируются двоянным потенциометром R505, R506. В целях ограничения сеточного тока в схему включены сопротивления R509 и R510. Нагрузкой усилителя служат сопротивления R515, R516, R517, из которых R516 является, кроме того, балансным: оно позволяет путем регулировки точки подключения источника питания к нагрузке устанавливать симметрию схемы. Смещение на сетки усилителя снимается с регулируемого сопротивления R514.

На выходе схемы получаются два синусоидальных напряжения с частотой 30 гц, сдвинутых по фазе на 180°.

Реле «Движение по инерции». При эксплуатации станции может оказаться, что вблизи сопровождаемого самолета находится другой самолет, который создает ложный сигнал ошибки. В таких случаях нажимают соответствующую кнопку на панели управления антенной и этим замыкают реле Р501. Тогда происходит соединение контактов 1—2, 4—5, и сетки ламп балансного усилителя закорачиваются на землю. Сигнал ошибки исчезает, и в течение 4 сек. антенна движется в том же направлении, что и до появления мешающего самолета. Этого обычно достаточно, чтобы мешающий приему самолет оказался вне облучения антенны.

Источник питания. Находящийся в блоке автоматического сопровождения выпрямитель питает не только этот блок, но и блок сопровождения по азимуту и углу места. Выпрямитель включен по двухполупериодной схеме на кенотроне Л501 типа 5U4G.

Фильтром выпрямителя служат элементы Др501, С505, Др502, С506.

На аноды Л504 питание подается через фильтр R518, С508. Напряжение на экранную сетку Л503 снимается со стабилизольта Л505 типа VR-105-30. Сопротивления R512, R513 — балластные в цепи стабилизольта. Делитель напряжения R522, R523 используется для подачи 75 в в блок сопровождения по азимуту и углу места.

Выпрямитель включается выключателем В501. Для контроля включения предусмотрена сигнальная лампа I-501.

В схеме имеется блокировочное реле Р502. Оно питается от сети 115 в и включается только при замкнутых блокировочных контактах, установленных на подъемнике антенны, в основании антенны и в других блоках. При включении реле через его контакты 1—2, 4—5 плюс выпрямленного напряжения подается на блок сопровождения по азимуту и углу места.

Размыкание реле Р502 обеспечивает безопасность работы на основании антенны, ибо при этом прекращается вращение антенны.

### **Б. Блок сопровождения по азимуту и углу места**

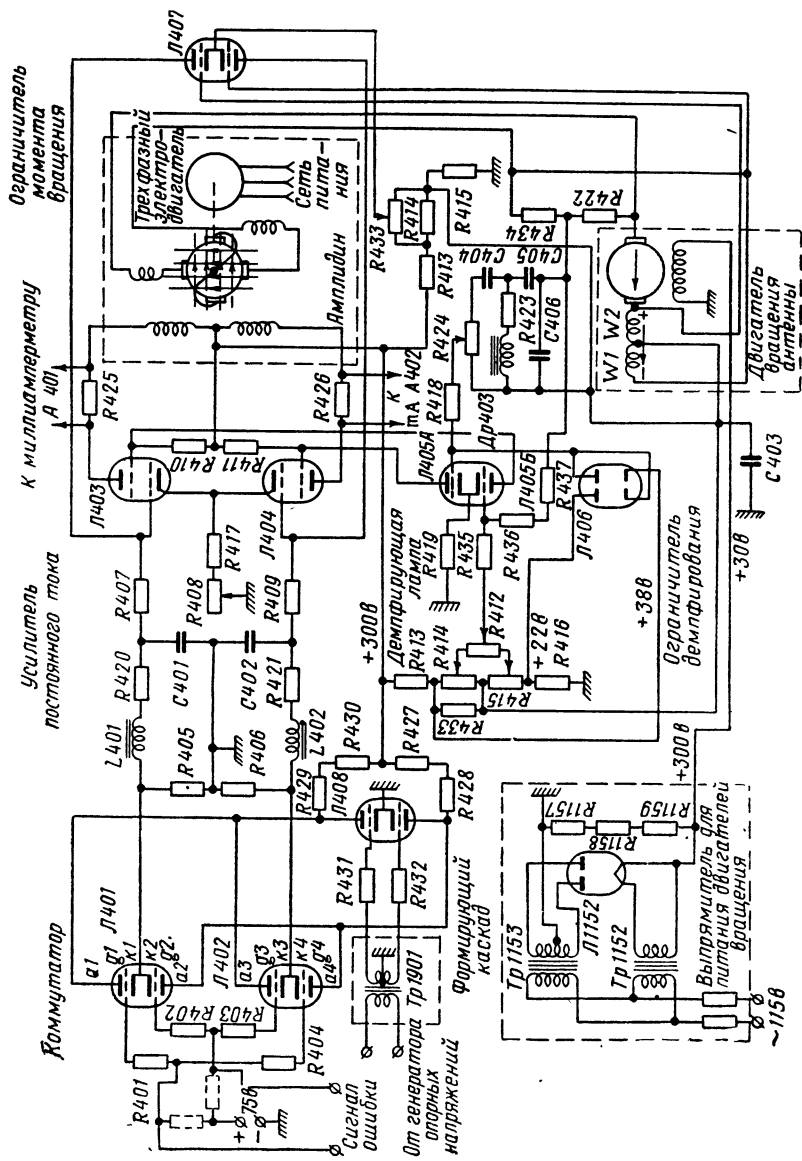
В случае автоматического сопровождения сигнал ошибки получается в блоке автоматического сопровождения, а опорные напряжения—в генераторе, приводимом во вращение тем же электродвигателем, который вращает облучатель антенны. Благодаря этому, как было сказано, частота опорных напряжений и сигнала ошибки одинакова и равна 30 гц.

Одно из опорных напряжений подается на канал азимута, а другое, со сдвигом по фазе на 90° — на канал угла места. Оба канала, составляющие блок сопровождения, совершенно одинаковы. Поэтому ограничимся рассмотрением канала азимута (фиг. 111).

Первыми каскадами канала являются азимутальный формирующий каскад, выполненный на двойном триоде Л408 типа 6SN7, и азимутальный коммутатор (фазовый детектор), выполненный на двух лампах Л401 и Л402 того же типа.

Опорное напряжение от генератора посредством трансформатора Тр1901 передается на сетки формирующего каскада. Так как средняя точка вторичной обмотки трансформатора соединяется с заземленным катодом, то напряжения на сетках лампы изменяются в противофазе.

Нагрузкой каскада служат сопротивления R427, R428, R429, R430. Амплитуда входного напряжения настолько велика (200 в), что в каскаде получается двустороннее ограничение. На анодах ламп образуются прямоугольные импульсы с нижним уровнем 90 в и верхним 150 в. Нижний уровень соответствует положительному полупериоду сеточного напряжения, когда анодный ток лампы достигает максимума, а верхний уровень — отрицательному полупериоду сеточного напряжения, когда лампа заперта. Так как каскад включен по двухтактной схеме, то при напряжении на одном аноде лампы 90 в на другом аноде напряжение равно 150 в и наоборот.



Работа фазового детектора подробно описана в § 1 гл. II. Напомним, что на сетки детектора подается сигнал ошибки, на аноды — прямоугольные импульсы опорного напряжения, а с катодов ламп детектора снимается постоянное управляющее напряжение, которое в дальнейшем поступает на усилитель постоянного тока.

Усилитель постоянного тока, амплидин и электродвигатель вращения антенны. Усилитель постоянного тока работает на тетрадах Л403, Л404 типа 6L6G (см. фиг. 111). Полученный на выходе усилителя постоянный ток недостаточен по мощности, чтобы управлять электродвигателем вращения антенны. Поэтому между усилителем и двигателем включен амплидин, представляющий собой совокупность двух генераторов постоянного тока, каждый из которых электромеханическим путем усиливает управляющий сигнал.

Обмотка возбуждения амплидина состоит из двух половин. Крайние точки обмотки подключаются к анодам усилителя, а средняя точка — к плюсу источника питания анодной цепи. Поэтому анодные токи ламп усилителя, как обычно в двухтактной схеме, создают магнитное поле противоположного направления. Результирующее поле обмотки возбуждения условно изображено сплошными линиями.

По коллектору амплидина скользят не две, как обычно, а четыре щетки. Одна пара щеток замкнута накоротко, она образует с обмоткой возбуждения «первый каскад усиления». Вторая пара щеток перпендикулярна первой и предназначена для снятия выходного напряжения «второго каскада усиления».

Процесс усиления происходит так. Якорь амплидина приводится во вращение с постоянной скоростью трехфазным электродвигателем. При этом поле, создаваемое обмоткой возбуждения, индуктирует в якоре э. д. с. Так как сопротивление якоря при короткозамкнутых щетках очень мало, то даже малая э. д. с. вызывает в нем ток, значительно больший, чем в обмотке возбуждения. Этот ток создает сильное магнитное поле, направленное перпендикулярно первому (см. пунктирные линии на фиг. 111). Вновь созданное поле индуктирует на выходных щетках напряжение, которое воздействует на электродвигатель вращения антенны по азимуту. Мощность, развиваемая этим двигателем, значительно превышает мощность на входе амплидина. Усиление мощности происходит за счет энергии, подводимой к двигателю, вращающему якорь амплидина.

Сила тока возбуждения амплидина регулируется потенциометром R408, включенным в катодную цепь усилителя постоянного тока. Этот ток контролируется миллиамперметрами A401 и A402, подключенными к сопротивлениям R425, R426, входящим в анодную цепь усилителя.

Вращение антенны по азимуту и углу места производится электродвигателями постоянного тока. Обмотки возбуждения питаются от отдельного блока с выпрямителем, включенным по двухполупериодной схеме на кенотроне Л1152 типа 5U4G. На выходе выпрямителя получается постоянное напряжение 300 в при токе 225 ма.

Якори электродвигателей вращения антенны питаются от соответствующих амплидинов, и так как на обмотках возбуждения напряжение постоянное, то направление вращения и скорость электродвигателей полностью определяются выходным напряжением амплидинов.

**Ограничение момента вращения.** Чтобы ограничить максимальный ток электродвигателя вращения антенны, используется схема, работающая на двойном триоде Л407 типа 6SN7.

С делителя R413, R414, R415, R433 снимается +32,5 в на катод лампы ограничителя и +30 в на среднюю точку коммутационных обмоток W1, W2, включенных последовательно с якорем двигателя вращения антенны. Если в этом двигателе отсутствует ток, то нет падения напряжения на коммутационных обмотках и на сетках триодов напряжение относительно катодов равно —2,5 в. Аноды триодов имеют к тому же сравнительно низкие потенциалы управляющих сеток усилителя постоянного тока (порядка 76 в). В результате триоды лампы Л407 оказываются запертыми.

В таком состоянии схема находится до тех пор, пока ток в обмотке якоря электродвигателя не превысит допустимую величину. Положим, что ток якоря имеет такое направление, как показано на фиг. 111. Тогда за счет падения напряжения на коммутационных обмотках потенциал сетки верхнего триода повысится, а сетки нижнего триода — понизится. Верхний триод откроется и на его нагрузочном сопротивлении R407 возникнет падение напряжения, которое понизит потенциал управляющей сетки усилителя Л403, вследствие чего уменьшится ток в обмотке возбуждения амплидина, а следовательно, и в обмотке якоря двигателя вращения антенны. Скорость вращения антенны по азимуту понизится.

Если направление вращения антенны изменится на обратное, то ток в якоря двигателя и коммутационных обмотках пойдет в противоположную сторону и момент вращения будет ограничиваться нижним триодом Л407. Степень ограничения регулируется потенциометром R433.

**Устранение качаний антенны.** Если в процессе автоматического сопровождения антенна вращается с большой скоростью, то она может по инерции пройти равносигнальное направление, и тогда возникнет сигнал ошибки, который заставит вращаться антенну в обратную сторону. В результате получается нежелательное качание антенны вокруг направления на объект. Это явление устраняется с помощью демпфирующей лампы Л405 типа 6SN7-GT, посредством которой с электродвигателя вращения антенны на усилитель постоянного тока подается напряжение отрицательной обратной связи. Это напряжение возбуждается за счет э. д. с., индуцируемой в якоря электродвигателя при его качаниях.

Напряжение обратной связи снимается с делителя R422, R434, и если частота напряжения больше 1 гц, то оно через фильтр C406, C405, R423, Др403, C404, R424 и ограничительное сопротивление R418 передается на сетку Л405А. Благодаря общему катодному сопротивлению R419 обоих триодов напряжение обратной связи

подается также на сетку второго триода Л405Б, но в противофазе. Фильтр исключает появление обратной связи при вращении антенны с постоянной скоростью.

Усиленное лампой Л405 напряжение с нагрузочных сопротивлений R410, R411 передается на экранные сетки усилителя постоянного тока с таким знаком, чтобы напряжение, управляющее амплидом и электродвигателем, изменялось в сторону устранения качаний антенны. Степень демпфирования регулируется потенциометром R424.

Может оказаться, что напряжение отрицательной обратной связи превысит напряжение основного сигнала ошибки и тогда цель окажется потерянной. Во избежание этого в схему введен ограничитель демпфирования — двойной диод Л406. Сетка демпфирующего триода Л405А соединяется с анодом правого диода и катодом левого диода. В исходном состоянии на эту сетку с делителя через сопротивления R424 и R418 подается напряжение  $+30$  в. Вместе с тем с того же делителя на катод правого диода подается  $+38$  в, а на анод левого диода  $+22$  в. Поэтому если нет сколько-нибудь значительных качаний антенны, то диоды заперты. Если же под влиянием качания антенны напряжение на сетке триода Л405А превысит  $+38$  в или окажется меньше  $+22$  в, то откроется соответственно правый или левый диод и излишки напряжения погасятся на сопротивлении R418 за счет тока одного из диодов.

В блоке наряду с отрицательной обратной связью применяется и положительная. Напряжение положительной обратной связи снимается с делителя R422, R434 и через сопротивления R437, R436 подается на сетку триода Л405Б (заметим, что напряжение отрицательной обратной связи непосредственно подавалось на сетку второго триода Л405А). В результате управляющее напряжение, снимаемое с усилителя постоянного тока, увеличится с тем же знаком. Это способствует увеличению чувствительности схемы, которое особенно необходимо в том случае, когда облучаемый объект движется очень быстро и для получения большой скорости вращения антенны требуется большой сигнал ошибки. Благодаря схеме демпфирования можно не опасаться, что это вызовет качание антенны.

## **В. Ручное управление антенной, автопоиск и управление от ПУАЗО**

Все эти виды работы антенной системы имеют много общего и отличаются от режима автоматического сопровождения способом получения сигнала ошибки и опорного напряжения.

На фиг. 112 показана блок-схема ручного управления антенной по азимуту. Аналогично построен канал управления по углу места. Опорное напряжение в данном случае получается из синусоидального напряжения сети 115 в, 50 гц, которое на формирующий каскад подается после увеличения по амплитуде в трансформаторе Тр1202. С формирующего каскада, как и при автоматическом сопровождении, опорное напряжение следует в соответствующий коммутатор.

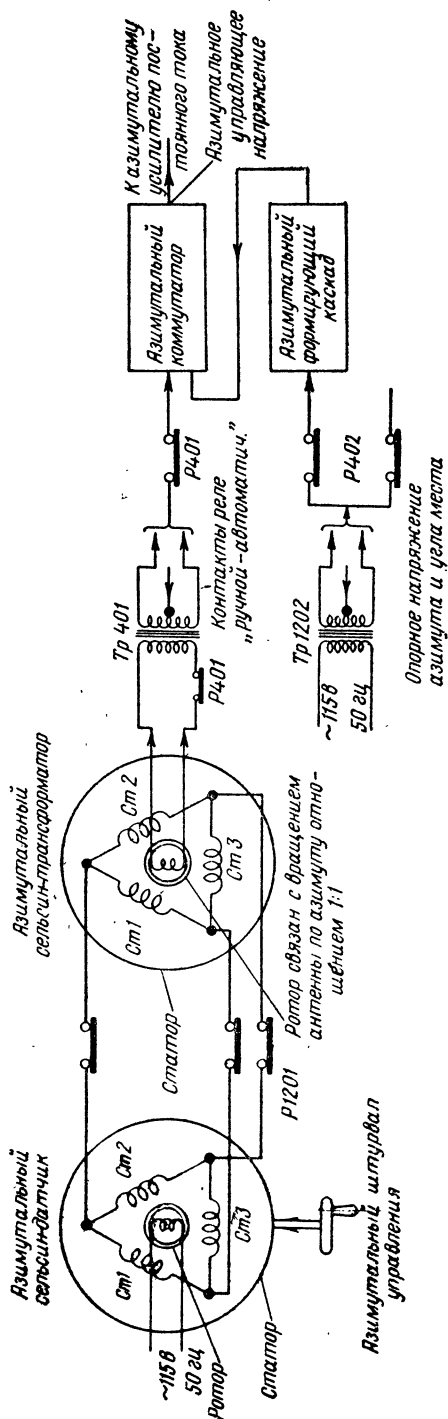


Сигнал ошибки, который также должен быть подан на коммутатор, получается посредством сельсинов-датчиков, расположенных в блоке управления антенной, и сельсинов-трансформаторов, находящихся в основании антенны.

В каждом сельсине имеется по одной роторной обмотке и по три статорных обмотки Ст1, Ст2, Ст3. Ротор сельсина-датчика питается от сети 115 в, 50 гц. Ток ротора сельсина-датчика индуцирует э. д. с. и ток в статорных обмотках сельсина, в результате чего появляются ток и напряжение в роторе сельсина-трансформатора. Это напряжение передается в коммутатор через трансформатор Тр401 в качестве сигнала ошибки.

Величина и полярность сигнала ошибки зависят от взаимного расположения статорных и роторных обмоток сельсинов. Статорные обмотки сельсина-датчика можно вращать от штурвала управления или от специального двигателя (поискового), ротор сельсина-датчика вращается только при автоматическом сопровождении (о чем сказано ниже), ротор сельсина-трансформатора связан с вращением антенны отношением 1:1, а статор сельсина-трансформатора остается неподвижным.

Допустим, что обмотки сельсинов расположены так, как показано на блок-схеме. Тогда в сельсине-датчике роторная обмотка и возбуждаемое ею магнитное поле



Фиг. 112. Блок-схема ручного управления антенной по каналу азимута.

направлены перпендикулярно статорной обмотке Ст3 и в последней не индуцируется напряжение. Что касается обмоток Ст1, Ст2, то в них наводится некоторое напряжение, которое вызывает в одноименных обмотках сельсина-трансформатора ток и магнитное поле такого же направления, как в сельсине-датчике. Следовательно, выходное напряжение, снимаемое с ротора сельсина-трансформатора, в данном случае должно быть максимальным.

Если же ротор сельсина-трансформатора повернуть на  $90^\circ$ , то напряжение на нем будет равно нулю, ибо в статорной обмотке Ст3 отсутствует ток, а обмотки Ст1 и Ст2 при таком расположении ротора наводят в нем численно равные и противоположно направленные напряжения. При дальнейшем вращении ротора сельсина-трансформатора на выходе его появляется напряжение обратного знака, которое достигает максимума при угле поворота  $180^\circ$  (относительно исходного положения), после чего уменьшается до нуля при угле поворота  $270^\circ$ , а затем увеличивается до максимума с первоначальной полярностью при повороте до  $360^\circ$ .

В коммутаторе и последующих каскадах происходят такие же преобразования, как при автоматическом сопровождении. В соответствии с величиной и фазой (0 или  $180^\circ$ ) сигнала ошибки антенна, а с ней и ротор сельсина-трансформатора приводятся в такое состояние, при котором сигнал ошибки становится равным нулю. После этого антенна остается неподвижной до тех пор, пока оператор посредством штурвала не повернет статор сельсина-датчика с целью изменения положения антенны.

Сравнивая ручное и автоматическое управление антенной, можно заметить следующее:

а) сигнал ошибки и опорное напряжение при ручном управлении имеют в качестве первичного источника сеть питания станции, а поэтому частота обоих напряжений одинаковая (50—60 гц), что является необходимым условием получения управляющего напряжения; при автоматическом управлении для выполнения того же условия генератор опорных напряжений и облучатель антенны вращаются от одного электродвигателя;

б) при ручном управлении на каналы азимута и угла места подаются два независимых сигнала ошибки и одно общее опорное напряжение, в то время как при автоматическом сопровождении для каждого канала генерируется отдельное опорное напряжение (со сдвигом фазы  $90^\circ$ ), а сигнал ошибки является общим для обоих каналов. Это оказалось возможным потому, что при автоматическом сопровождении сигнал ошибки отражает в себе отклонения объекта как по азимуту, так и по углу места. Что касается ручного сопровождения, то при нем нет необходимости в отдельных опорных напряжениях для двух каналов, так как управление вращением антенны по азимуту и углу места производится от отдельных штурвалов;

в) в отличие от режима автоматического сопровождения при ручном управлении фаза сигнала ошибки не изменяется плавно, а может быть повернута лишь на  $180^\circ$ . Этого достаточно, так как

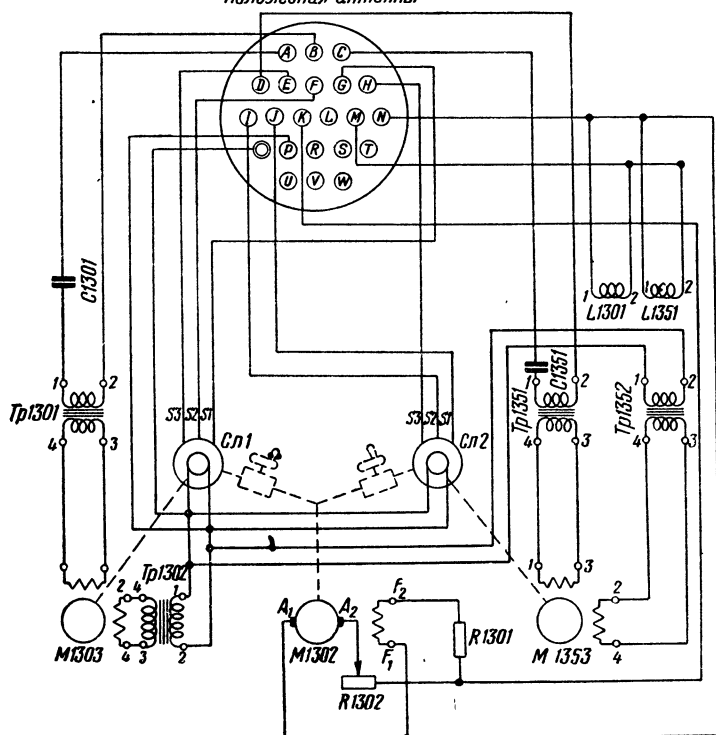
в данном случае направление и скорость требуемого поворота антенны задаются штурвалом управления.

При переходе от ручного управления к управлению от ПУАЗО реле Р1201, управляемое, как и реле Р401, Р402, от отдельного блока (см. ниже), отключает от сельсинов-трансформаторов сельсины-датчики, находящиеся в блоке управления антенной, и взамен включает сельсины-датчики, расположенные на ПУАЗО. Таким образом, ручное управление и управление с ПУАЗО в электрическом отношении ничем не отличаются; только в первом случае оператор ориентируется по индикаторам станции, а во втором — по оптическим приборам.

### Г. Блок и переключатель управления антенной

Блок управления антенной, схема которого показана на фиг. 113, состоит в основном из сельсинов-датчиков азимута и угла места Сл1, Сл2, поискового электродвигателя М1302 и двигателей слеже-

*Ш1301 к Ш1201 блока указателей  
положения антенны*



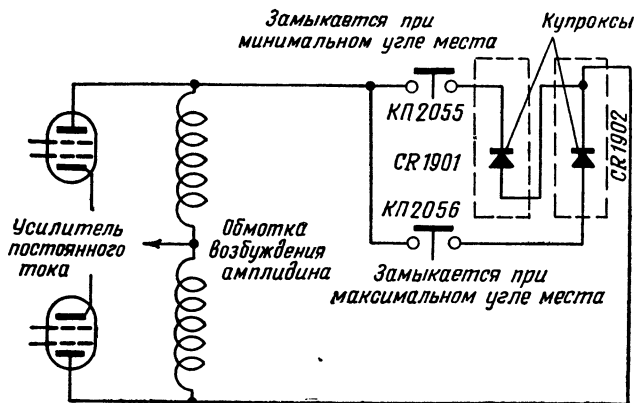
Фиг. 113. Принципиальная схема блока управления антенной.

ния азимута и угла места М1303, М1353. Все эти электрические машины связаны между собой механически (пунктирные линии).

Поисковый электродвигатель питается от сети переменного тока 115 в, 50—60 гц: обмотка возбуждения подключается непосред-

венно к сети, а якорь — через переменное сопротивление R1302, которое служит регулятором скорости двигателя. Поисковый электродвигатель включается при автопоиске. От него приводятся во вращение статоры сельсинов-датчиков, в результате чего генерируется напряжение сигнала ошибки, которое вызывает непрерывное вращение антенны по азимуту и углу места. Сопротивлением R1302 устанавливается нормальная скорость вращения по азимуту 6 об/мин.

Вращение антенны по углу места ограничивается углами  $-10^\circ$  и  $+90^\circ$ . Для этой цели служит схема, показанная на фиг. 114. Когда антенна находится в промежуточном положении по углу мес-

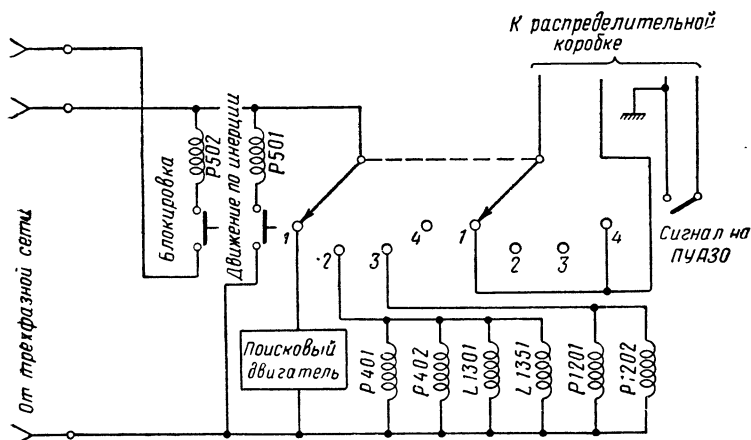


Фиг. 114. Схема ограничения сектора качаний по углу места.

та, то контакты KP2055 и KP2056 разомкнуты и схема ограничителя не препятствует движению антенны по углу места. Когда антенна достигает угла места  $-10^\circ$ , то контакт KP2055 замыкается, и так как напряжение на обмотке амплидина в этот момент имеет полярность «плюс» на нижней обмотке и «минус» на верхней, то купроксные вентили CR1901 оказываются проводящими и через них обмотка возбуждения амплидина замыкается накоротко. Вращение антенны прекращается. Вслед за этим кулачковая передача от поискового электродвигателя поворачивает статор сельсина-датчика угла места в обратном направлении, полярность напряжения на обмотке возбуждения амплидина изменяется на обратную, вентиль CR1901 теряет проводимость и угол места антенны увеличивается. Когда этот угол достигает  $+90^\circ$ , то замыкается другой контакт KP2056, и так как при этом вентиль CR1902 проводит ток, то обмотка возбуждения амплидина закорачивается и антенна останавливается. Кулачковая передача поискового электродвигателя поворачивает статор сельсина-датчика, и антенна вновь движется, но в обратном направлении.

Возвратимся к рассмотрению блока управления антенной (фиг. 113). При автоматическом управлении, так же как и при руч-

ном, ротор сельсина-трансформатора вращается вместе с антенной, и если ротор сельсина-датчика оставить неподвижным, то в момент перехода с автоматического управления на ручное может сразу же появиться большой сигнал ошибки, который вызовет резкий рывок антенны. Это исключается при помощи электродвигателей слежения, вращающих ротор сельсина-датчика. Двигатели слежения — двухфазные, асинхронного типа. Ротор имеет короткозамкнутую обмотку, а на статоре расположены две обмотки, питающиеся током с частотой сети и со сдвигом по фазе на  $90^\circ$ . Вращающееся маг-



Фиг. 115. Цепи, связанные с переключателем управления антенной.

1—автоматический поиск, 2—автоматическое сопровождение, 3—управление с ПУАЗО, 4—ручное управление.

нитное поле, получающееся при этом, приводит во вращение ротор.

Электродвигатели при автоматическом сопровождении управления искусственным сигналом ошибки, который при ручном управлении подавался на коммутаторы. Это осуществляется следующим образом. На одну из статорных обмоток двигателей питание подводится от сети через трансформаторы Tr1301 и Tr1351, а на вторые статорные обмотки напряжение в случае автоматического сопровождения подается с роторов сельсинов-трансформаторов.

Если обмотки сельсинов-трансформаторов находятся в соответствии с обмотками сельсинов-датчиков, то напряжение на роторе сельсина-трансформатора равно нулю и одна из статорных обмоток электродвигателя обесточена, вследствие чего ротор не вращается. Когда же при автоматическом управлении антенна, а с ней и ротор сельсина-трансформатора вращаются, то на этом роторе появляется напряжение, которое заставляет вращаться двигатель слежения, а от него и ротор сельсина-датчика, и таким образом приводятся в соответствие обмотки обоих сельсинов каждого канала.

Требуемый сдвиг по фазе на  $90^\circ$  между токами в статорных обмотках двигателей слежения получается при помощи конденсаторов С1301 и С1351.

При ручном управлении антенной роторы сельсинов-датчиков должны быть неподвижными, что достигается включением электрических тормозов с обмотками L1301, L1351.

Переключатель управления антенной смонтирован на отдельной панели. На наружную часть панели выведены: ручка переключателя управления антенной, кнопка движения по инерции, выключатель сигнала на ПУАЗО и выключатель блокировки.

Переключатель имеет четыре положения (фиг. 115). В положении 1 «Автопоиск» включается поисковый двигатель. В положении 2 «Автоматическое» включаются реле Р401 и Р402 (см. фиг. 112), коммутирующие цепи опорных напряжений и сигнала ошибки, и катушки L1301 и L1351, освобождающие тормоза роторов сельсинов-датчиков. В положении 3 «Управление с ПУАЗО» включаются реле Р1201 и Р1202, посредством которых к сельсином-трансформаторам подключаются сельсины-датчики, расположенные на ПУАЗО. В положении переключателя «Ручное» (4) реле Р401, Р402, Р1201, Р1202, катушки L1301 и L1351 обесточиваются и к сельсину-трансформатору подключаются сельсины-датчики, расположенные в основании антенны.

Если выключатель блокировки стоит в положении «Включено», то замыкается цепь реле Р502 (см. фиг. 115) и питание подается в блок сопровождения по азимуту и углу места.

При нажатии кнопки «Движение по инерции» срабатывает реле Р501 (см. фиг. 115) и сигнал ошибки становится равным нулю.

## § 12. СИСТЕМА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

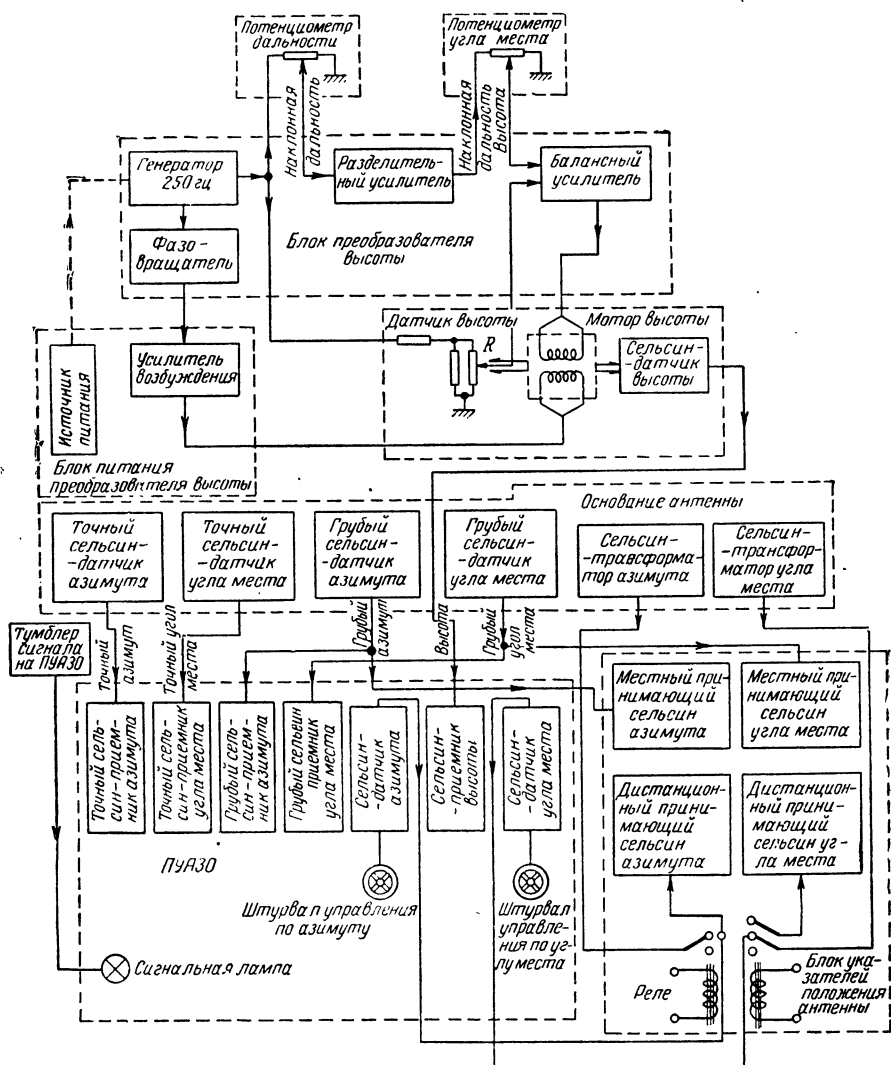
**Блок-схема передачи данных.** Рассмотрим блок-схему передачи данных при использовании ПУАЗО типа М4 или М7 (фиг. 116).

В ПУАЗО вырабатываются данные, необходимые для дистанционного управления орудиями. Исходными величинами для ПУАЗО являются координаты цели, измеренные при помощи радиолокатора. Эти координаты должны быть переданы на ПУАЗО. Вместе с тем оператор радиолокационной станции должен располагать наглядными данными о положении антенны и оптических визиров ПУАЗО. Для решения этих задач и предназначена система передачи данных.

Как видно из блок-схемы, на вход ПУАЗО сообщают высоту цели, ее азимут и угол места. Высоту цели определяют при помощи потенциометров дальности и угла места, блока преобразователя высоты, датчика высоты, блока питания преобразователя высоты и сельсина-приемника высоты. Последний находится на ПУАЗО.

В блоке преобразователя высоты имеется генератор колебаний с частотой 250 гц, который питает потенциометр дальности и потенциометр  $R$ , расположенный в датчике высоты. С потенциометра дальности напряжение через разделительный усилитель поступает

на потенциометр угла места, а с последнего — на балансный усилитель. Выходное напряжение потенциометра дальности пропорционально наклонной дальности цели  $D_n$ , а потенциометр угла места



Фиг. 116. Блок-схема передачи данных.

вырабатывает напряжение, пропорциональное синусу угла места  $\delta$ . Стало быть, на вход балансного усилителя подается напряжение, амплитуда которого пропорциональна высоте цели:

$$H = D_n \sin \delta.$$

На этот же балансный усилитель, кроме того, подается напряжение с частотой 250 гц, снимаемое с потенциометра  $R$ . Нагрузкой усилителя является управляющая обмотка асинхронного двухфазного двигателя высоты. На ней выделяется напряжение, пропорциональное разности входных напряжений балансного усилителя. Вторая обмотка двигателя, называемая сетевой, возбуждается от того же первичного источника, что и остальные каскады, т. е. от генератора 250 гц. Между генератором и двигателем включены фазовращатель и усилитель возбуждения. Фазовращатель предназначен для создания между напряжениями на обмотках двигателя фазового сдвига на  $90^\circ$ , который необходим для получения вращающегося магнитного поля в электродвигателе.

Если на выходе балансного усилителя имеется напряжение, то якорь вращается. С якорем механически связаны ползунок потенциометра  $R$  и ротор сельсина-датчика высоты. Двигатель вращается в таком направлении, что перемещение ползунка потенциометра  $R$  способствует уравниванию напряжений на входе балансного усилителя. Когда это равенство наступает, то на выходе балансного усилителя напряжение становится равным нулю, в управляющей обмотке ток прекращается и электродвигатель останавливается. При этом положение ползунка потенциометра  $R_n$  и ротора сельсина-датчика соответствует напряжению, снимаемому с потенциометра угла места, т. е. высоте цели.

Движение сельсина-приемника высоты повторяет движение сельсина-датчика, в результате чего высота цели становится известной на ПУАЗО.

Грубые и точные координаты азимута и угла места цели воспроизводятся при помощи четырех пар сельсинов. Сельсины-датчики находятся в основании антенны, а сельсины-приемники — на ПУАЗО.

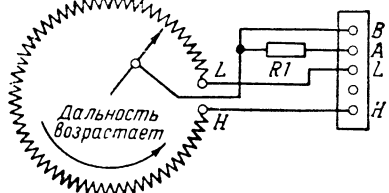
В блоке указателей положения антенны имеются четыре принимающих сельсина. Из них два, называемые местными, соединяются с грубыми сельсинами-датчиками азимута и угла места, а два другие, называемые дистанционными, включаются в схему только при сопровождении цели радиолокатором. В этом случае реле включены и дистанционные сельсины соединяются с сельсинами-датчиками ПУАЗО, которые управляются от оптических визиров азимута и угла места. Таким образом, блок указателей положения антенны позволяет при помощи местных сельсинов контролировать действительное направление антенны, а посредством дистанционных сельсинов — оптический прицел.

При переходе на дистанционное управление от ПУАЗО цепи реле разрываются и те же сельсины-датчики азимута и угла места подключаются к сельсинам-трансформаторам, находящимся в основании антенны. Дистанционное управление производится от штурвалов, механически связанных с сельсинами-датчиками.

Блок преобразователя высоты. Перед изучением схемы блока преобразователя высоты рассмотрим потенциометр дальности, входящий в блок отметчиков дальности, и потенциометр угла места, расположенный вблизи отражателя антенны.

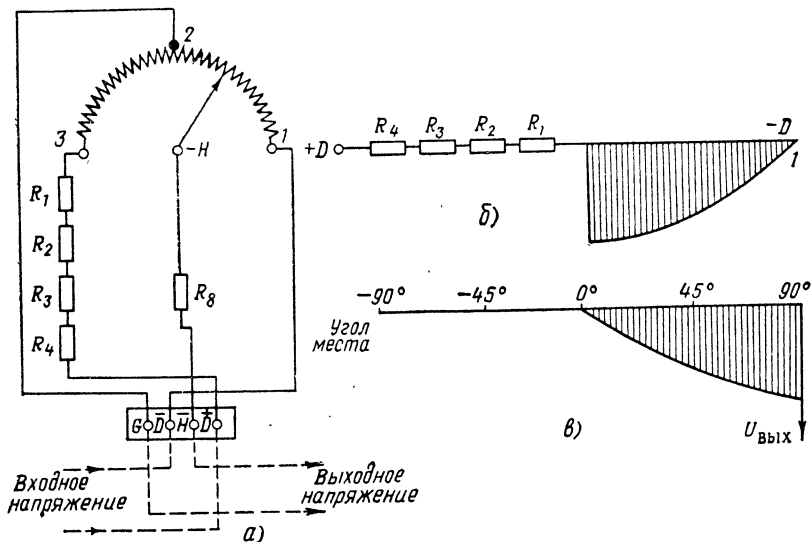


К потенциометру дальности (фиг. 117) напряжение подводится через контакты  $L$ ,  $H$ , а выходное напряжение снимается с зажимов  $L$  и  $A$ . Ползунок потенциометра приводится в движение от штурвала дальности через систему шестерен (см. фиг. 98). Благодаря этому выходное напряжение потенциометра прямо пропорционально наклонной дальности. Потенциометр рассчитан на нагрузку 250 ком, включая ограничительное сопротивление  $R1=1\text{ ком}$ , соединенное с контактной щеткой.



Фиг. 117. Потенциометр дальности.

Потенциометр угла места (фиг. 118, а) наматывается на каркас, изогнутый по окружности. На зажимы  $+D$ ,  $-D$  подается входное напряжение с частотой 250 гц и амплитудой, пропорциональной наклонной дальности. Выходное напряжение снимается с зажимов  $G$  и  $H$ . Поэтому когда угол места равен нулю и ползунок потенциометра находится в точке 2, то выходное напряжение равно нулю.



Фиг. 118. Потенциометр угла места.

С изменением угла места от 0 до 90° ползунок потенциометра перемещается из точки 2 в точку 1. При этом сопротивление потенциометра изменяется синусоидально в функции от угла поворота ползунка (фиг. 118, б), а амплитуда выходного напряжения, увеличиваясь по закону синуса угла места, в точке 1 достигает максимума (фиг. 118, в). Таким образом устанавливается прямая пропорциональность между амплитудой выходного напряжения потенциометра и высотой цели.

Поскольку наблюдение производится за целями, расположенными над горизонтом, нет необходимости в использовании потенциометра вне его участка 1—2. Сопротивления R1—R4 подобраны так, чтобы на этом участке выходное напряжение изменялось в пределах  $1/4$  синусоиды.

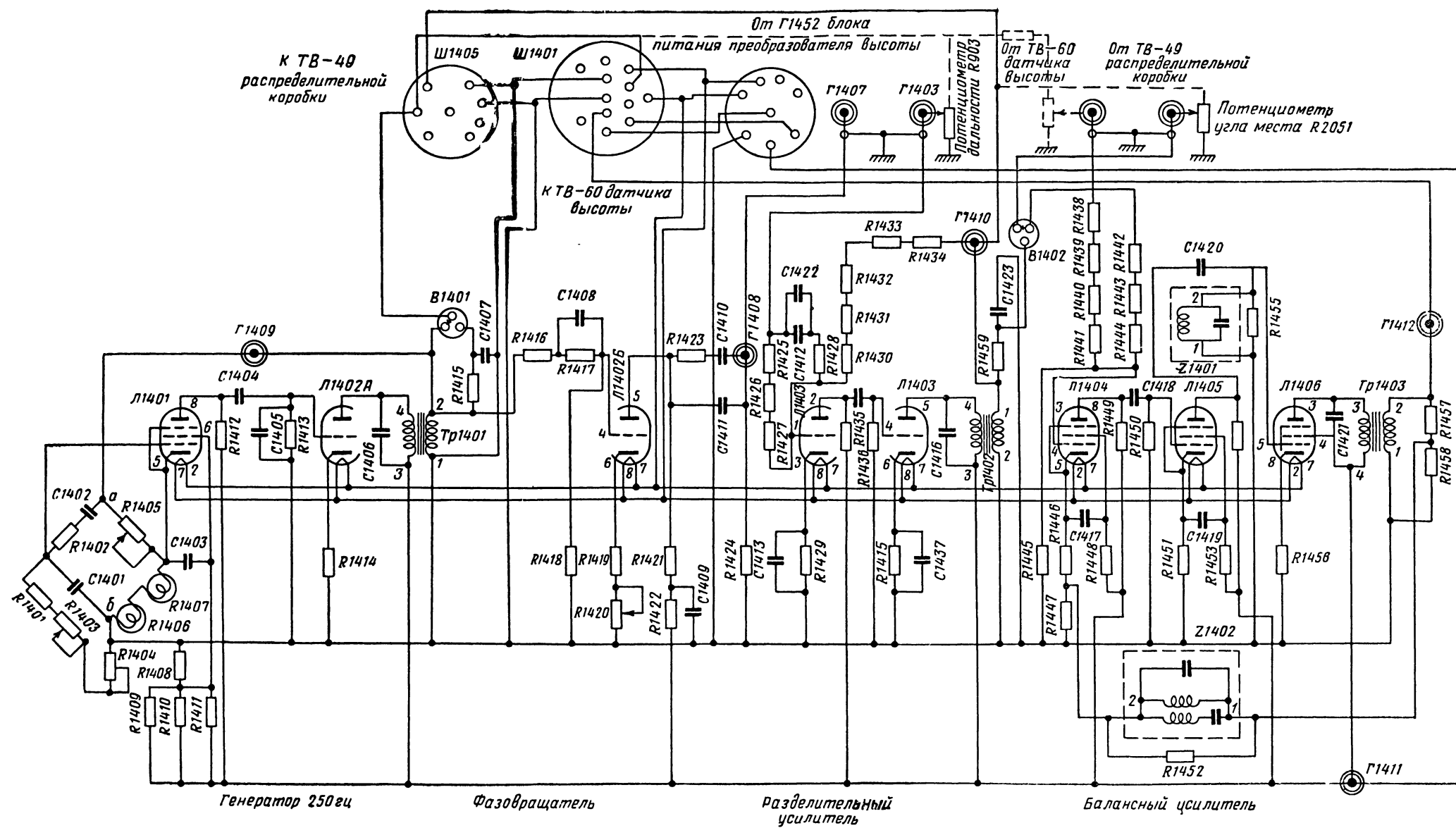
Сопротивление R8 входит в нагрузку и вмонтировано в потенциометр на случай короткого замыкания во внешней цепи.

На фиг. 119 приведена схема преобразователя высоты. Генератор колебаний с частотой 250 *гц* выполнен по схеме моста Вина на пентоде Л1401 типа 6SJ7-GT и на одной половине двойного триода Л1402 типа 6SN7. Нагрузкой первой лампы служит сопротивление R1412, а нагрузкой второй лампы — трансформатор Tr1401. Посредством моста Вина в схему вводится положительная и отрицательная обратная связь. Положительная связь необходима для самовозбуждения, а отрицательная — для большей устойчивости режима генератора.

Выходное напряжение генератора, которое совпадает по фазе с исходным напряжением на управляющей сетке пентода Л1401 (каждая лампа создает сдвиг по фазе на  $180^\circ$ ), подается на диагональ моста *аб*. Два плеча моста R1405, R1407, R1406 образуют делитель, с которого снимается напряжение на катод пентода Л1401, а два других плеча моста используются в качестве делителя, с которого снимается напряжение на управляющую сетку той же лампы. Оба напряжения при известных условиях совпадают по фазе с напряжением по диагонали моста *аб*. Это позволяет утверждать, что в генераторе за счет первого напряжения создается отрицательная обратная связь, а за счет второго — положительная.

Так как вся цепь отрицательной обратной связи состоит из активных сопротивлений, величина этой связи от частоты не зависит. Амплитуда возбуждения, создаваемого за счет положительной обратной связи, максимальна при частоте 250 *гц*. Увеличение частоты сверх 250 *гц* сопровождается уменьшением напряжения возбуждения вследствие уменьшения емкостного сопротивления конденсатора С1401, а понижение частоты от 250 *гц* вызывает уменьшение амплитуды возбуждения за счет увеличения емкостного сопротивления конденсатора С1402. Параметры моста подбираются с таким расчетом, чтобы положительная обратная связь в максимуме превышала отрицательную обратную связь настолько, насколько это необходимо для соблюдения баланса амплитуд на частоте 250 *гц* или весьма близких к ней частотах.

Второе условие самовозбуждения — условие баланса фаз — также соблюдается только на частоте, равной 250 *гц*. Здесь сказывается влияние цепи положительной обратной связи. Напряжение, снимаемое с этой цепи, на частоте 250 *гц* точно совпадает с исходным напряжением на управляющей сетке пентода Л1401. Если же частота колебаний меньше 250 *гц*, то за счет изменения емкостных сопротивлений конденсаторов С1402, С1401 напряжение обратной связи опережает, а при частотах, больших 250 *гц*, отстает по фазе от исходного напряжения на входе генератора. Грубая подгонка



Фиг. 119 Принципиальная электрическая схема блока преобразователя высоты.

частоты генерируемых колебаний производится сопротивлением R1403, а точная — сопротивлением R1404.

Амплитуда колебаний на выходе генератора устанавливается равной 25 в при помощи переменного сопротивления R1405. Для стабилизации выходного напряжения другое плечо отрицательной обратной связи составлено из ламп накаливания R1407, R1406. Если по какой-либо причине амплитуда генерируемых колебаний увеличится, то увеличится и ток, проходящий через лампы накаливания. От дополнительного нагрева сопротивление ламп возрастает, вследствие чего усиливается отрицательная обратная связь и выходное напряжение генератора уменьшается до нормальной величины.

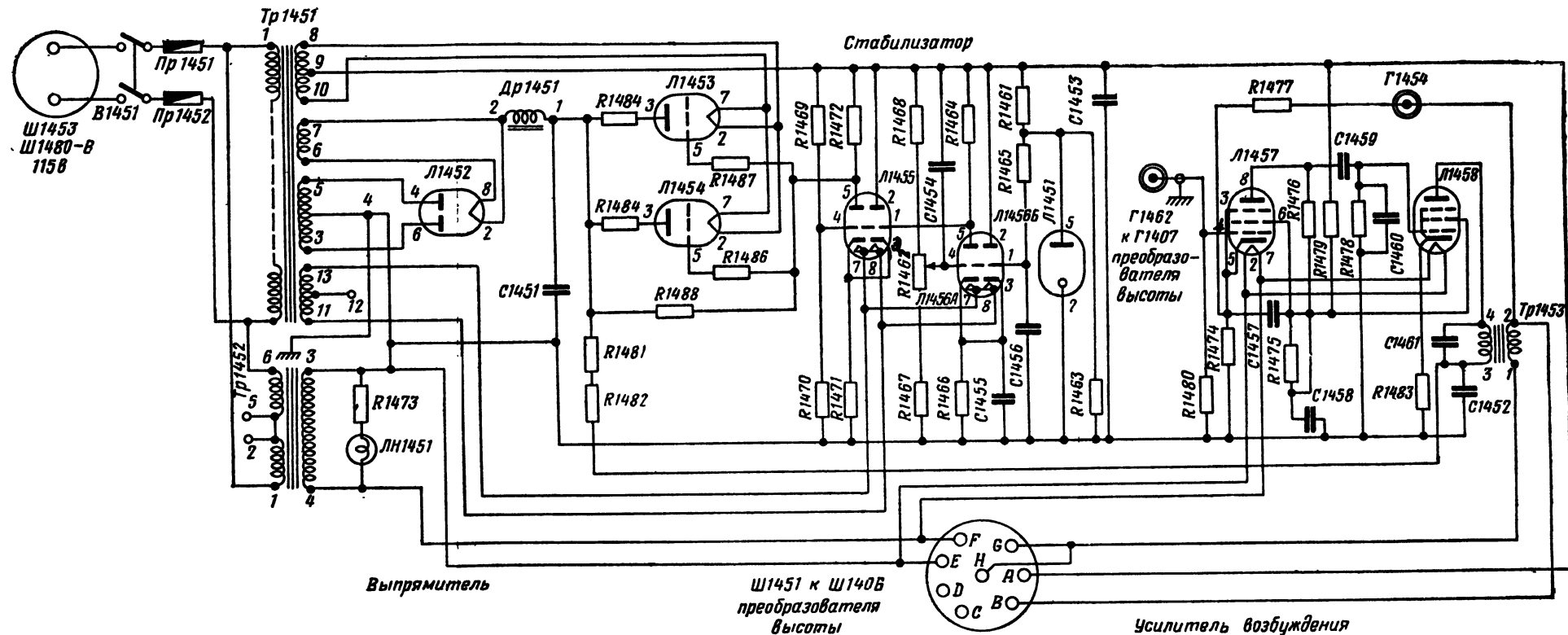
Полученные в генераторе синусоидальные колебания поступают через разъемы Ш1401 и Ш1405 в потенциометр дальности и в потенциометр R, а также на фазовращатель, выполненный на триоде Л1402Б. Нагрузкой триода служит сопротивление R1421, а детали R1422 и C1409 составляют развязывающий фильтр в анодной цепи фазовращателя. Сопротивления R1416, R1417, R1418 и конденсатор C1408 подобраны так, что напряжение на сетке Л1402Б опережает по фазе выходное напряжение генератора на 45°. На аноде лампы фаза напряжения изменяется на 180°. С анода фазовращателя выходное напряжение подается на гнездо Г1408 через цепь R1423, C1410, C1411, R1424. Параметры цепи подобраны так, что фаза напряжения получает дополнительный сдвиг в сторону опережения на 45°. В результате выходное напряжение фазовращателя отстает на 90° от выходного напряжения генератора.

В дальнейшем колебания проходят усилитель возбуждения, который находится в блоке питания преобразователя высоты. Амплитуда напряжения фазовращателя (15 в) устанавливается катодным сопротивлением R1420. Лампа в этой схеме предназначена для того, чтобы создать усиление, компенсирующее потери в фазосдвигающих цепях.

Для контроля работы фазовращателя переключатель В1401 ставится в нижнее (нерабочее) положение, в связи с чем в схему включается дополнительная фазосдвигающая цепь C1407, R1415. Параметры этой цепи подобраны так, что если фазовращатель отрегулирован правильно, то при его контроле токи в обеих обмотках двигателя высоты совпадут по фазе и двигатель остановится. Если же двигатель продолжает вращаться, то следует несколько изменить частоту генератора, чтобы установить требуемый фазовый сдвиг.

Возвратимся к потенциометру дальности R903, к которому было приложено синусоидальное напряжение генератора. Выход потенциометра подается на гнездо Г1403. Внешней нагрузкой потенциометра являются сопротивления R1425—R1427 и входное сопротивление разделительного усилителя, работающего на двойном триоде Л1403 типа 6SN7-GT. Для компенсации фазового сдвига, создаваемого в потенциометре дальности и соединительном кабеле, в схему включена цепь C1422, C1412, R1428.

Нагрузкой первого каскада усилителя является сопротивление R1435, а нагрузкой второго каскада — трансформатор Тр1402, пер-



Фиг. 121. Принципиальная электрическая схема блока питания преобразователя высоты.

вичная обмотка которого образует с конденсатором C1416 контур, настроенный в резонанс на частоту порядка 250 гц. Оба каскада создают большое усиление, коэффициент которого снижается до 1,6 глубокой отрицательной обратной связью. Цепь обратной связи охватывает оба каскада и состоит из сопротивлений R1430—R1434, R1425—R1427 и потенциометра дальности. Отрицательная обратная связь в данном случае применяется для сохранения постоянства усиления.

Выход разделительного усилителя подключен к потенциометру угла места, с которого, как было доказано, снимается напряжение, пропорциональное высоте цели. Это напряжение через цепь R1442—R1445 поступает на балансный усилитель. Одновременно на балансный усилитель через сопротивления R1438—R1441, R1445 подается напряжение с потенциометра  $R_n$ . Оба напряжения имеют равную частоту (250 гц), но сдвинуты по фазе на 180° благодаря соответствующему включению трансформатора Tr1402.

Балансный усилитель — трехкаскадный. В первых двух каскадах используются пентоды Л1404, Л1405 типа 6АС7, а в третьем каскаде — пентод 6L6G. Выходная лампа развивает мощность 7 вт, необходимую для питания обмотки электродвигателя высоты. Нагрузкой первого каскада служит сопротивление R1449, второго каскада — фильтр Z1401, настроенный на 250 гц для устранения помех, и третьего каскада — трансформатор Tr1403, настроенный на 250 гц с помощью конденсатора C1421. В балансном усилителе, так же как и в разделительном, применяется отрицательная обратная связь. Цепь обратной связи составлена из сопротивлений R1457, R1458, фильтра Z1402, шунтированного сопротивлением R1452 для сглаживания частотной характеристики, и сопротивления R1447, с которого напряжение обратной связи подается на управляющую сетку Л1404.

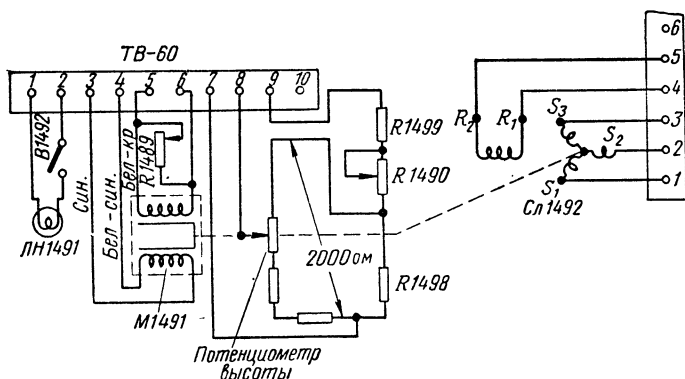
Так как на балансный усилитель напряжения с потенциометров  $R$  и высоты (см. фиг. 116) подаются в противофазе, то двигатель высоты вращается до тех пор, пока эти напряжения не уравниваются.

Датчик высоты имеет несложную электрическую схему (фиг. 120). Преобразователь высоты соединяется с датчиком высоты через колодку ТВ60. К зажимам 3, 4 колодки подводится напряжение 15 в 250 гц от усилителя возбуждения, смонтированного в блоке питания преобразователя высоты. Этим напряжением питается сетевая обмотка двигателя высоты. На другую управляющую обмотку напряжение той же частоты, но сдвинутое по фазе на 90°, подается с балансного усилителя. Это напряжение можно изменять от 0 до 18 в. К зажимам 7, 9 подводится питание от генератора 250 гц. Оно приложено к потенциометру  $R$ , ось которого механически связана с сельсином-датчиком высоты Сл1492. Через зажим 8 колодки ползунков потенциометра соединяется с входом балансного усилителя.

Блок питания преобразователя высоты. В блоке находятся стабилизированный выпрямитель на 300 в и усилитель возбуждения (фиг. 121). Выпрямитель состоит из силового трансформатора Tr1451, кенотрона Л1452 типа 5U4G, фильтра Др1451, С1451,

регулирующих ламп Л1453, Л1454 типа 6В4G, двухкаскадного усилителя Л1455, Л1456 (6SL7-GT) и стабиливольта Л1451 (VR-105-30).

Режим триода Л1456Б отличается постоянством, ибо напряжение на сетку триода подается со стабиливольта. Падение напряжения на катодном сопротивлении R1466 также стабильное, так как оно создается в основном за счет правого триода (анод Л1456Б подключается непосредственно к плюсу источника, а анод Л1456А — через большое сопротивление R1464). Поэтому увеличение выходного напряжения выпрямителя посредством делителя R1468, R1462, R1467 полностью передается на сетку триода Л1456А, в связи с чем напря-



Фиг. 120. Схема датчика высоты.

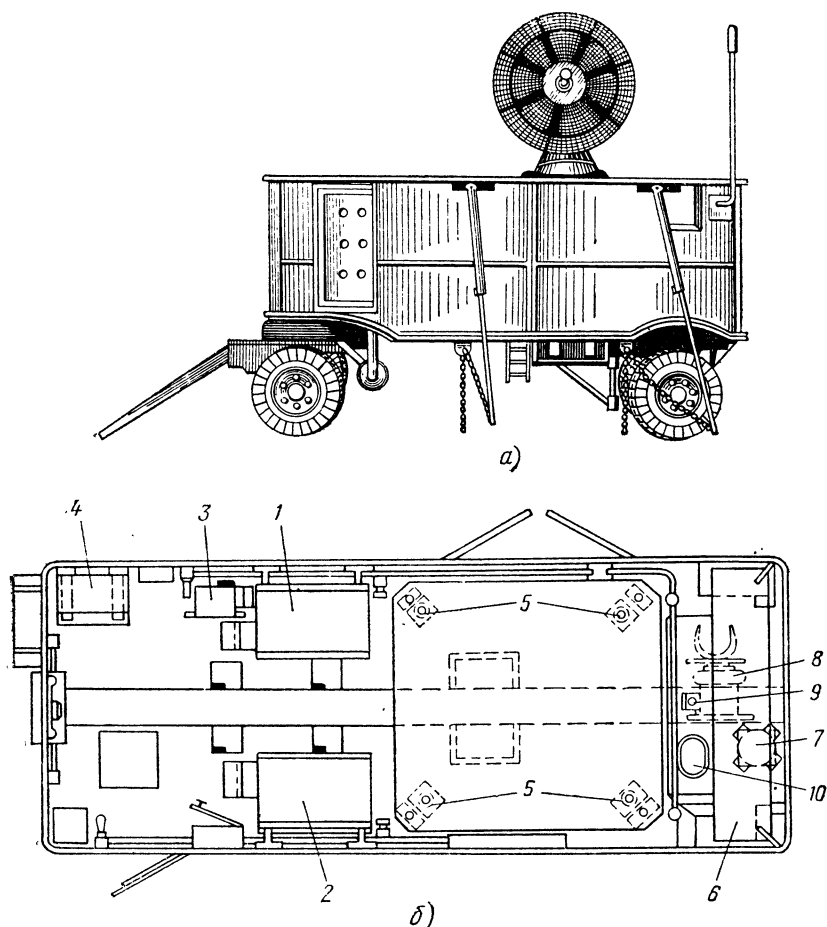
жение на аноде Л1456А и сетке правого триода лампы Л1455Б, а следовательно, и на катодном сопротивлении R1471 уменьшается.

Соответственно увеличивается напряжение на сетке и уменьшается на аноде левого триода лампы Л1455 и на сетках регулирующих ламп. Это влечет за собой увеличение падения напряжения на регулирующих лампах, и так как они включены последовательно с нагрузкой, то компенсируется увеличение напряжения на выходе выпрямителя.

Усилитель возбуждения состоит из усилителя напряжения Л1457 (типа 6SJ7-GT) и усилителя мощности Л1458 (6L6G). Первый каскад включен по реостатной схеме, а второй — по трансформаторной. Первичная обмотка трансформатора вместе с конденсатором С1461 настраивается в резонанс на частоту 250 гц. Высшие частоты срезаются конденсатором С1460, и это способствует устранению самовозбуждения. Постоянство коэффициента усиления усилителя поддерживается благодаря отрицательной обратной связи, которая осуществляется через цепь R1477, R1474. С сопротивления R1474 напряжение обратной связи подается на управляющую сетку усилителя в противофазе с входным напряжением, поступающим от фазовращателя. С усилителя возбуждения на двигатель высоты снимается напряжение порядка 4 в.

Размещение блоков станции. Станция смонтирована в кузове прицепа автомашины. В передней части кузова (фиг. 122)

размещен ряд блоков, среди которых наиболее значительными являются шкаф модулятора 1, содержащий магнетрон и модулятор, высоковольтный выпрямитель 2, регулятор напряжения 3, амплидины 4. В средней части кузова расположена антенна в опущенном положении. Здесь же находятся винты подъемника антенны 5.



Фиг. 122. Станция SCR-584.

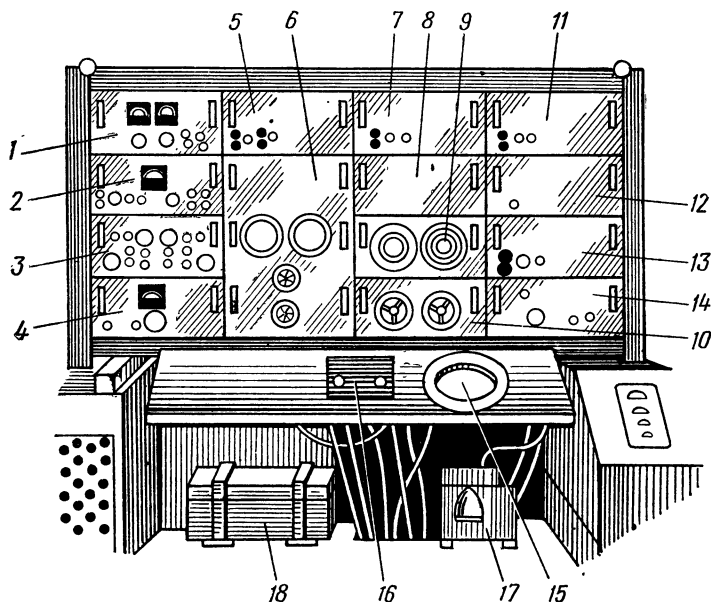
а—внешний вид, б—расположение блоков в кузове.

В задней части кузова расположен шкаф отметчиков 6, датчик высоты 7, стулья операторов 8, панель переключателя управления антенной 9 и блок трубки кругового обзора 10.

Шкаф отметчиков, изображенный на фиг. 123, содержит блоки сопровождения по азимуту и углу места 1, автоматического сопровождения 2, блок дальности 3, главный усилитель 4, блок питания системы дальности 5, блок отметчиков дальности 6, блок питания



приемника 7, блок питания двигателей вращения антенны 8, блок указателей положения антенны 9, блок управления антенной 10, блок питания преобразователя высоты 11, блок преобразователя высоты 12, блок питания отметчика кругового обзора 13 и блок отметчика кругового обзора 14. Здесь же на фиг. 123 показано расположение блока трубки кругового обзора 15, панели переключателя управления антенной 16, датчика высоты 17 и ящик с инструментом 18. Таким образом, все управление станцией сконцентрировано в одном месте, где находятся операторы.



Фиг. 123. Шкаф отметчиков.

Связь радиолокатора с ПУАЗО осуществляется кабелями, которые подключаются к локатору через распределительную коробку, находящуюся под полом кузова.

Силовой агрегат, питающий станцию ПУАЗО и систему дистанционного управления орудиями, смонтирован отдельно от радиолокатора.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ О РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СРЕДСТВАХ ПВО

### § 1. РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ ВЗРЫВАТЕЛИ<sup>1</sup>

#### А. Назначение и принцип действия

В зенитной артиллерии до появления радиолокационных взрывателей, как правило, применялись дистанционные взрыватели. Момент разрыва снаряда, создаваемого посредством таких взрывателей, зависит от дистанции, на которую установлена дистанционная трубка, или точнее — от заданного отрезка времени после выстрела. В связи с этим возможны значительные ошибки. Причиной ошибок могут быть износ орудия, неточность установки дистанционной трубки, изменение температуры взрывчатого вещества и другие обстоятельства, которые не могут быть заблаговременно учтены.

Неконтактные взрыватели, среди которых наиболее употребительным является радиолокационный, в большой мере свободны от этих недостатков, поскольку момент срабатывания неконтактных взрывателей определяется взаимным расположением снаряда и цели. По данным иностранной печати, радиолокационные взрыватели, судя по числу сбитых самолетов, по крайней мере в 3 раза эффективнее дистанционных.

К радиолокационным взрывателям, применяемым в иностранных армиях, предъявляются следующие требования: а) они должны взрывать снаряд на достаточно близком расстоянии от цели, чтобы цель была поражена осколками снаряда; б) должны быть безопасными в эксплуатации; в) не ухудшать баллистические характеристики снаряда; г) конструирование и монтаж взрывателей должны быть произведены с учетом необычных условий, в которых они работают: снаряд имеет ускорение до 20 000g и очень высокую осевую скорость вращения; д) взрыватели, как и снаряды, должны быть рассчитаны на длительное хранение; е) взрыватели не должны по размерам сколько-нибудь значительно превышать дистанционные взрыватели; это важно и с точки зрения уменьшения изгибающих моментов, которые обусловлены силами, действующими на детали взрывателя; ж) быть достаточно устойчивыми против помех, чтобы избежать преждевременного взрыва снаряда.

<sup>1</sup> Радиолокационные взрыватели описаны по материалам, опубликованным в работах:

1. W. S. Hinman J. R. a. Cleo Brunetti. Radio Proximity-Fuse Development, Proceedings of the IRE and Waves and Electrons, 1946, vol. 34, No. 12.

2. Л. С. Гуткин. Принципы радиоуправления беспилотными объектами. «Советское радио», 1959.

3. Радиолокационные взрыватели. Вопросы радиолокационной техники. ИЛ. 1955, № 6.

4. М. Берже. Радиовзрыватели. Вопросы радиолокационной техники. ИЛ. 1952, № 1.

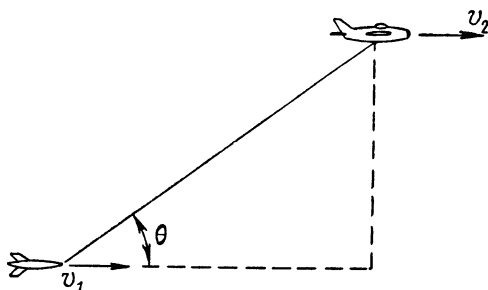
Прежде чем рассмотреть принцип действия радиолокационного взрывателя, следует уточнить понятие скорости снаряда относительно поражаемой цели, например самолета. Если снаряд движется со скоростью  $v_1$  по той же прямой, что и самолет, который имеет скорость  $v_2$ , то вектор относительной скорости равен

$$v = v_2 - v_1$$

и направлен в ту же сторону, что и векторы  $\dot{v}_1$  и  $\dot{v}_2$ . Если же снаряд движется параллельно самолету (фиг. 124), то их относительная скорость определяется проекцией вектора  $v_2 - v_1$  на прямую, соединяющую самолет и снаряд:

$$v = (v_2 - v_1) \cos \theta,$$

где  $\theta$  — угол между траекторией снаряда и линией, соединяющей снаряд и самолет.



Фиг. 124. К определению частоты биений в радиолокационном взрывателе.

В радиолокационных взрывателях зенитных снарядов типа VT используется эффект Доплера—Белопольского. Сущность этого явления заключается в том, что если антенна радиолокационного взрывателя излучает электромагнитные волны с частотой  $f$  (длиной волны  $\lambda$ ), то волны, отраженные от самолета, при относительной скорости снаряда и самолета  $v$  имеют частоту

$$f_{\text{отр}} = f + \frac{2v}{\lambda} = f + \frac{2(v_2 - v_1)}{\lambda} \cos \theta.$$

В описываемых взрывателях та же антенна принимает электромагнитные волны, отраженные от самолета. Излучаемые и отраженные волны, поскольку их частоты различны, образуют биения. Амплитуда результирующих колебаний изменяется с разностной частотой:

$$F_0 = f_{\text{отр}} - f = \frac{2(v_2 - v_1)}{\lambda} \cos \theta, \quad (23)$$

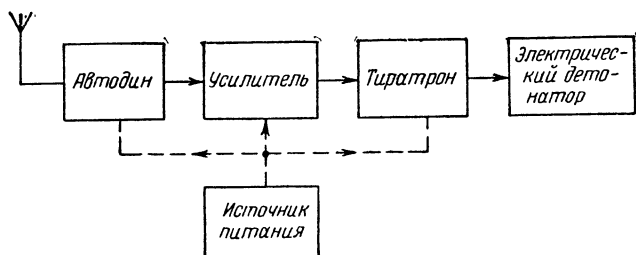
а глубина модуляции увеличивается по мере сближения снаряда с целью. В приемнике происходит детектирование биений, т. е. получаются низкочастотные колебания, которые в дальнейшем усилива-

ются и воздействуют на реле управления детонатором — тиратрон. Когда снаряд достигает самолета на расстоянии убийного действия, приращение амплитуды колебаний на входе приемника оказывается достаточным для зажигания тиратрона. В результате электрический детонатор взрывает снаряд.

Как видно из блок-схемы радиолокационного взрывателя (фиг. 125), его первым каскадом является автодин, совмещающий в себе генератор высокой частоты и детектор биений. За автодином следует двухкаскадный усилитель низкой частоты и, наконец, выходным каскадом взрывателя служит тиратрон.

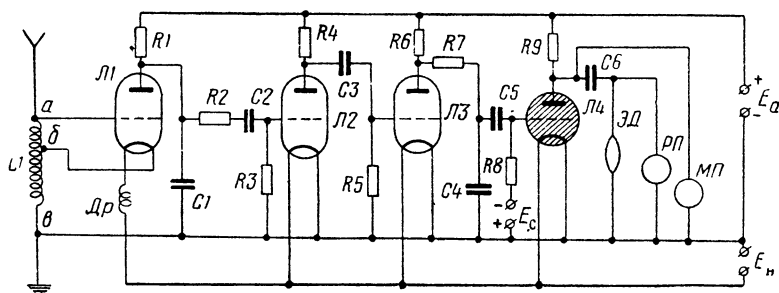
Рассмотрим принципиальную схему взрывателя (фиг. 126).

Автодин выполнен на триоде Л1. Индуктивность  $L1$  в совокупности с емкостями сетка—катод, анод—катод и емкостями монтажа



Фиг. 125. Блок-схема радиолокационного взрывателя.

образует колебательный контур, который подключается к лампе по трехточечной схеме. В этом легко убедиться, если заметить, что точка  $a$  контура соединяется с сеткой, промежуточная точка  $b$  — с катодом, а заземленная точка  $c$  через конденсатор  $C1$  соединяется с анодом.



Фиг. 126. Принципиальная электрическая схема радиолокационного взрывателя.

Полученная схема генератора с заземленным анодом возбуждает колебания с частотой  $f$ . Амплитуда этих колебаний была бы постоянной, если бы антенна взрывателя не шунтировала контур генератора, но так как такое шунтирование имеет место, то эквивалентное сопротивление контура изменяется так же, как сопротивление излу-

чения антенны. В результате напряжение на контуре получается модулированным по амплитуде с частотой биений.

Автодин, поскольку в нем происходит самовозбуждение колебаний, работает как нелинейное устройство. По этой причине автодин одновременно детектирует полученные амплитудно-модулированные колебания. Высокочастотные составляющие анодного тока замыкаются через небольшую емкость  $C_1$ , а низкочастотные составляющие ответвляются через цепь  $R_2, C_2, R_3$ .

Напряжение, имеющее частоту биений, снимается с сопротивления  $R_3$  и усиливается в двухкаскадном реостатном усилителе  $L_2, L_3$ . Частоты усиливаемых колебаний исчисляются сотнями герц (средняя частота около 400 гц). Нижняя граница частотного диапазона усилителя определяется параметрами переходных цепей  $R_2, C_2, R_3, C_3, R_5$ , а колебания верхних частот срезаются главным образом фильтром  $R_7, C_4$ .

Тиратрон в исходном состоянии заперт смещением на сетке  $E_c = -8$  в. Если при этом механический предохранитель МП разомкнут, то конденсатор  $C_6$  заряжается по цепи  $+E_a, R_9, C_6$ , замкнутый накоротко ртутный предохранитель РП, «минус» источника. Когда снаряд приближается на требуемое расстояние к цели, глубина модуляции высокочастотных колебаний автодина становится достаточной, чтобы усиленное напряжение низкой частоты в положительный полупериод открыло тиратрон  $L_4$ . Если ртутный предохранитель к тому времени разомкнется, то конденсатор  $C_6$  разрядится через тиратрон и электродетонатор ЭД, а это вызовет взрыв снаряда.

Питание анодных цепей производится от источника питания  $E_a = 80$  в, а накальные цепи питаются напряжением  $E_n = 2$  в.

В схеме радиовзрывателя все подчинено предельному сокращению габаритов и упрощению устройства. Автодин сочетает в себе и генератор высокой частоты и детектор. Усилитель содержит минимальное число каскадов — один, два. Тиратрон имеет преимущество в малом внутреннем сопротивлении, требует малого управляющего напряжения и относительно безынерционен.

## **Б. Элементы радиолокационного взрывателя**

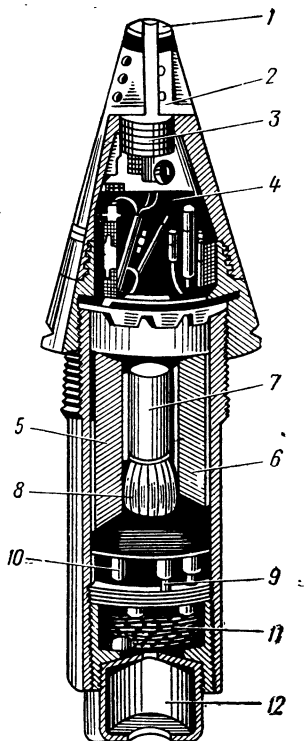
На фиг. 127 показан разрез одной из ранних конструкций радиовзрывателя типа VT. По внешнему виду этот взрыватель похож на дистанционный, но по внутреннему устройству они резко различаются.

Антенна 1 представляет собой металлический колпачок конической формы, который вмонтирован в пластмассовую головку взрывателя 2. Колпачок изолирован от металлического корпуса снаряда, и вместе они образуют антенную систему взрывателя. Под головкой антенны находится контурная катушка автодина 3. Ниже расположен блок автодина, усилителя и тиратрона 4. Хвостовая часть взрывателя содержит батарею 5, состоящую из элементов 6, ампулы с электролитом 7 и приспособления для разбивания ампулы 8, электродетонатор 9, ртутный предохранитель 10, механический предохранитель 11 и гнездо для вспомогательного детонатора 12.

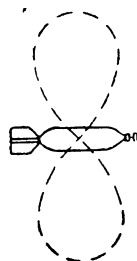
Остановимся на каждом из этих элементов.

**А н т е н н а.** Излучение и прием электромагнитных волн осуществляются с поверхности снаряда и головки антенны, а поэтому диаграмма направленности антенны симметрична и имеет форму восьмерки с максимумом, направленным перпендикулярно продольной оси снаряда (фиг. 128).

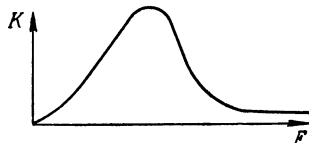
Существуют радиолокационные взрыватели, в которых антенной служит симметричный вибратор, расположенный в носовой части снаряда — перпендикулярно его оси. Диаграмма направленности такой антенны также имеет форму восьмерки, но максимум диаграммы совпадает с продольной осью снаряда. Подобная антенна не применяется в радиовзрывателях зенитных снарядов, так как она в случае приближения снаряда к самолету уже на большом расстоянии от него интенсивно облучает самолет. Это может вызвать преждевременную детонацию.



Фиг. 127. Разрез радиолокационного взрывателя.



Фиг. 128. Диаграмма направленности антенны радиовзрывателя.



Фиг. 129. Частотная характеристика усилителя радиовзрывателя.

**А в т о д и н.** Генерирование колебаний происходит на метровых волнах и в верхней части дециметрового диапазона волн. Применение более коротких волн связано с усложнением схемы, которое в данном случае нецелесообразно, поскольку радиолокационные взрыватели должны иметь крайне простую схему.

Режим автодина должен быть наиболее благоприятным для устойчивого генерирования и детектирования колебаний. Исходя

из этих соображений, в автодине обычно устанавливают режим класса С, т. е. угол отсечки выбирают меньше  $90^\circ$ .

**Усилитель.** Назначение усилителя не ограничивается созданием усиления сигнала, снимаемого с нагрузки автодина, до величины, требуемой для зажигания тиратрона. Большую роль в работе радиовзрывателя играет частотная характеристика усилителя. Эта характеристика (фиг. 129) должна иметь максимум в той области частот биений  $F$ , которая соответствует наиболее благоприятным условиям поражения цели снарядом.

В существовании такой области можно убедиться, рассуждая следующим образом. По мере приближения снаряда к самолету угол  $\theta$ , показанный на фиг. 124, изменяется от нуля до  $90^\circ$ , а  $\cos \theta$  — от единицы до нуля. Следовательно, частота биений согласно формуле (23)

$$F_6 = \frac{2(v_2 - v_1)}{\lambda} \cos \theta$$

непрерывно уменьшается.

Осколки разорвавшегося снаряда разлетаются не равномерно во все стороны, а в определенном конусе относительно оси снаряда. Отсюда следует, что наиболее вероятно поражение цели тогда, когда траектория снаряда образует определенный угол  $\theta$  с направлением на цель. Значит, при определенных частотах биений вероятность поражения цели возрастает. В этой области частот усиление сигнала должно быть максимальным. Сужение диапазона частот усилителя полезно также в целях подавления шумов и фона.

**Источник питания.** В конструкции, изображенной на фиг. 127, источником питания служит батарея, которая приводится в действие только после вылета снаряда из ствола орудия. При этом с помощью специального приспособления 8 разбивается ампула 7. Содержащийся в ней электролит последовательно разливается через элементы батареи, от которых подается питание в цепи накала и анодов ламп и создается смещение на сетке тиратрона.

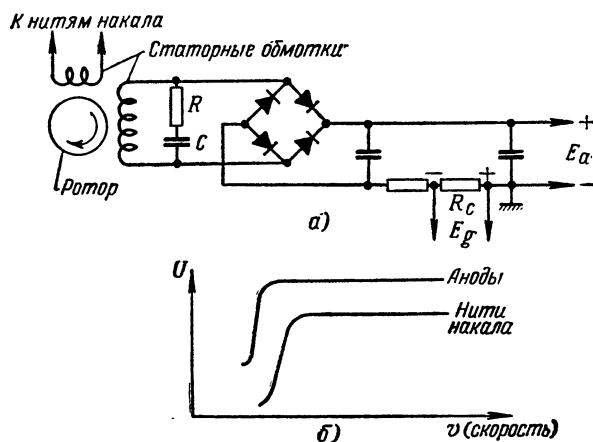
В некоторых конструкциях радиовзрывателей источником питания служит генератор переменного тока, приводимый во вращение ветряной, установленной вне взрывателя. Скорость ротора в подобных генераторах очень велика: она исчисляется десятками тысяч оборотов в минуту. При такой скорости ротора и соответствующей форме частотной характеристики усилителя нити накала ламп взрывателя возможно питать переменным током.

В одной из конструкций ротор генератора представляет собой шестиполусный магнит, а статор имеет отдельные обмотки для питания нитей накала и анодных цепей (фиг. 130, а). Напряжение накала снимается непосредственно с обмотки, а анодное напряжение получается после выпрямления. Выпрямитель включен по мостиковой схеме на селеновых вентиллях.

Для генератора радиовзрывателя характерна не только большая скорость вращения ротора, но и большой диапазон изменения этой скорости, обусловленный непостоянством скорости снаряда. Если не

принять соответствующих мер, то напряжение генератора будет возрастать прямо пропорционально скорости ротора. Следовательно, необходимо увеличить напряжение генератора на низких скоростях. Это осуществляется применением резонанса на низких частотах между индуктивностью рассеяния статорной обмотки и дополнительным конденсатором  $C$ . В области резонанса напряжение не должно очень резко возрастать, а поэтому резонанс притупляется активным сопротивлением  $R$ . Схема рассчитана так, что рабочий участок характеристики находится на ее плоской части (фиг. 130, б).

Безопасность эксплуатации радиовзрывателей. Среди ряда вопросов, которые приходится разрешать при разработке радиовзрывателей, большое место занимает безопасность их эксплуатации.



Фиг. 130. Электрическая схема генератора радиолокационного взрывателя (а) и зависимость напряжения на его статорных обмотках от скорости вращения ротора (б).

Если не принять соответствующих мер, то какое-нибудь короткое замыкание в соседней цепи или другой переходный процесс, сопровождаемый появлением электромагнитных волн, может явиться причиной срабатывания радиовзрывателя.

Во взрывателе, показанном на фиг. 127, предусмотрены следующие меры безопасности: а) электролит разливается по батареям только при разбивании ампулы в момент выстрела, причем активируются батареи в такой последовательности: сначала батарея накала, затем батарея смещения и последней — анодная батарея, чтобы задержать зажигание тиратрона, а следовательно, и детонацию заряда; б) имеется механический предохранитель в виде пластины, запирающей канал для выхода пламени от детонатора; в) предусмотрен ртутный контакт, замыкающий накоротко электродетонатор; г) существует металлический пружинящий контакт, также замыкающий электродетонатор. Когда снаряд находится в полете, то



центробежные силы выталкивают механический предохранитель, смещают пружинящий контакт из исходного положения, в котором замыкается электродетонатор, и заставляют ртуть в течение 2 сек. вылиться через пористую диафрагму. Этим устраняются все препятствия для своевременного срабатывания взрывателя.

Необходимо также предусмотреть самоликвидацию снаряда до падения его на землю, если по какой-либо причине снаряд не взорвался у цели. Когда невзорвавшийся снаряд направляется к земле, центробежные силы уменьшаются, и это используется для замыкания контакта, через который накопительный конденсатор тиратронной схемы разряжается на дополнительный запал. Таким образом происходит самоликвидация снаряда.

В заключение отметим, что радиолокационные взрыватели могут преждевременно взорваться под влиянием искусственных помех со стороны противника. Таким источником помех может явиться передатчик, генерирующий колебания, близкие по частоте к колебаниям автодина. Передатчик помех производит на взрыватель такое же воздействие, как цель, а потому с приближением снаряда к передатчику амплитуда биений увеличивается и в какой-то момент времени независимо от расстояния до цели снаряд взрывается. Создание подобных помех несколько затрудняется вследствие направленных свойств антенны взрывателя.

## **§ 2. ЗЕНИТНЫЕ УПРАВЛЯЕМЫЕ СНАРЯДЫ<sup>1</sup>**

### **А. Общие сведения**

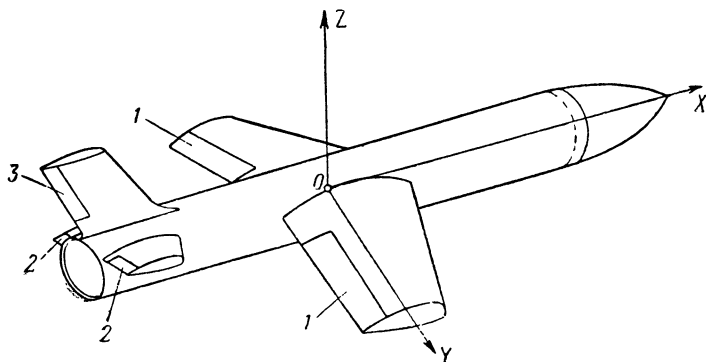
Среди новейших средств вооружения армий ряда стран видное место занимают управляемые снаряды. Их появление оказалось возможным прежде всего благодаря прогрессу реактивной техники и радиоэлектроники. Реактивные двигатели, с одной стороны, позволили намного увеличить скорость и высоту полета самолетов и этим уменьшили уязвимость авиации со стороны зенитной артиллерии, а, с другой стороны, внедрение реактивной техники в артиллерию способствовало значительному увеличению дальности зенитной артиллерии. В таких условиях особенно важно было избежать понижения точности стрельбы зенитной артиллерии в связи с увеличением ее дальности. Это стало возможным благодаря появлению управляемых снарядов, которые автоматически следуют за маневрирующим самолетом. Зенитные управляемые снаряды называются иначе снарядами класса «земля—воздух».

<sup>1</sup> Настоящий параграф написан по следующим литературным источникам:

1. А. С. Локк. Управление снарядами. Гостехиздат, 1957.
2. Б. В. Ляпунов. Управляемые снаряды. Воениздат, 1956.
3. В. И. Марисов, И. К. Кучеров. Управляемые снаряды. Воениздат, 1959.
4. М. А. Марголин, Н. П. Румянцев. Основы инфракрасной техники. Воениздат, 1957.
5. В. П. Петров, А. А. Сочивко. Управление ракетами. Воениздат, 1959.
6. Современная военная техника. Воениздат, 1956.
7. Л. С. Гуткин. Принципы радиоуправления беспилотными объектами. «Советское радио», 1959.

Движение управляемого снаряда основано на тех же принципах, что и движение самолета. Сила тяги (подъемная сила), необходимая для полета снаряда, сообщается ему реактивным двигателем. Равновесие снаряда в полете достигается крыльями, оперением и соответствующими рулевыми органами, связанными с системой управления (фиг. 131).

В то время как положение точки в пространстве характеризуется тремя координатами, положение движущегося тела, в данном случае — снаряда, кроме координат центра тяжести  $O$ , характеризуется еще тремя величинами: движением крена, т. е. вращением вокруг продольной оси  $OX$ , движением тангажа — вращением вокруг поперечной оси  $OY$  и движением рысканья — вращением вокруг вертикальной оси  $OZ$ .



Фиг. 131. Органы управления снарядом, имеющим аэродинамическую схему самолета<sup>1</sup>.

В снарядах, управляемых по такой же аэродинамической схеме, как самолет, угол крена регулируется элеронами 1, расположенными на крыльях. Если один из элеронов поднимается, то другой опускается на равный угол, и тогда воздушный поток, действующий на эти рули, создает момент вращения вокруг оси, изменяя тем самым крен снаряда.

Рули высоты 2 одновременно поднимаются или опускаются, в результате чего изменяется подъемная сила и регулируется угол тангажа, называемый иначе углом атаки.

Руль поворота 3, как и рули высоты 2, является элементом хвостового оперения. При повороте руля 3 снаряд приводится во вращение вокруг оси  $OZ$  в обратном направлении, в результате чего изменяется угол скольжения (рысканья).

В управляемых снарядах обычно ограничиваются двумя рулями, например рулями высоты и поворота. Так как руль высоты изменяет положение снаряда в вертикальной плоскости, а руль поворота — в горизонтальной, то такое устройство называется рулевым управ-

<sup>1</sup> См. сноску на стр. 233 (Л. С. Гуткин).

лением в прямоугольной системе координат. Для того чтобы устранить крен снаряда, в эту систему вводят соответствующую принудительную стабилизацию снаряда относительно продольной оси.

Рули управления приводятся в движение рулевыми машинами, а на эти машины подается преобразованный и усиленный управляющий сигнал. Усилители-преобразователи, рулевые машины и цепи, корректирующие управляющий сигнал, составляют автопилот.

Полет управляемого снаряда разделяется на три этапа: старт, сближение и конечный этап. Запуск зенитного управляемого снаряда производится со специальных стартовых площадок вертикально вверх или наклонно. Задача старта — сообщить снаряду достаточно большую скорость и высоту, чтобы сделать возможным управление снарядом на этапе сближения его с целью. Для этого иногда применяют стартовые ускорители в виде ракеты, которая отделяется от основной части снаряда по окончании старта.

В процессе сближения с целью и на конечном этапе полета управление снарядом может происходить по одному и тому же принципу или по различным системам. Наиболее употребительными являются системы самонаведения, наведения по лучу и наведения с помощью команд. Рассмотрим эти системы.

## **Б. Пассивное самонаведение снарядов <sup>1</sup>**

1. Пассивное самонаведение основано на том, что цели обладают свойством излучать энергию того или иного вида, которая улавливается приемником, установленным на снаряде. В соответствии с направлением принятых волн система управления вырабатывает сигналы, воздействующие на рулевые органы таким образом, что снаряд автоматически направляется на цель.

Энергия, излучаемая целью, может иметь характер тепловых, световых, звуковых и радиоволн. Излучение энергии, используемой для самонаведения, должно быть достаточно интенсивным по абсолютной величине и намного больше излучения окружающей среды. В противном случае цель нельзя будет различить на фоне помех.

Звуковые волны не могут быть использованы для самонаведения зенитных снарядов, так как сами снаряды заглушают шум, возбуждаемый воздушной целью. К тому же скорость распространения звуковых волн слишком мала для управления быстро летящими снарядами.

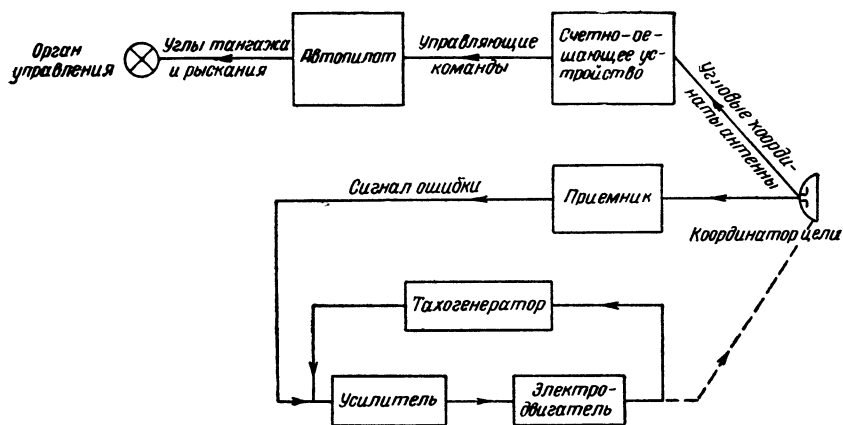
Цель не создает контрастного светового излучения (точнее отражения) днем при солнечном свете или ночью при лунном. Это ограничивает самонаведение по световым волнам. Что касается теплового излучения, то оно может быть интенсивным в любое время суток. Источником теплового излучения являются, в частности, реактивные самолеты и головная часть ракет дальнего действия. Излучение радиоволн с воздушной цели происходит во время рабо-

<sup>1</sup> См. сноску, приведенную на стр. 233 (Локк А. и М. А. Марголин, Н. П. Румянцев).

ты установленных на ней радиолокационных и других радиостанций.

Как радиоволны, так и тепловые и световые волны представляют собой электромагнитные колебания, которые отличаются по частоте. Инфракрасные (тепловые) лучи имеют длину волны  $\lambda = 0,76 \div 420$  мк и по одну сторону граничат с видимыми лучами света ( $\lambda < 0,76$  мк), а по другую — с радиоволнами ( $\lambda > 420$  мк).

Инфракрасные лучи, длина волны которых больше 15 мк, почти полностью поглощаются в атмосфере. Это же относится к большей части диапазона миллиметровых радиоволн. Световые волны, как



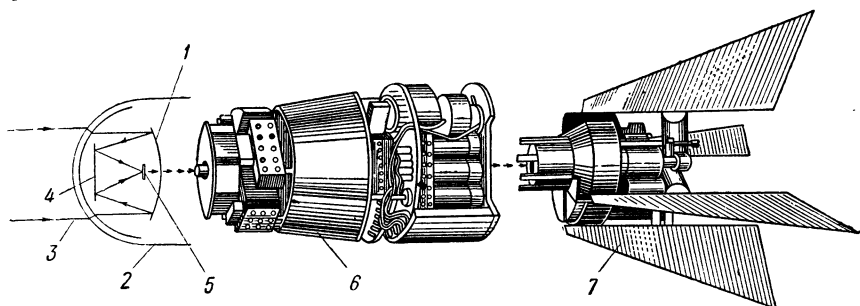
Фиг. 132. Упрощенная схема пассивного самонаведения снарядов.

было сказано, не всегда обеспечивают достаточную контрастность цели. Следовательно, для самонаведения снарядов наиболее пригодны радиоволны сантиметрового диапазона и те инфракрасные лучи, длина волны которых  $\lambda < 15$  мк.

Очевидно, что при таких значениях  $\lambda$  радиоволн и инфракрасных волн аппаратуру самонаведения можно изготовить достаточно малогабаритной. Если сравнивать световые, радиотехнические и тепловые системы самонаведения с точки зрения возможности искусственных помех со стороны противника, то наиболее качественной окажется тепловая система.

2. Как видно из упрощенной схемы, показанной на фиг. 132, система пассивного самонаведения по радиоволнам работает следующим образом. Приемная параболическая антенна, называемая в данном случае координатором цели, производит конический обзор пространства. Требуемая для этого диаграмма направленности получается непрерывным вращением облучателя, фазовый центр которого смещен из фокуса рефлектора перпендикулярно его оси. Волны, излучаемые самолетом, улавливаются координатором цели — антенной, затем усиливаются и преобразуются в приемнике. На выходе приемника получается постоянное напряжение, пропорциональное сигналу ошибки, которое после дополнительного усиления воздейст-

вует на электродвигатели вращения и наклона антенны. В результате положение антенны изменяется так, что сигнал ошибки сводится к нулю и антенна ориентируется на самолет. Для того чтобы вращательное движение антенны происходило плавно, без сильных колебаний относительно направления на цель, в схему следящей системы введена отрицательная обратная связь в виде тахогенератора. Этот генератор вырабатывает напряжение, пропорциональное угловой скорости вращения антенны. Угловые координаты антенны, поскольку они воспроизводят направление на цель, при помощи потенциометрических датчиков вводятся в счетно-решающий прибор. В нем производятся расчеты, необходимые для встречи снаряда с целью, и



Фиг. 133. Элементы снаряда с пассивным самонаведением по инфракрасным лучам.

на выходе получается управляющая команда, которая при помощи автопилота преобразуется в соответствующие движения рулей управления снарядом. Автопилот содержит усилители и преобразователи управляющих напряжений, а также рулевые машины, которые отклоняют рули снаряда. На блок-схеме показан только один канал управления (высоты или поворота). Второй канал аналогичен первому.

Для стабилизации режима наведения в счетно-решающее устройство вводят не только координаты цели, но и некоторые дополнительные данные, например напряжения, учитывающие нежелательные отклонения снаряда под влиянием внешней среды.

Пассивная система самонаведения, естественно, может работать только при условии, что во время полета снаряда цель излучает радиоволны и приемник, установленный на снаряде, настроен на эти волны.

3. Пассивное самонаведение по инфракрасным лучам производится в основном по такому же принципу, как и при наведении по радиоволнам. Отличие заключается в устройстве координатора цели и приемника (фиг. 133).<sup>1</sup>

Координатор цели помещается в носовой части снаряда и представляет собой параболический стеклянный рефлектор 1. Для отра-

<sup>1</sup> К л а с с. Инфракрасная техника оспаривает монополию радиолокации. Вопросы радиолокационной техники. ИЛ, 1958, № 2.

жения волн наружную часть рефлектора покрывают слоем золота или алюминия по методу испарения металла в вакууме. Рефлекторы иногда заменяют линзами, но применение рефлекторов предпочтительнее, так как они проще в изготовлении и дают более качественную фокусировку лучей в широком диапазоне частот.

Носовая часть снаряда закрывается обтекателем 2, изготовленным из материала, прозрачного для инфракрасных лучей 3. Эти лучи после отражения от параболического рефлектора падают на плоский контррефлектор 4, а затем на приемник (индикатор) 5, помещенный в фокус рефлектора. В непосредственной близости от приемника находится усилитель 6, за которым следуют остальные элементы пассивного самонаведения. Последним элементом этой системы являются сервоули 7.

Рассмотрим подробнее приемники инфракрасного излучения, в качестве которых могут быть использованы фотоэлементы, термоэлементы, болометры, термисторы и фотосопротивления.

4. Фотоэлементы в данном случае не находят широкого применения, так как они чувствительны только при длине волны  $\lambda < (5 \div 7) \text{ мк}$ .

Термоэлемент представляет собой спай двух разнородных элементов, помещенных в вакуум. Для изготовления термопар используются комбинации: сплав висмута с сурьмой и висмута с оловом, теллура с висмутом и другие материалы. Концы термоэлемента прикрепляются к клеммам, через которые элемент включается в схему.

Место спая элементов помещают в фокус рефлектора. Лучистая энергия, падая на место спая, вызывает термоэ. д. с., которая усиливается и в дальнейшем используется для наведения снаряда.

5. *Болометрами называются индикаторы, действие которых основано на изменении сопротивления чувствительного элемента под влиянием облучения.* Чувствительными элементами болометра могут быть металлы (платина, золото, сурьма, висмут, никель и др.), полупроводники (пленки окиси меди, окиси марганца, никеля, кобальта), нанесенные на пластину кварца или стекла, и некоторые диэлектрики. Так как болометр должен отличаться высокой чувствительностью, то весьма важно избежать потери энергии за счет теплопроводимости. В связи с этим болометры, как и термоэлементы, изготавливаются в виде очень тонкой фольги или пленки толщиной порядка десятых долей — единиц микрона, которая, как правило, помещается в вакуум.

Болометры включаются в мостиковую схему, составляя одно или два плеча моста. Остальные плечи моста представляют собой обычные активные сопротивления. К одной диагонали мостиковой схемы подводится питание от источника постоянного или переменного тока, а в другую диагональ включается усилитель. Если болометр не облучается, то схема находится в равновесии и на входе усилителя отсутствует напряжение. При облучении чувствительного элемента болометра баланс моста нарушается, поскольку изменяется сопротивление этого элемента, и на входе усилителя появляется напряжение.

тем большее, чем больше поток инфракрасных лучей, принятых от цели.

6. Термисторы можно рассматривать как разновидность болометров. Чувствительным элементом термистора является тонкий слой (порядка 10 мк) полупроводникового сопротивления, имеющего отрицательный температурный коэффициент. Материалами для изготовления термисторов служат смесь окислов никеля и марганца или смесь окислов никеля, марганца и кобальта. Термисторы отличаются большой прочностью, а изготовление их — простотой. Сопротивление термисторов изменяется в больших пределах при незначительном изменении температуры. Благодаря этому термисторы обладают высокой чувствительностью. Они, так же как болометры, включаются в мостиковую схему.

7. В том случае, когда используется инфракрасное излучение с максимальной длиной волны, не превышающей 5—6 мк, в качестве приемников можно применить фотоэлементы с внутренним фотоэффектом, называемые иначе фотосопротивлениями. Внутренний фотоэффект заключается в том, что если на полупроводник падает поток лучистой энергии, то его кристаллическая структура нарушается, в результате чего освобождаются электроны и появляется некоторая проводимость. Чувствительность элементов с внутренним фотоэффектом тем выше, чем больше понижается сопротивление элементов под действием данного потока лучистой энергии.

В системах самонаведения снарядов наиболее пригодны те фотосопротивления, которые обладают высокой чувствительностью к инфракрасным лучам: сернисто-свинцовые, теллурид-свинцовые и свинцово-селеновые. Чувствительный слой этих сопротивлений имеет толщину от 0,1 до 1 мк и обычно наносится с одной стороны внутренней стенки баллона. С другой стороны баллона находится окно, закрытое материалом, прозрачным для инфракрасных лучей.

8. При выборе индикатора руководствуются тем, что индикатор должен обладать высокой чувствительностью в диапазоне частот теплового излучения объекта и низкой чувствительностью при частотах теплового излучения окружающей среды. Это тем более важно, что любой объект, температура которого выше абсолютного нуля ( $-273^{\circ}\text{C}$ ), излучает инфракрасные волны.

Интенсивность теплового излучения объекта пропорциональна четвертой степени его температуры, причем длина волны, на которой происходит максимальное излучение, тем больше, чем ниже температура объекта. Например, при температуре  $200^{\circ}\text{C}$  наиболее интенсивное излучение происходит на волне 5 мк, при температуре  $300^{\circ}\text{C}$  — на волне 4,5 мк.

Если фоном, на котором обнаруживается объект, служит небо, то практически нельзя использовать волны короче 4 мк, так как в этой части спектра небо интенсивно излучает инфракрасные лучи. Кроме того, следует иметь в виду, что атмосфера прозрачна (т. е. не создает значительного поглощения энергии) для инфракрасных волн, длина которых находится в пределах 1,5—1,8 мк; 2,1—2,4 мк; 3,3—4,2 мк; 8,0—13,0 мк.

В соответствии с этими данными и следует выбрать индикатор, учитывая, что наиболее широкополосными из них являются болометры и термисторы, но на волнах короче 3—4 мк они по чувствительности намного уступают фотосопротивлениям.

9. Сигналы, снимаемые с индикаторов инфракрасных лучей, обычно настолько слабы, что они соизмеримы с внутренними шумами усилителя. Поэтому схема и монтаж усилителя должны быть составлены с таким расчетом, чтобы шумы ламп, особенно входного каскада, были сведены до минимальной величины. В усилителях такого типа широко применяется отрицательная обратная связь. В ряде случаев используются специальные схемы усиления фото-токов.

## **В. Активное и полуактивное самонаведение снарядов <sup>1</sup>**

Активное самонаведение снарядов (фиг. 134) означает, что управление снарядом происходит при помощи имеющейся на нем радиолокационной станции, в состав которой входят и передающее и приемное устройства.

Перед вылетом снаряда его радиолокационная станция непосредственно либо при помощи радиолокатора или оптической системы, установленных на земле, обнаруживает и захватывает цель. В дальнейшем цель автоматически сопровождается по направлению и дальности. При этом передатчик радиолокатора снаряда облучает захваченную цель, и по отраженным от нее волнам вырабатывается сигнал для управления снарядом.

Радиолокационные станции активной системы самонаведения, как правило, работают по импульсному методу. Одна из причин выбора этого метода такова, что при непрерывном генерировании колебаний приходится отдельно применять передающую и приемную антенны, а в условиях снаряда очень трудно обеспечить их независимую работу.

Длина волны, на которой работает радиолокатор, выбирается малой из тех соображений, что аппаратура активного самонаведения полностью устанавливается на снаряде, а потому габариты ее должны быть минимальными. Если, с другой стороны, длина волны слишком мала, то наблюдается значительное поглощение электромагнитной энергии в атмосфере и понижение чувствительности приемника. С этой точки зрения вполне приемлемы волны длиной  $\lambda > (3 \div 5)$  см.

Как пассивный, так и активный методы самонаведения принципиально не ограничивают число снарядов, выпускаемых по цели. Тем не менее при активном самонаведении между залпами имеется некоторый интервал, необходимый для обнаружения и захвата цели радиолокатором снаряда.

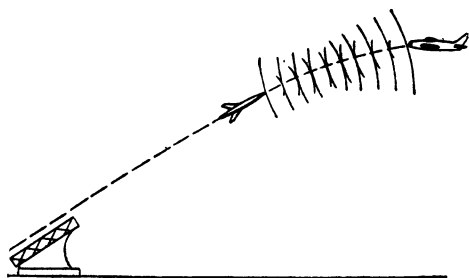
Дальность действия пассивной и активной систем самонаведения невелика. Для пассивных систем дальность действия ограничи-

---

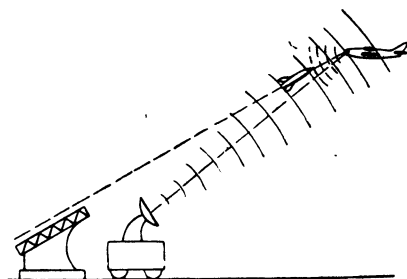
<sup>1</sup> См. сноску, приведенную на стр. 233 (Локк А.).



вается небольшой мощностью и недостаточной контрастностью излучения, создаваемого целью, а для активных систем ограничивающим фактором являются небольшие габариты аппаратуры, которая мо-

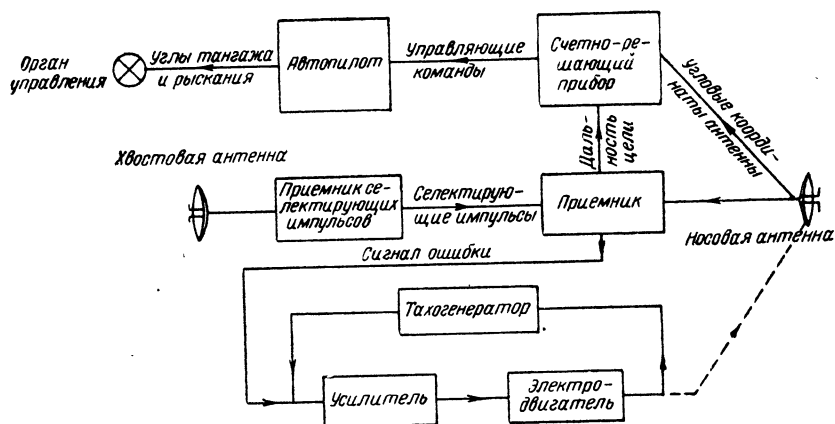


Фиг. 134. Активное самонаведение зенитного снаряда.



Фиг. 135. Полуактивное самонаведение зенитного снаряда.

жет быть установлена на снаряде. К тому же при активном методе самонаведения вместе со снарядом уничтожается радиолокационная станция, а это требует ее удешевления.



Фиг. 136. Упрощенная схема полуактивного самонаведения снарядов.

Дальность действия системы может быть увеличена переходом к полуактивному самонаведению (фиг. 135). При полуактивном самонаведении цель облучается наземной радиолокационной станцией, а на снаряде устанавливается только приемное устройство. Благодаря этому отпадают ограничения в мощности передатчика и коэффициенте усиления антенны, что и дает выигрыш в дальности действия.

На фиг. 136 изображена упрощенная схема полуактивного самонаведения снарядов. В носовой части снаряда устанавливают антенну и приемник, предназначенные для приема импульсов, отраженных

от цели, и преобразования их в сигнал ошибки. В хвостовой части снаряда находятся другие антенна и приемник, которые улавливают и преобразуют волны, излучаемые наземным радиолокатором, с целью получения селектирующих импульсов, необходимых для автоматического сопровождения цели по дальности. Этими импульсами в соответствующий момент открывается первый приемник и они же используются для получения данных о дальности цели, которые подаются в счетно-решающее устройство.

Сигнал ошибки, полученный на выходе приемника, посредством усилителя и электродвигателя направляет носовую антенну на цель.

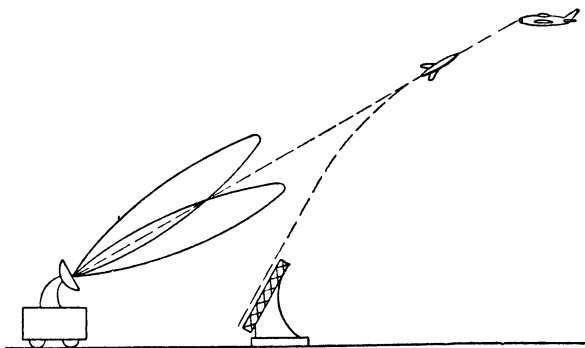
Угловые координаты антенны (а следовательно, и цели) вводятся в счетно-решающее устройство. Последнее по входным данным вырабатывает управляющие команды, которые через автопилот воздействуют на органы управления снарядом.

Полуактивное самонаведение сохраняет преимущество других систем самонаведения в отсутствии ограничения числа снарядов, выпускаемых по одной цели, но в данном случае нельзя одновременно вести обстрел нескольких целей, так как наземная радиолокационная станция должна облучать обстреливаемую цель до ее уничтожения.

### Г. Управление снарядами по лучу<sup>1</sup>

В зенитной артиллерии широко распространен метод наведения снарядов по лучу. Сущность его заключается в следующем.

Наземная радиолокационная станция (фиг. 137) путем конического обзора пространства создает равносигнальную зону в направ-



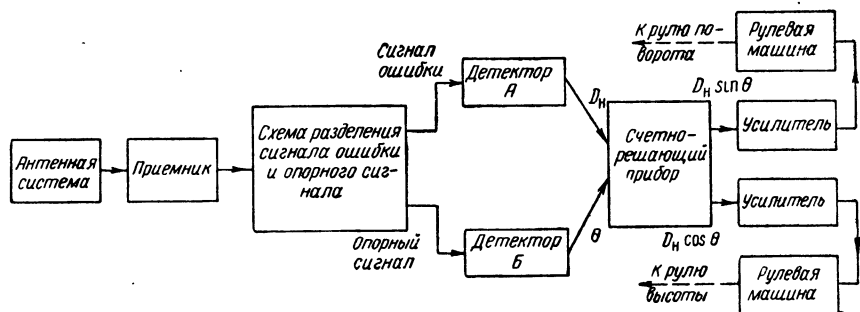
Фиг. 137. Управление снарядом по лучу.

лении на цель. Вблизи от наземной станции находится стартовая площадка. Снаряды после вылета с площадки автоматически вводятся в равносигнальное направление. Для этого в хвостовой части снаряда размещаются антенная система и аппаратура, предназначенные для выделения из принятых радиопульсов сигнала ошибки, кото-

<sup>1</sup> См. сноску, приведенную на стр. 233 (Локк А.).

рый получается при отклонении снаряда от равносигнального направления.

Из описания станции орудийной наводки известно, что для управления по методу равносигнальной зоны, кроме сигнала ошибки, требуется опорный сигнал, который должен иметь частоту вращения луча при коническом обзоре. Этот сигнал вырабатывается в том же наземном радиолокаторе за счет опорного напряжения, применяемого для автоматического сопровождения цели. В целях разделения сигналов на снаряде ими модулируют радиоимпульсы по-разному: например, опорное напряжение производит частотную модуляцию, а сигнал ошибки — амплитудную.



Фиг. 138. Упрощенная блок-схема бортовой аппаратуры снаряда для наведения его по лучу.

Рассмотрим блок-схему бортовой аппаратуры снаряда (фиг. 138). Антенная система снаряда может состоять из четырех антенн, расположенных под углом  $90^\circ$  на четырех стабилизаторах хвостового оперения. Каждая антенна подключается к отдельному приемнику или к разным каналам одного приемника. Из разностных напряжений диаметрально противоположных антенн получается сигнал ошибки, который характеризует положение снаряда относительно равносигнальной оси. Кроме того, выходное напряжение приемника включает в себя и опорный сигнал. После разделения сигналов в специальной схеме каждый из них детектируется. Так как амплитуда сигнала ошибки зависит от величины отклонения от равносигнальной оси, а фаза опорного напряжения всегда связана с определенным направлением в поперечном сечении луча, то после детектирования сигналов ошибки и опорного получают два постоянных напряжения, из которых первое пропорционально радиусу  $D_n$ , а второе — углу  $\theta$ , где  $D_n$  и  $\theta$  характеризуют полярные координаты снаряда относительно равносигнальной оси.

Если управление снарядом производится относительно его осей, образующих прямоугольную систему координат, то основными выходными элементами системы управления являются руль поворота и руль высоты. Поэтому продетектированные напряжения подаются в счетно-решающий прибор, который полярные координаты снаряда преобразует в прямоугольные координаты ( $D_n \sin \theta$  и  $D_n \cos \theta$ ).

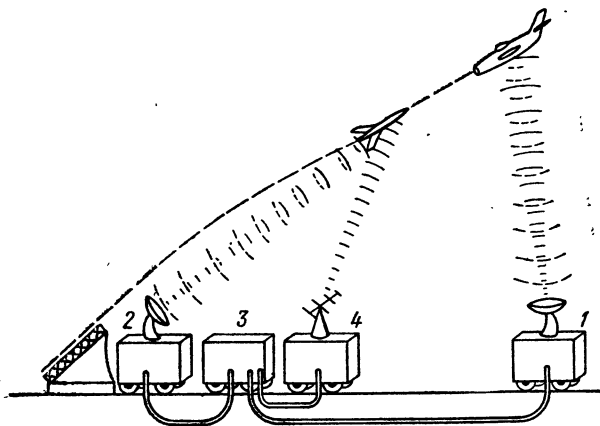
Напряжения, соответствующие этим прямоугольным координатам, усиливаются и поступают на рулевые машины, которые поворачивают рули поворота и высоты, направляя снаряд на цель по требуемой траектории.

Стартовую площадку следует размещать поблизости от радиолокатора с таким расчетом, чтобы снаряд после вылета безотказно вошел в равносигнальную зону. Эта задача разрешается тем проще, чем шире диаграмма направленности антенны радиолокатора. В целях увеличения точности управления снарядом диаграмму направленности делают узкой. Возникшее противоречие разрешается тем, что антенны радиолокатора формируют два луча: широкий (порядка  $20^\circ$ ) для управления снарядом на старте и узкий (порядка  $3^\circ$ ) для наведения снаряда на цель. Радиоволны в этих лучах имеют различные частоты. Переход с приема одного луча на другой производится в снаряде автоматически.

Основными преимуществами системы наведения по лучу являются относительная простота бортовой аппаратуры снаряда (все основное оборудование находится на земле) и возможность одновременного наведения нескольких снарядов на данную цель. К недостаткам системы относится заметное снижение точности управления по мере удаления снаряда от радиолокационной станции. Поэтому в дополнение к наведению по лучу на конечном этапе полета снарядов используют самонаведение.

#### Д. Управление снарядами при помощи командных сигналов <sup>1</sup>

В этой системе (фиг. 139) имеются два наземных радиолокатора, из которых один (1) автоматически сопровождает воздушную



Фиг. 139. Система управления снарядами с помощью командных сигналов.

цель, а второй (2) — снаряд. Данные о движении цели и снаряда поступают в счетно-решающее устройство 3, которое определяет уп-

<sup>1</sup> См. сноску, приведенную на стр. 233 (Локк А.).

режденные координаты, необходимые для встречи снаряда с целью. Согласно результатам вычислений станция 4 передает на снаряд команды, преобразуемые его бортовой аппаратурой в соответствующие движения рулей управления.

Если система имеет небольшую дальность действия, то возможно применение проводной линии связи, т. е. снаряд и станция связи соединяются проводом, который сматывается со снаряда по мере его движения. Такой способ связи чрезвычайно прост, но ненадежен в эксплуатации. В большинстве случаев управляющие команды передаются на снаряд по радио.

Несущая частота линии связи должна быть достаточно высокой, чтобы можно было сообщить необходимое число кодированных команд с требуемой скоростью, и аппаратура связи (особенно бортовая) не была громоздкой. Если требуется увеличение дальности связи, то предпочтительнее это сделать за счет мощности передатчика, поскольку последний находится на земле. Особенно важной в линии связи является ее помехозащищенность. В связи с этим применяют направленные излучение и прием командных сигналов и стремятся закодировать сигналы так, чтобы противник не мог их расшифровать.

Командные сигналы передаются посредством модуляции колебаний несущей частоты. Поэтому на снаряде должны быть установлены приемник с демодулятором, который восстанавливает переданный модулирующий сигнал, и элементы, преобразующие электрические командные сигналы в механические движения органов управления снарядом (автопилоты, рулевые машины, рули управления).

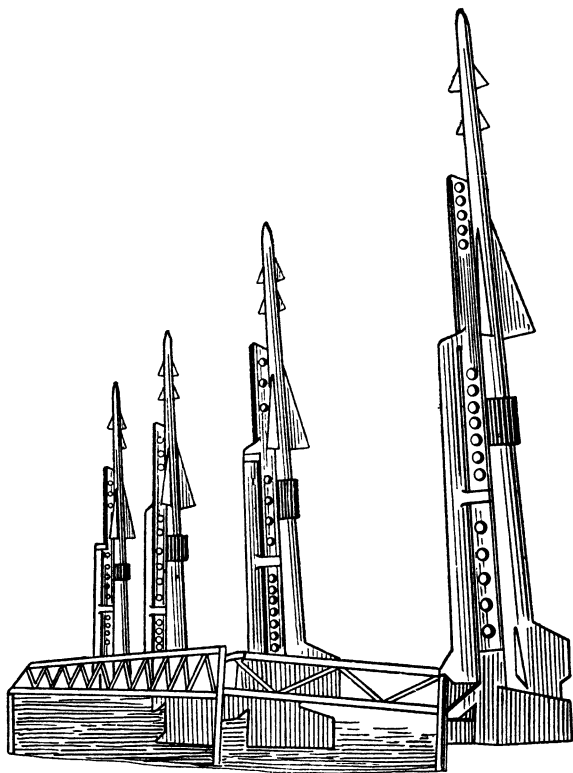
Что касается станций, определяющих координаты и скорость цели и снаряда, то к ним в основном предъявляются те же требования, что и к станциям орудийной наводки. Они производят поиск, опознавание («свой—чужой»), захват и автоматическое сопровождение цели.

Схема и устройство счетно-решающего прибора зависят от отличительных особенностей применяемой системы управления, как то: от траекторий движения снаряда, принятой в данной системе, от взаимного расположения станций, сопровождающих цель и снаряд, и т. д. Если расстояние между станциями велико, то счетно-решающий прибор должен учитывать явление параллакса. В том случае, когда управление снарядом происходит на старте, счетно-решающий прибор производит все расчеты, необходимые для запуска снаряда.

Управление снарядами при помощи командных сигналов может производиться и при наличии одной радиолокационной станции, если на снаряде, кроме аппаратуры для приема и преобразования командных сигналов, имеется ответчик. Последний, принимая сигнал радиолокатора, дает на него ответный сигнал, по которому можно судить о координатах снаряда. Для того чтобы антенна радиолокатора при узкой диаграмме направленности могла облучать не только цель, но и снаряд, командные сигналы подаются с таким расчетом, чтобы снаряд летел по линии, соединяющей радиолокационную станцию с целью.

Примером системы управления при помощи команд может служить зенитный снаряд «Найк» (фиг. 140).

Снаряд имеет длину 6,1 м и калибр (диаметр) 0,305 м. Для увеличения скорости снаряда на этапе старта применяется ускоритель, который отделяется от снаряда при переходе к этапу сближения. Максимальная скорость, сообщаемая снаряду реактивным двигателем, 670 м/сек. На старте снаряд весит 1000 кг, а после отделения ускорителя — 450 кг.



Фиг. 140. Батарея зенитных управляемых снарядов «Найк».

Снаряд (без ускорителя) имеет четыре крестообразных крыла треугольной формы и два яруса рулей такой же формы. На одной паре крыльев установлены элероны для стабилизации снаряда по крену.

Старт производится с площадки, состоящей из лафета и горизонтальной платформы, на которой расположены четыре снаряда. Каждый из них поочередно переводится на лафет в боевое (вертикальное) положение. Для этой цели служит подъемный механизм. Сближение снаряда с целью производится при помощи трех радиолокационных станций. Первая станция производит поиск, опознавание цели и наводит вторую станцию на обнаруженную цель. Вторая станция автоматически сопровождает ее и сообщает на счетно-решающее устройство текущие координаты цели. На второй станции предусмотр-

рен поиск только по высоте. Третий радиолокатор предназначен для автоматического сопровождения снаряда и выдачи его текущих координат на счетно-решающее устройство, а также для передачи на снаряд команд, поступающих с выхода этого устройства. На конечном этапе управление производится по методу полуактивного наведения. Для облучения цели в этом случае используется третий радиолокатор.

В заключение сравним различные методы управления зенитными снарядами.

Наиболее точной является система самонаведения, но дальность действия ее обычно невелика. Поэтому в большинстве случаев зенитные снаряды снабжаются головками самонаведения для применения их на конечном этапе управления.

Метод наведения по лучу имеет наибольшую пропускную способность: он позволяет выпускать один снаряд за другим с малым интервалом времени, но точность этого метода с увеличением дальности заметно понижается.

Управление снарядом с помощью команд при наличии двух радиолокационных станций позволяет выбрать любую, наиболее выгодную траекторию снаряда. Дальность действия системы максимальна. При правильно спроектированной линии связи помехозащищенность высокая. Недостатками метода являются ограничение пропускной способности (система не рассчитана на залпы более чем одним снарядом) и относительная сложность наземной аппаратуры, что, впрочем, более приемлемо, чем усложнение бортовой аппаратуры снаряда.

Наземная аппаратура упрощается в случае применения одного радиолокатора, но тогда на снаряде должен быть дополнительно помещен ответчик и траектория снаряда не может быть выбрана самой выгодной, а обязательно должна следовать за движением луча радиолокатора.

### **§ 3. ЭЛЕКТРОННЫЕ ЦИФРОВЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ**

#### **А. Общие сведения**

Электронные цифровые вычислительные машины предназначены для быстрого выполнения математических расчетов. Эти машины способны совершать не только арифметические операции, но и решать такие логические задачи, как сравнение величин, выбор наиболее выгодного решения и т. д.

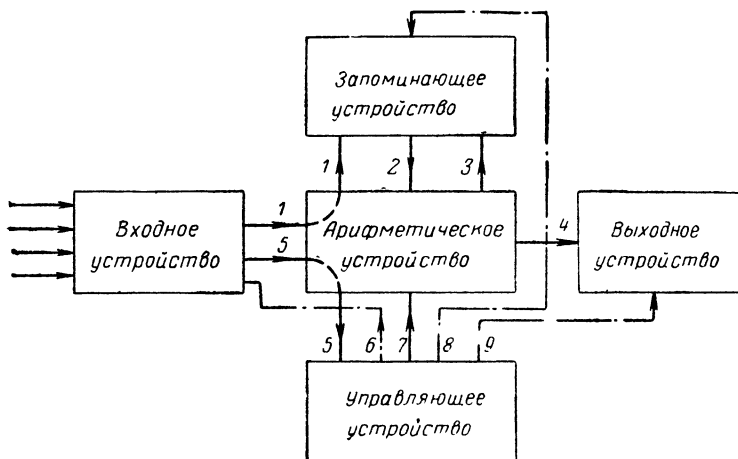
Области применения электронных вычислительных машин все более расширяются. Они, в частности, становятся неотъемлемым элементом современных радиолокационных устройств, применяемых в ПВО. На основе использования электронных вычислительных машин автоматизируется вся система ПВО ряда зарубежных стран.

Основные причины такого направления в развитии ПВО этих стран следующие. Огромные скорости управляемых снарядов и самолетов требуют очень быстрого ввода в действие имеющихся средств защиты от них, а для того чтобы эти средства использова-

лись наиболее рационально, необходимо предварительно произвести многочисленные расчеты с учетом таких факторов, как координаты и скорость воздушных объектов противника, масштабы воздушного нападения, расположение средств ПВО, их тактические возможности и т. д. Только электронные вычислительные машины способны решать подобные задачи с требуемой быстротой.

На фиг. 141 представлена блок-схема цифровой электронной вычислительной машины. В состав машины входят следующие элементы.

**Входное устройство**, предназначенное для ввода закодированных исходных данных в машину. В том случае, когда цифровая электронная вычислительная машина используется для управле-



Фиг. 141. Блок-схема электронной цифровой вычислительной машины.

ния объектами, входные данные поступают через небольшие промежутки времени, и чем меньше эти промежутки, тем точнее учитывается исходная информация. Код каждого числа, вводимого в машину, представляет собой определенную серию импульсов напряжения.

Для решения необходимых задач вместе с входной информацией в машину вводится инструкция (программа), которая кодируется по такому же принципу, как входные данные. Каждой операции присваивается определенный номер, а следовательно, ей соответствует определенная последовательность импульсов.

Дешифратор, имеющийся в машине, расшифровывает код команды, указанной в программе, и в соответствии с этим кодом производит необходимые включения. За одной командой следует другая, пока все расчеты, предусмотренные программой, не будут выполнены.

**Запоминающее устройство**, предназначенное для хранения кодов чисел и команд. Непрерывное выполнение арифме-



тических и логических операций требует, чтобы в машине запомнились результаты промежуточных вычислений и другая информация, требуемая для данной операции. Для этого и служит запоминающее устройство, содержащее большое количество элементов — ячеек. Каждая ячейка может, например, состоять из нескольких миниатюрных ферритовых сердечников, намагниченных согласно импульсам напряжения, образующим код запоминаемого числа. Когда данное число должно быть введено в арифметическую операцию, сердечники ячеек перемагничиваются и при этом воспроизводится та же последовательность импульсов, которая вызвала намагничивание сердечников.

Если бы не было запоминающего устройства, то нельзя было бы одновременно оперировать со многими исходными величинами, пользоваться результатами предыдущих вычислений, без остановки переходить от одной операции к другой, фиксировать изменения различных величин и т. д.

**Арифметическое устройство**, производящее все арифметические и логические операции, включенные в программу. Любая сложная функция, как известно из курса математики, может быть выражена с заданной точностью основными арифметическими действиями (сложением, вычитанием, умножением, делением). При обычном способе вычислений этим пользуются редко, так как при большом количестве слагаемых и множителей расчеты получаются очень трудоемкие. В данном случае это несущественно, поскольку продолжительность одной арифметической операции, совершаемой электронной машиной, не превышает нескольких микросекунд. Следовательно, арифметическое устройство может быть рассчитано только на элементарные арифметические и логические действия, и тем не менее машина сможет выполнять любые по сложности расчеты.

**Выходное устройство**, предназначенное для выдачи результатов расчетов в форме таблиц, графиков или в другом виде, удобном для изучения.

**Управляющее устройство**, которое обеспечивает автоматическое выполнение заданной программы вычислений с помощью сигналов, управляющих соединением различных узлов и элементов машины. Управляющие сигналы получают при расшифровывании кода очередной команды, включенной в программу.

На блок-схеме машины сплошными линиями показано прохождение исходных данных от входного устройства к запоминающему (линия 1), от запоминающего устройства к арифметическому (2), промежуточных вычислений — в обратном направлении (3) и результатов вычислений — от арифметического устройства к выходному (4). Программа (5) проходит от входного устройства к управляющему. Эта программа в некоторых типах машин непосредственно подается на управляющее устройство, минуя входной блок. Направление команд с управляющего устройства на основные блоки машины показано штрихпунктирными линиями 6, 7, 8, 9.

## Б. Ввод чисел в машину и их запоминание

1. Цифры и команды наиболее просто кодируются, если пользоваться двоичной системой счисления. В то время как в десятичной системе счисления оперируют десятью цифрами (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9), в двоичной системе — только двумя — нулем и единицей. Импульс постоянного тока эквивалентен цифре 1, а отсутствие импульса — цифре 0.

Как известно, числа в десятичной системе делятся на разряды, которые отсчитываются справа налево. В первом разряде указываются единицы ( $10^0=1$ ), а во втором — десятки ( $10^1=10$ ), в третьем — сотни ( $10^2=100$ ) и т. д. Аналогично составляются числа в двоичной системе, но основанием при возведении в степень служит не десять, а два. Например, в первом разряде двоичной системы указываются единицы ( $2^0=1$ ), во втором — двойки ( $2^1=2$ ), в третьем — четверки ( $2^2=4$ ) и т. д. В общем виде это можно записать так: если  $n$  — разряд числа, то его единицей является  $2^{n-1}$ , причем в данном разряде коэффициентом может быть либо единица (1), либо нуль (0), тогда как в десятичной системе счисления число единиц каждого разряда достигает девяти.

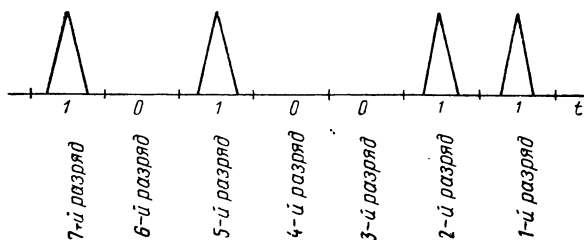
Например, число 83 имеет двоичный код

так как

$$\begin{array}{ccccccc} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1, \\ \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow \\ 1 \cdot 2^6 + 0 \cdot 2^5 + 1 \cdot 2^4 + 0 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = \\ = 64 + 0 + 16 + 0 + 0 + 2 + 1 = 83. \end{array}$$

Такой код можно передать последовательностью импульсов, показанной на фиг. 142.

2. При вводе в машину исходные данные кодируются пробиванием отверстий (перфорацией) в прямоугольных картах или в теле-

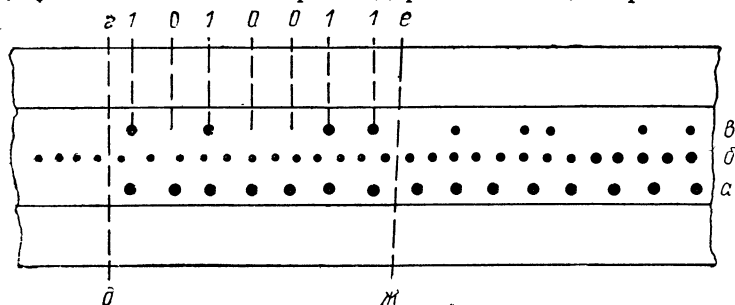


Фиг. 142. Электрический код числа 83.

графных лентах. Такая лента показана на фиг. 143. Отверстия, пробитые на дорожке *a*, определяют интервал между кодами. Через отверстия дорожки *b* проходят зубцы колес лентопротяжного механизма, который используется во время перфорации. Код информации наносится на дорожку *в*. Каждое пробитое отверстие соответствует коду «1», а отсутствие отверстия означает код «0».

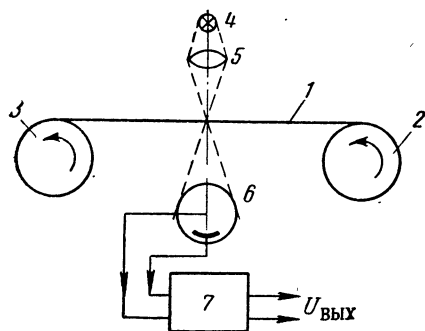
Например, на участке  $г—д$ ,  $е—ж$  ленты закодировано число 83 в двоичной системе счисления (1010011)\*.

В машине производится считывание информации. Принцип фотоэлектрического способа считывания заключается в следующем. Перфорированная лента 1 (фиг. 144) перематывается с катушки 2 на катушку 3. При этом луч света источника 4, который с помощью линзы 5 сфокусирован на дорожке ленты, содержащей код информации, при попадании в отверстия дорожки освещает фотоэлемент 6.

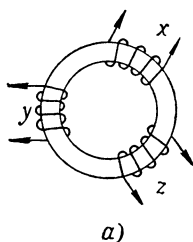


Фиг. 143. Перфорированная лента для кодирования информации, вводимой в машину.

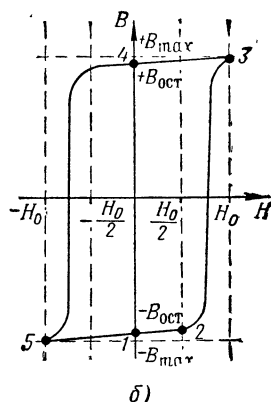
На нагрузке фотоэлемента, включенной между входными зажимами усилителя 7, появляются импульсы напряжения, соответствующие коду «1».



Фиг. 144. Фотоэлектрический способ считывания данных с перфорированной ленты.



а)

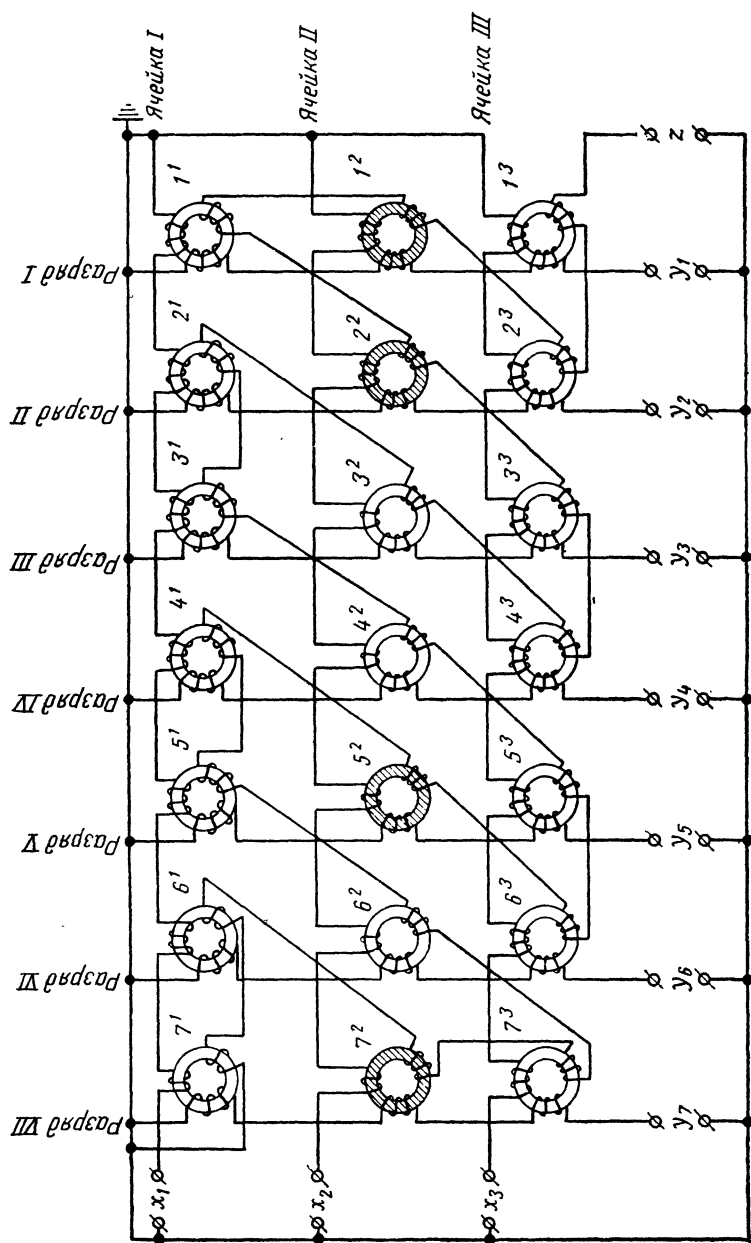


б)

Фиг. 145. Ферритовый сердечник (а) и его кривая намагничивания (б).

Скорость считывания информации фотоэлектрическим способом сравнительно велика (несколько тысяч цифр в секунду), но все же недостаточна для оперативной работы электронной машины. Поэтому полученные импульсы передаются в оперативное запоминающее

\* Обычно при вводе в машину используется двоично-десятичная система счисления, которая служит для перехода от десятичного счисления к двоичному.



Фиг. 146. Запоминающее устройство на ферритовых сердечниках.

устройство, которое обладает настолько большой скоростью считывания, что может быть использовано непосредственно в процессе вычислений.

3. Рассмотрим оперативное запоминающее устройство, основанное на применении кольцевых ферритовых сердечников (фиг. 145, а). Одним из положительных свойств феррита является прямоугольная форма его гистерезисной петли (фиг. 145, б).

Напряженность магнитного поля  $H$  определяется токами в обмотках  $x, y$ . Поля, создаваемые этими токами, складываются, и только при наличии токов в обеих обмотках напряженность поля достигает величины  $H_0$ , достаточной для перемагничивания сердечника.

Допустим, что в исходном состоянии ( $H=0$ ) остаточная индукция сердечника имеет отрицательный знак (точка 1 на петле гистерезиса). Тогда при наличии в обмотке  $x$  положительного подмагничивающего тока напряженность поля становится равной  $H_0/2$ . Тем не менее магнитная индукция почти не изменяется (точка 2), поскольку гистерезисная петля прямоугольная. Когда же подмагничивающий ток имеется в обмотках  $x$  и  $y$ , сердечник резко перемагничивается и магнитная индукция достигает максимального положительного значения (точка 3). После этого ток в обмотках  $x, y$  может прекратиться ( $H=0$ ), а намагничивание сохраняется (точка 4).

Для того чтобы сердечник возвратился в исходное состояние, через обе подмагничивающие обмотки следует пропустить импульсы тока обратного направления, и тогда магнитная индукция изменится согласно кривой 4—5—1. Таким образом, ферритовый сердечник может находиться сколько угодно долго в состоянии 1 или 4, из которых одно состояние соответствует коду «0», а другое «1».

Обмотка  $z$  является входной при записи и выходной при чтении кодированных импульсов. В выходной обмотке при перемагничивании сердечника индуцируется импульс э. д. с., определяющий код информации.

4. На фиг. 146 показана схема включения трех ячеек запоминающего устройства, рассчитанного на семь разрядов кода. Каждая ячейка состоит из семи ферритовых сердечников, расположенных по одной горизонтали. На каждом сердечнике имеется по три обмотки  $x, y, z$ . Элементы ячеек, входящие в одну вертикальную группу, образуют один разряд.

Подмагничивающие обмотки  $x$  каждой ячейки соединяются последовательно между собой и питание к ним подводится через зажимы  $x_1, x_2, x_3...$  Подмагничивающие обмотки  $y$  соединяются последовательно в пределах элементов одного разряда, а питание к ним подается через зажимы  $y_1, y_2, y_3...$  Что касается обмоток  $z$ , то они соединяются последовательно через все элементы.

Допустим, что требуется запомнить в ячейке II ранее полученный код 1010011. Для этого, во-первых, на все подмагничивающие обмотки ячейки II, т. е. на контакты  $x_2, y_7, y_6, y_5, y_4, y_3, y_2, y_1$ , должны быть поданы положительные импульсы одинаковой амплитуды; во-вторых, импульсы кода до подведения к контактам  $z$  следует усилить и преобразовать так, чтобы полярность их была отрицательной,

амплитуда такой же, как в одной из подмагничивающих обмоток, и, наконец, наличие импульса соответствовало коду «0», а отсутствие — коду «1».

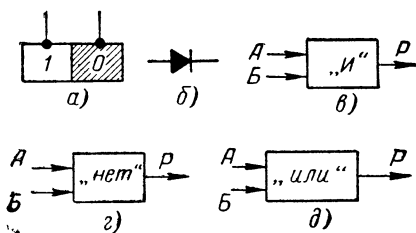
Тогда заштрихованные на фиг. 146 сердечники перейдут в состояние положительного намагничивания (точка 4 на фиг. 145, б), а незаштрихованные сердечники ячейки II сохранят отрицательное намагничивание (точка 2 на фиг. 145, б), так как в последних положительный ток одной из подмагничивающих обмоток будет компенсирован отрицательным током входной обмотки  $z$ , а тока в другой подмагничивающей обмотке недостаточно для перемагничивания. В результате в ячейке II будет записан код 1010011.

Когда потребуется произвести считывание записанного кода, то на те же контакты  $x_2, y_7, y_6, y_5, y_4, y_3, y_2, y_1$  будут поданы равные по амплитуде импульсы отрицательной полярности. При этом магнитная индукция положительно намагниченных сердечников изменится значительно (согласно кривой 4, 5, 1 на фиг. 145, б), а отрицательно намагниченных сердечников — весьма незначительно (по кривой 1, 5, 1). Следовательно, на контактах  $z$  выходных обмоток будут появляться импульсы напряжения только во время воспроизведения 7, 5, 2, 1 разрядов кода. Таким образом, получится ранее записанный код 1010011.

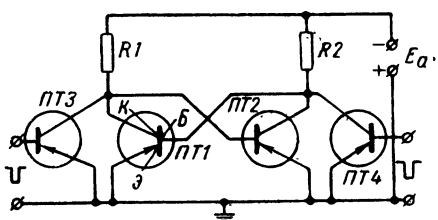
Нетрудно заметить, что адрес ячейки, в которой записывается и считывается код числа или команды, зависит от того, на какие контакты  $x, y$  и соответствующие подмагничивающие обмотки подаются импульсы постоянного тока. Вот почему эти обмотки называются адресными.

## В. Арифметические и логические операции

Согласно заданной программе работы машины каждое число, участвующее в операции, извлекается из определенной ячейки за-



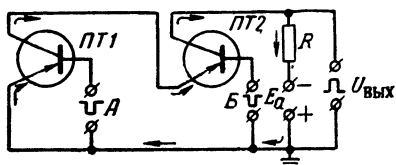
Фиг. 147. Условное изображение триггера (а), вентилей (б), схемы совпадений (в), схемы несовпадений (г) и разделительной схемы (д).



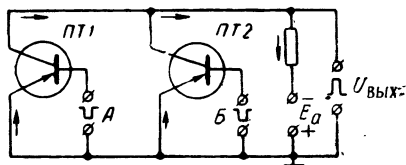
Фиг. 148. Схема триггера на полупроводниковых триодах с поверхностным барьером.

поминающего устройства, затем поступает в свой регистр и сумматор арифметического устройства. Регистр данного числа состоит из триггеров, по одному на каждый разряд кода, а сумматор содержит ряд таких элементов, как вентили и схемы, совершающие элементарные логические операции («и», «нет», «или»). Условно триггер, вентиль, схемы совпадений («и»), несовпадений («нет») и разделительная («или») изображаются так, как показано на фиг. 147.

*Триггер* (фиг. 147, а) представляет собой электронное реле с двумя устойчивыми состояниями, из которых одно соответствует коду «1», а другое — коду «0». Стрелка в схеме вентиля (фиг. 147, б) указывает направление его односторонней проводимости. Схема «и» (фиг. 147, в) означает, что на выходе импульс  $P$  появляется лишь при одновременной подаче на вход импульсов  $A$  и  $B$ . В схеме «нет» (фиг. 147, г) импульс на выходе не поступает, если на входе имеется какой-либо импульс  $A$ ,  $B$ . Разделительная схема («или») пропускает импульс на выход, если на вход поступает только один импульс  $A$  или  $B$ .



Фиг. 149. Схема совпадений («и») на полупроводниковых триодах с поверхностным барьером.



Фиг. 150. Разделительная схема («или»), выполненная на полупроводниковых триодах с поверхностным барьером.

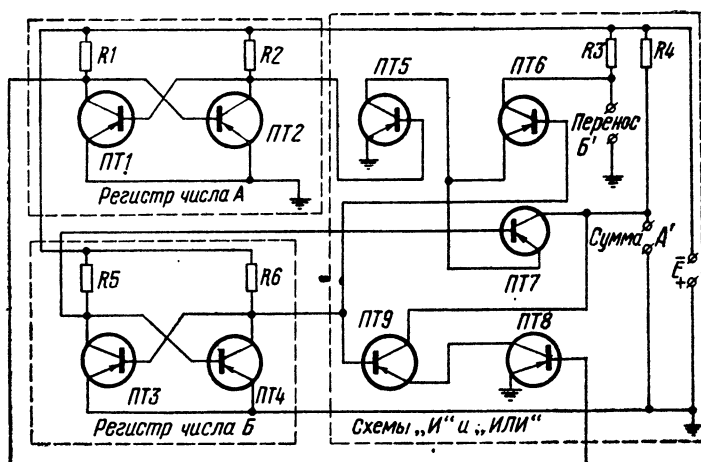
Все эти схемы могут работать на электронных лампах или полупроводниковых приборах. Особенно экономичны схемы, выполненные на полупроводниковых триодах. Примером такой схемы может служить *триггер*, показанный на фиг. 148. Кроме триодов  $PT1$ ,  $PT2$  и нагрузочных сопротивлений  $R1$ ,  $R2$ , образующих триггер, в схеме имеются триоды  $PT3$ ,  $PT4$ , предназначенные для запуска триггера.

Полупроводниковый триод с поверхностным барьером содержит эмиттер Э, базу Б и коллектор К, которые выполняют такие же функции, как соответственно катод, управляющая сетка и анод электронной лампы. Для данного полупроводникового триода характерно то, что он открывается при отрицательном напряжении на базе, превышающем по абсолютной величине  $0,1$  в; при этом также на коллектор должно быть подано отрицательное (относительно эмиттера) напряжение, и если оно по абсолютной величине превышает  $0,1$  в, то наступает насыщение тока коллектора.

Допустим, что триод  $PT1$  закрыт. Тогда нет падения напряжения на сопротивлении  $R1$ , и к коллектору триода  $PT1$ , а следовательно, и к базе триода  $PT2$  полностью приложено отрицательное напряжение источника  $E = -(1,5 \div 3$  в). Этого достаточно, чтобы триод  $PT2$  был открыт; ток его коллектора проходит по цепи плюс источника, эмиттер—коллектор, сопротивление  $R2$ , минус источника. Так как сопротивление  $R2$  значительно больше внутреннего сопротивления проводящего триода  $PT2$ , то на его коллекторе и на базе триода  $PT1$  напряжение практически равно нулю. В связи с этим триод  $PT1$  фиксируется в запертом состоянии.

В таком положении схема находится до поступления на базу триода  $PT3$  отрицательного пускового импульса. С появлением этого импульса ток коллектора триода  $PT3$  увеличивается за счет

падения напряжения на сопротивлении  $R_1$ , отрицательное напряжение на коллекторе триода ПТ1 и базе ПТ2 по абсолютной величине уменьшается. Соответственно понижается ток в цепи эмиттер—база, а это вызывает уменьшение тока в цепи коллектора триода ПТ2. В результате на коллекторе триода ПТ2 и базе триода ПТ1 увеличивается отрицательное напряжение, растут токи в цепи эмиттер—база и в цепи коллектора триода ПТ1; напряжение на коллекторе того же триода все более приближается к нулевому и т. д. Триод ПТ1 лавинообразно открывается, а триод ПТ2 запирается. Схема переходит в новое устойчивое состояние, из которого она может



Фиг. 151. Схема суммирования двух чисел.

быть переведена в первоначальное состояние только при подаче отрицательного пускового импульса на базу триода ПТ4.

Выходные импульсы снимаются с коллектора триодов триггера. Если коду «0» соответствует напряжение на коллекторе открытого триода ( $U_k \approx 0$ ), то коду «1» соответствует напряжение на коллекторе закрытого триода ( $U_k = -E$ ).

Схема совпадений («и»), изображенная на фиг. 149, работает следующим образом. Если на вход триодов ПТ1 и ПТ2 не подается хотя бы один из отрицательных импульсов  $A$  или  $B$ , то соответствующий триод заперт. Поскольку триоды соединены последовательно, то через сопротивление  $R$  не проходит ток и на выходе напряжение равно  $-E$ . Когда же импульсы  $A$  и  $B$  поданы одновременно, то оба триода открыты, ток коллектора идет в направлении, показанном стрелками, и за счет падения напряжения на сопротивлении  $R$  получают положительные выходные импульсы.

В разделительной схеме («или»), показанной на фиг. 150, достаточно подать один отрицательный входной импульс ( $A$  или  $B$ ), чтобы соответствующий триод (ПТ1 или ПТ2) открылся, напряжение на сопротивлении нагрузки  $R$  резко увеличилось и на выходе получился положительный импульс.



Перед тем как перейти к схеме сумматора, составляющего основную часть арифметического устройства, рассмотрим арифметические основы сложения чисел при двоичной системе счисления.

В любой системе счисления сложение чисел производят поразрядно, переходя от первого разряда к высшему; при этом следует иметь в виду, что в данном случае  $0+0=0$ ,  $0+1=1$ ,  $1+0=1$ ,  $1+1=0$  с переносом 1 в более высокий разряд,  $1+1+1=1$  с переносом 1 в более высокий разряд и т. д. Следовательно, при сложении чисел  $A$  (83) и  $B$  (15) получаем:

	11 111	Перенос
код числа $A$ . . .	1010 011	
код числа $B$ . . .	0001 111	
код суммы	1100 010	

Это соответствует

$$1 \cdot 2^6 + 1 \cdot 2^5 + 0 \cdot 2^4 + 0 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0 = \\ = 64 + 32 + 0 + 0 + 0 + 2 + 0 = 98.$$

Такой же результат получается при сложении чисел  $A$  и  $B$  в десятичном счислении ( $83+15=98$ ).

Схема суммирования чисел  $A$  и  $B$  состоит из элементарных схем «и» и «или», регистров чисел  $A$  и  $B$  и регистров суммы  $A$  и переноса  $B$ . Последние два регистра и элементы запуска триггеров чисел  $A$  и  $B$  на фиг. 151 не показаны.

Триггеры регистров  $A$  и  $B$  запускаются импульсами, которые снимаются с соответствующих ячеек запоминающего устройства. Триоды ПТ5 и ПТ6 с сопротивлением нагрузки  $R3$  образуют схему «и» канала переноса. Вместе с тем триод ПТ5 с триодом ПТ7 и сопротивлением  $R4$  образуют схему «и» канала «суммы». Другая схема «и» того же канала составлена из триодов ПТ8 и ПТ9 и сопротивления  $R4$ . Так как последние две группы триодов имеют общую нагрузку ( $R4$ ), то они одновременно образуют схему «или».

Последовательность сложения кодов в схеме такая же, как при вычислениях, приведенных выше. Через равные промежутки времени, скажем, 1 *мксек*, складываются коды 1-го, 2-го, 3-го и т. д. разрядов.

Числа  $A$  и  $B$  в первом разряде имеют код «1». Это значит, что с правых триодов регистров чисел  $A$  и  $B$  на базы триодов ПТ5, ПТ6 и ПТ9 подается отрицательное напряжение  $-E$ , которым открываются эти триоды. Другие триоды схемы сложения ПТ7 и ПТ8 заперты, так как их базы соединены с левыми триодами регистров и напряжение на них приблизительно равно нулю. По этой причине только схема «и» канала переноса (ПТ5, ПТ6) срабатывает и с нагрузочного сопротивления  $R3$  на шину  $B'$  «перенос» снимается положительный импульс, а на шине «сумма  $A'$ » импульсов нет. Таким образом, получился требуемый код суммы «0» и переноса «1», который фиксируется триггерами данных регистров.

Для того чтобы код переноса  $B'$  был учтен при сложении во втором разряде, этот код задерживается на 1  $\mu$ сек и вместе с кодом  $A'$  поступает в совершенно аналогичную схему сложения, не показанную на фиг. 151. На выходе второй половины сумматора имеется только один регистр суммы.

В рассматриваемом примере во втором разряде складываются коды «1» чисел  $A$  и  $B$  и код переноса первого разряда «1». В первой половине сумматора, как было доказано, получается код  $A'$  «0» и код переноса  $B'$  «1». Во второй половине сумматора складываются данный код числа  $A'$  «0» и ранее полученный код числа  $B'$  «1». Для определения результата вычисления допустим, что в первой половине сумматора складываются код «0» числа  $A$  и код «1» числа  $B$ .

В этом случае с коллекторов триодов ПТ1 и ПТ4 подается пусковое отрицательное напряжение  $-E$  на базы триодов ПТ6, ПТ8, ПТ9, а триоды ПТ5, ПТ7 заперты нулевым напряжением на их базах. Открытой оказывается только одна схема «и» (ПТ8, ПТ9) канала суммы. Так как это сложение в действительности происходит не в первой, а во второй половине сумматора, то окончательно при сложении кодов второго разряда получается код суммы «1» и код переноса в третий разряд «1».

Читателю предоставляется возможность убедиться, что результат сложения в третьем и более высоких разрядах чисел  $A$  и  $B$  совпадает с приведенными вычислениями.

Электронные вычислительные машины не являются основной темой настоящей книги, а потому здесь не рассматриваются вычитание, умножение, деление чисел; они выполняются сумматорами, которые отличаются от описанных некоторыми дополнительными элементами.

## Г. Управляющее и выходное устройства

Команды управления машиной могут иметь различную структуру. Распространенными являются трехадресные команды. Первый и второй адреса указывают номера ячеек запоминающего устройства, в которых хранятся числа, участвующие в данной арифметической операции. Третий адрес означает номер ячейки, в которую следует записать результат операции. Кроме того, в команде указывается код операции.

Принцип выполнения команды можно понять на примере схемы дешифратора, рассчитанного на четыре команды (фиг. 152). Схема начинается с триггеров регистра команды, выполненных на триодах ПТ1, ПТ2, ПТ3, ПТ4. Триггеры управляются импульсами кода команды, ранее записанного в оперативном запоминающем устройстве. Второй разряд кода фиксируется триггером ПТ1, ПТ2, а первый разряд — триггером ПТ3, ПТ4.

Допустим, что дана команда сложения, закодированная 00. Тогда на правых триодах триггеров напряжение относительно эмиттеров равно нулю, а на левых  $-E$ . В связи с этим диоды  $B1$ ,  $B2$ ,



ды из оперативного запоминающего устройства передается на регистр команд. Третьим импульсом открываются вентили, через которые ячейка оперативного запоминающего устройства, указанная в первом адресе команды, соединяется с соответствующим регистром арифметического устройства. Четвертый импульс аналогичным способом вводит второе число в арифметическое устройство, одновременно код операции передается на дешифратор и тем самым обеспечивается выполнение требуемой операции. Наконец, пятый импульс открывает вентили, соединяющие шину результата операции с ячейкой оперативного запоминающего устройства, указанной в третьем адресе команды.

Для того чтобы в следующий такт выполнялась очередная команда программы, в начале каждого такта к коду команды автоматически прибавляется единица.

Вывод данных из машины осуществляется аналогично вводу, но в обратном направлении. Для этого используются фотопечатный способ, перфорация лент или электрические пишущие машинки.

#### **§ 4. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПВО**

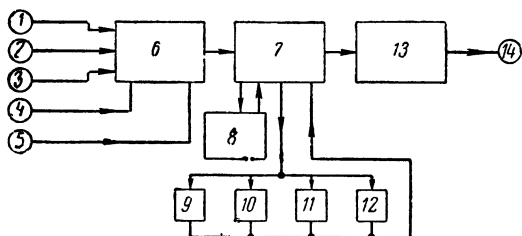
В систему ПВО любой страны входит множество радиолокационных станций и других средств. В связи с тем что условия распространения волн СВЧ создают ограничения в дальности действия радиолокационных станций, для дальнего обнаружения, кроме наземных радиолокационных станций, в зарубежных армиях широко используют специально оборудованные корабли, подводные лодки и самолеты радиолокационного дозора. В море устанавливают вышки, на которых смонтированы радиолокаторы дальнего обнаружения.

Наряду с увеличением дальности радиолокационного обнаружения необходимо сосредоточить сведения, поступающие со всех радиолокационных станций ПВО, в центре управления боевыми средствами ПВО. До последнего времени централизация сети радиолокационных станций ряда стран выражалась в том, что операторы радиолокаторов сообщали по телефону в центр сбора радиолокационных данных координаты обнаруженных самолетов. В этом центре полученные данные наносились на планшет и для неопознанных самолетов (свой-чужой) сопоставлялись с заранее известными планами полета своих самолетов. Если обнаруженный самолет был признан принадлежащим противнику, то принималось решение об использовании активных средств ПВО, и это решение сообщалось по телефону или по радио соответствующему офицеру.

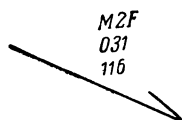
Такая система может быть распространена только на крайне ограниченный район и не обеспечивает требуемой быстроты в управлении активными средствами ПВО.

Согласно материалам, опубликованным в иностранной печати, командные пункты ПВО в настоящее время оснащаются более совершенной автоматически действующей аппаратурой.

На такой командный пункт поступает многочисленная информация от радиолокационных станций обнаружения, разбросанных по всему географическому району, от центральных пунктов соседних районов, метеорологические данные и т. д. Эта информация должна быть обработана весьма срочно, так как современные самолеты и управляемые снаряды летают со сверхзвуковой скоростью и их координаты быстро изменяются. Кроме того, при выработке команды для активных средств ПВО должны быть учтены территориальное расположение этих средств, их тактические возможности, масштабы воздушного нападения противника и т. д. Таким образом, в очень короткое время, исчисляемое секундами, необходимо про-



Фиг. 153. Упрощенная блок-схема полуавтоматической системы «Сейдж».



Фиг. 154. Отметки цели на экране трубки «характрон».

известить весьма сложную вычислительную работу большого объема. Это может быть осуществлено только устройствами, содержащими электронные вычислительные машины.

Примером такого устройства является полуавтоматическая система «Сейдж», описанная в иностранных журналах. На фиг. 153 в упрощенном виде представлена блок-схема аппаратуры командного пункта района, входящего в систему «Сейдж».

Вся схема концентрируется вокруг цифровой электронной вычислительной машины, работающей по двоичной системе счисления.

В арифметическое устройство вычислительной машины данные поступают через запоминающее устройство 6. Источником информации являются радиолокационные станции обнаружения 1, соседние центры 2, наземные наблюдатели 3, планы полетов своих самолетов 4 и метеорологические данные 5. Все эти сведения вводятся в машину по-разному. Например, данные от радиолокационных станций поступают по телефонным линиям в форме видеопульсов, которые модулируют колебания несущей частоты. Затем происходит детектирование видеопульсов, их селекция и запоминание. Сведения, поступающие от соседних центров, вводятся автоматическим способом непосредственно в блок 6. Информация от наземных наблюдателей подается ручным способом. Планы полетов и метеорологические данные вводятся в машину при помощи перфорированных карт, отверстия в которых пробиваются специальными устройствами.

Наряду с кодированием вводимых данных они обрабатываются для уничтожения помех и искажений. Закодированные сигналы сохраняются в запоминающем устройстве до тех пор, пока они не потребуются для решения той или иной задачи.

Если информация, поступающая в вычислительную машину, не содержит сведений о государственной принадлежности обнаруженного объекта, то вычислительная машина по запросу оператора сопоставляет движение объекта с запланированными полетами своих самолетов. Одновременно на основании сведений о расположении и возможностях активных средств ПВО машина устанавливает, какие из этих средств наиболее рационально использовать в данных обстоятельствах. Такая задача решается менее чем за 1 мин.

Выходные данные в виде закодированных команд поступают через устройство 13 на линию 14, которая разветвляется по каналам телефонной и радиотелефонной связи, ведущим к пунктам местной ПВО, истребителям, находящимся в воздухе, авиационным базам, зенитным батареям, батареям управляемых снарядов и к другим командным центрам ПВО.

Контроль работы системы и принятие решения производятся с помощью операторов 9, 10, 11, 12 и устройства 8 для прокладки курса, осуществляемой вычислительной машиной по координатам летящих самолетов и снарядов. Все операторы имеют перед собой индикаторы типа «характрон». На экранах этих индикаторов изображены карты местности контролируемого подсектора ПВО. На

карте указаны расположение баз истребителей, батарей зенитной артиллерии и управляемых снарядов. Здесь же обозначены радиусы действия этих батарей.

В соответствии с картой местности на экранах появляются отметки целей. Эти отметки имеют вид условных знаков, которые характеризуют цель согласно расчетам, производимым вычислительной машиной. Условные знаки состоят из стрелки и нескольких букв и цифр (фиг. 154). По направлению стрелки можно судить о курсе цели, а по длине стрелки — о скорости цели. Первая буква и средняя цифра в первой строке дают опознавательный номер цели. Правая буква в той же строке условно обозначает тип самолета (гражданский, истре-

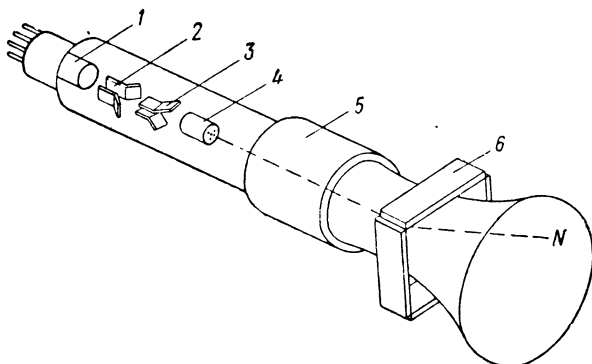
Q	X	Y	V	J	M	W	Z
a	R	L	N	G	S	T	u
b	D	O	2	4	6	8	t
d	F	I	3	5	7	9	r
f	C	H	I	P	U	A	n
+	h	K	B	E	□	■	■
↑	1	2	3	●	○	◐	◑
+	.	+	△	◇	◇	◇	◇

Фиг. 155. Матрица трубки «характрон».

битель, бомбардировщик и т. д.); если эта буква большая, то самолет чужой, а если буква малая, то свой. Первые две цифры второй строки точно определяют скорость цели, а первые две цифры третьей строки указывают число самолетов в группе. Наконец оставшиеся две цифры третьего ряда в соответствии с данными,

поступившими в вычислительную машину от наземного радиовысотомера, указывают высоту цели.

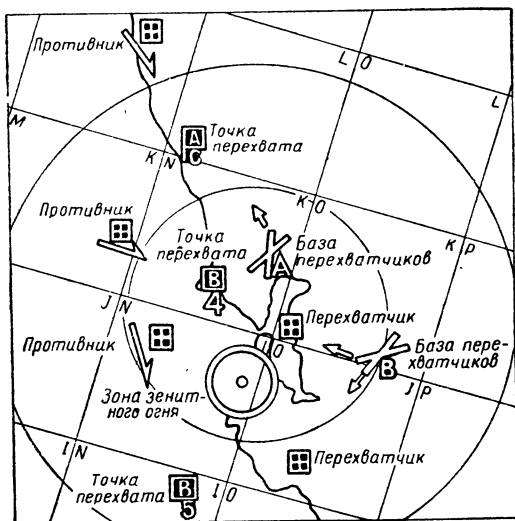
Электронно-лучевая трубка «характрон» отличается от обычных трубок в основном тем, что в ней электронный луч на пути движе-



Фиг. 156. Формирование электронного луча в трубке «характрон».

ния от катода к экрану трубки проходит через отверстия матрицы, изображенной на фиг. 155. Матрица представляет собой металлическую пластину толщиной 0,025 мм, в которой фотомеханическим путем вытравлены буквы и цифры. В данном случае этих знаков 64.

Луч, выйдя из электронной пушки 1 (фиг. 156), попадает в горизонтальные 2 и вертикальные 3 селектирующие пластины, после чего проходит через одно из отверстий матрицы 4. Какое именно отверстие будет пройдено лучом, зависит от напряжений на селектирующих пластинах. Выйдя из этого отверстия, луч принимает форму соответствующего знака, после чего он фокусируется катушкой 5, попадает в поле отклоняющих катушек 6 и проецируется на экране. В зависимости от токов в отклоняющих катушках луч попадает в ту или иную точку экрана. Очевидно, что эти токи должны зависеть от координат объекта, а напряжения на селектирующих пластинах—от дру-



Фиг. 157. Экран индикатора, которым пользуется оператор, командующий активными средствами ПВО.

гих характеристик цели. Скорость движения электронного луча и величина послесвечения трубки достаточно велики, чтобы все знаки, характеризующие объект, были видны одновременно.

Для иллюстрации практического применения трубки «характрон» заметим, что если по расчету следует использовать истребители-перехватчики, то из точки, изображающей расположение базы этих истребителей, появляется стрелка, указывающая первоначальное направление, в котором должны лететь истребители (фиг. 157). Вместе с тем в том месте экрана, которое соответствует пункту встречи истребителей с целью, появляется буква—символ данной базы истребителей. Букву окружает квадрат, под которым указывается время в минутах, необходимое для перехвата.

Вычислительная машина производит все расчеты по наведению своих истребителей на самолеты противника. Если требуется изменить первоначальный курс истребителей, то на это также указывает машина. Расчеты по наведению своих истребителей машина командного пункта прекращает тогда, когда летчик-истребитель может пользоваться автоматическим радиолокационным прицелом, установленным на самолете. Таким образом, операторы в основном осуществляют контроль за работой вычислительной машины и только при особых обстоятельствах изменяют ее решение, но и в этом случае руководствуются вычислениями машины.

---



## РАЗДЕЛ ВТОРОЙ

# САМОЛЕТНЫЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ СТАНЦИИ

---

### Глава IV

## ОСОБЕННОСТИ САМОЛЕТНОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ АППАРАТУРЫ

### § 1. ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К САМОЛЕТНЫМ РАДИОЛОКАЦИОННЫМ СТАНЦИЯМ

С каждым годом растет удельный вес электронной аппаратуры в оборудовании самолетов. На современном иностранном бомбардировщике имеются приборы, насчитывающие до 2000 электронных ламп, а стоимость их составляет половину общей стоимости бомбардировщика. В основном самолетная аппаратура является радиолокационной.

По мнению иностранных специалистов, к самолетным радиолокационным станциям следует предъявлять следующие требования:

а) Электрические и конструктивные параметры самолетной радиолокационной станции должны соответствовать ее назначению. Например, мощность передатчика, чувствительность приемника и коэффициент усиления антенны поисковой самолетной станции должны быть достаточно высокими, чтобы станция имела большую дальность действия, так как от этого зависит, кто раньше — экипаж своего самолета или чужого — обнаружит противника и кто из них выйдет победителем из воздушного сражения.

б) Габариты самолетных радиолокационных станций должны быть минимальными, так как аппаратуры на самолете много, а возможность ее размещения крайне ограничена. Это в первую очередь относится к одноместным истребителям, размеры которых значительно меньше размеров других боевых самолетов<sup>1</sup>. Габариты самолетной радиолокационной аппаратуры уменьшаются за счет преимущественного применения сантиметровых волн, использования малогабаритных деталей, рациональной конструкции и монтажа станции.

в) Вес радиолокационных станций, устанавливаемых на самолете, должен быть сведен до минимума. Уменьшение веса, так же как и объема, способствует увеличению скорости, маневренности и улучшению других боевых качеств самолета.

г) Самолетная радиолокационная аппаратура должна быть рассчитана на работу в условиях изменения температуры внешней сре-

---

<sup>1</sup> А. Ван Дейк. Авиационная электроника. Вопросы радиолокационной техники. ИЛ, 1954, № 3.

ды от  $-65$  до  $+55^{\circ}\text{C}$  и более<sup>1</sup>. Внутри блоков температура может быть значительно выше. Так, общая внутренняя температура блока достигает  $+120^{\circ}\text{C}$ <sup>2</sup>, а некоторые наиболее сильно нагревающиеся детали должны быть рассчитаны на рабочую температуру  $+200^{\circ}\text{C}$ .

д) Детали самолетных радиолокационных станций должны безотказно работать при относительной влажности, достигающей 100%, и при изменении атмосферного давления от 780 до единиц мм рт. ст.

е) Радиолокационная аппаратура, установленная на самолете, не должна ухудшать его аэродинамические качества. В частности, выступающие за пределы фюзеляжа детали радиолокационной антенны должны находиться в обтекателе, который имел бы минимальное аэродинамическое сопротивление. Вместе с тем этот обтекатель должен быть прозрачным для электромагнитных волн, не должен создавать больших потерь электромагнитной энергии и существенно искажать диаграмму направленности антенны. Следует помнить, что антенные обтекатели, устанавливаемые на реактивных самолетах, подвергаются сильному сжатию за счет высокой скорости полета и поверхностному нагреву за счет трения о воздух.

ж) Самолетные радиолокационные станции должны отличаться повышенной механической прочностью. Узлы и детали самолетной аппаратуры подвергаются сильным ударам и вибрациям. Они испытывают ускорения, которые в ряде случаев превышают  $30g$ , а в управляемых снарядах эти нагрузки намного больше.

з) Самолетная радиолокационная аппаратура должна быть удобной для эксплуатации летным составом. Следует добиваться предельного упрощения системы управления станцией. Это требование вытекает из того, что исход боя скоростных самолетов подчас решается в секунды и даже в доли секунды, а в таких условиях крайне важно облегчить эксплуатацию станции экипажем самолета. Если же радиолокационная станция предназначена для установки на одноместном истребителе, то это требование, пожалуй, является одним из основных при проектировании станции.

и) Станция должна легко монтироваться и демонтироваться на самолете, контроль ее работы в аэродромных условиях не должен вызывать затруднений. Смену ламп и неисправных деталей следует упростить. Отыскание любых повреждений в станции должно быть доступным техническому составу авиачастей.

На самолете невозможно разместить громоздкое оборудование, к тому же замена такого оборудования, если бы оно и разместилось на самолете, связана с большими трудностями. Поэтому самолетные радиолокационные станции делятся на блоки, которые соединяются при помощи штепсельных разъемов. В последнее время блоки в свою очередь составляют из легко сменяемых узлов, что крайне облегчает обслуживание радиолокационных станций. Увеличение числа блоков связано с увеличением веса и габаритов станции за

<sup>1</sup> С кол. Новая техника производства самолетной радиоаппаратуры. Вопросы радиолокационной техники. ИЛ, 1955, № 4.

<sup>2</sup> См. сноску на стр. 265.

счет дополнительных кожухов, стоек и панелей блоков, а также соединительных кабелей. Имея это в виду, целесообразно уменьшить количество блоков в станции и увеличить число сменных узлов в каждом блоке, приняв меры к уменьшению их габаритов.

Требования, предъявляемые к самолетной радиолокационной аппаратуре, еще труднее совмещаются, чем требования к наземным радиолокаторам. Например, для увеличения дальности действия станции необходимо увеличить мощность передатчика, чувствительность приемника и коэффициент усиления антенны, а это связано с увеличением веса и габаритов, которые должны быть крайне ограничены для самолетной аппаратуры. Другой пример: уменьшение габаритов деталей самолетных радиолокаторов затрудняет отвод тепла от этих деталей и таким образом понижает надежность работы станции. Таких примеров можно привести очень много. Поэтому при проектировании самолетной аппаратуры особенно важно уметь найти правильное, оптимальное решение.

## **§ 2. ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ САМОЛЕТНЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ<sup>1</sup>**

Самолетные радиолокационные станции имеют ряд конструктивных особенностей, которые определяются необычными условиями эксплуатации самолетной аппаратуры. Рассмотрим, какое действие оказывают на самолетную радиолокационную аппаратуру высокие и низкие температуры, повышенная влажность, значительные изменения атмосферного давления, механические удары и вибрации, пыль и другие факторы и какими конструктивными средствами можно ослабить это влияние.

Повышенная температура вызывает изменение физических свойств материалов, из которых изготовлены радиодетали, и размеров этих деталей. Под влиянием повышенной температуры изменяется электрическая прочность изоляционных материалов, возможен их пробой, изменяются их электропроводность, диэлектрическая проницаемость и угол диэлектрических потерь. Возможно расплавление таких материалов, как воск; иные материалы размягчаются. Резина теряет свою эластичность. Из стеклянного баллона ламп могут выделяться газы. Из-за различия коэффициентов расширения деталей возможны нарушение зазоров и даже разрыв крепления в узле.

Устойчивость аппаратуры к повышенной температуре может быть достигнута отводом тепла от сильно нагревающихся деталей и применением термостойких материалов. Отвод тепла основан на явлениях теплопроводности, лучеиспускания и конвекции. В самолетных станциях теплоотвод затрудняется широким применением малогабаритных деталей.

<sup>1</sup> Параграф написан по материалам следующих работ:

1. Надежность наземного радиоэлектронного оборудования. «Советское радио», 1957.

2. См. работы Ван Дейк А. и Скол, приведенные на стр. 265 и 266.

3. П. Бромберг, Р. Хилл. Надежность элементов электронного оборудования самолетов. Вопросы радиолокационной техники. ИЛ, 1954, № 1.

В целях улучшения отвода тепла за счет теплопроводности сильно нагревающиеся детали соединяют с массивными интенсивно охлаждаемыми телами, например с металлическим корпусом блока. Соединение может быть непосредственным или через вещество, обладающее высокой теплопроводностью. Промежуточной средой в герметизированных блоках обычно служат масло или водород.

Очень широко распространен теплоотвод методом конвекции. Различают свободную и принудительную конвекцию. Свободная конвекция происходит за счет перемещения частиц от одной среды к другой вследствие различной плотности воздуха в этих средах. Принудительная конвекция осуществляется вентиляторами. Для охлаждения деталей блока вентиляторы устанавливают как внутри блока, так и вне его. Внутренними вентиляторами распределяют тепло между различными деталями блока с таким расчетом, чтобы установить в нем равномерную среднюю температуру, а внешними отводят тепло от поверхности кожуха блока. Очевидно, что вентилятор должен работать безотказно как на земле, так и на любой заданной высоте в воздухе, иначе неизбежен выход из строя охлаждаемого блока.

Лучеиспускание заключается в том, что тепловая энергия нагретого тела преобразуется в лучистую энергию, которая, распространившись в некотором пространстве, нагревает какое-нибудь другое тело. Лучеиспускание усиливается с увеличением размеров тела и зависит от состояния его внешней поверхности. В соответствии с этим и следует выбирать материал для покрытия блоков и его деталей. Обычно блоки окрашивают в черный цвет для увеличения лучеиспускания.

Пониженная температура вызывает загустение смазки в подшипниках и осях, затвердевание и порчу защитных компаундов, потерю эластичности резиной, изменение размеров контурных деталей и параметров диэлектриков. В результате возможна расстройка контуров, отказ в работе вращающихся деталей, срыв колебаний в кварцевом генераторе, потеря работоспособности аккумуляторов (из-за замерзания электролита).

Для устранения подобных явлений в подшипниках и осях применяют морозостойкие смазки; в деталях станции используют такие диэлектрики и материалы, параметры которых мало изменяются с понижением температуры; некоторые узлы обогревают в полете и полностью отказываются от применения в самолетной аппаратуре электролитических конденсаторов. В целях увеличения работоспособности аккумуляторов при пониженных температурах их перед полетом полностью заряжают и при этом используют электролит повышенной плотности.

Повышенная влажность в сочетании с большим перепадом температуры — одна из частых причин отказа самолетной радиолокационной аппаратуры в работе. Если атмосфера имеет повышенную влажность, то понижение температуры в процессе полета самолета или ночью, на аэродроме, сопровождается конденсацией влаги на аппаратуре. Влага не только покрывает детали снаружи,

но в ряде случаев проникает и внутрь через поры в материале. Это понижает поверхностное и объемное сопротивление диэлектриков, увеличивает емкость конденсаторов (вода имеет высокую диэлектрическую проницаемость), увеличивает вероятность пробоя деталей, находящихся под высоким напряжением, создает коррозию металлических поверхностей и особенно контактов между разнородными металлами и вызывает дополнительные потери в цепях за счет увеличения их активной проводимости.

Имеются различные средства повышения надежности аппаратуры в условиях повышенной влажности. Это в первую очередь применение деталей, изготовленных из влагостойких материалов, герметизация деталей и узлов, широкое использование пропитки и покрытия деталей компаундами и лаками. При использовании герметизации путем заливки смолами возможны два варианта: либо все устройство подвергается заливке, либо только его отдельные детали и узлы, например каскад, включая лампы. В первом случае ремонт устройства невозможен.

В устройствах, герметизированных смолами, крайне затруднен теплоотвод. Теплопроводность смол, применяемых для герметизации, в 1000 раз меньше теплопроводности алюминия. К тому же теплоотвод за счет конвекции в данном случае полностью исключен. Следовательно, герметизацию методом заливки можно применять только для узлов и деталей, работающих в облегченном тепловом режиме.

В тех случаях, когда герметизируемый объект велик и заливка смолами невозможна в связи с большими потерями на высоких частотах, а также в связи с большими паразитными емкостями, вносимыми ими в схему, применяют заполнение жидкостью или газом под давлением, близким к атмосферному. В самолетных радиолокационных станциях таким образом особенно часто герметизируют радиочастотные блоки.

Жидкостное заполнение производится кремнийорганическими маслами, которые водонепроницаемы, имеют высокую теплопроводность, сравнительно небольшую диэлектрическую постоянную и высокую электрическую прочность<sup>1</sup>. Эти качества особенно важны при герметизации мощных радиолокационных передатчиков. Кожухи блоков, заливаемых маслами, должны быть особенно прочными: достаточно незначительной утечки масла, чтобы блок вышел из строя. К недостаткам жидкостного заполнения, кроме упомянутого, относится трудность ремонта «масляных» блоков и заметное увеличение в них паразитных емкостей, обусловленных диэлектрическими свойствами масла.

В радиолокаторах, требующих повышенной стойкости по отношению к температуре, более широко применяются газовые наполнения блоков<sup>1</sup>. Для этих целей используют инертные газы, которые, как известно, не вступают в химическое взаимодействие

---

<sup>1</sup> Надежность наземного радиоэлектронного оборудования. «Советское радио», 1957.

с другими элементами и не растворяют изолирующие материалы, как это бывает с некоторыми жидкостными заполнителями.

Поскольку диэлектрическая проницаемость инертных газов примерно такая же, как воздуха, они не увеличивают паразитные емкости. Газовое заполнение блоков не вносит потерь на высоких частотах, чего нельзя сказать о жидкостных заполнителях. Блоки, герметизированные с помощью газов, могут быть легко вскрыты и отремонтированы. Газовое заполнение не создает ограничений в рабочей температуре блока, но теплоотвод с помощью газов хуже, чем посредством жидкости.

Очевидно, что в данном случае кожух блока также должен быть достаточно прочным, чтобы выдержать разность давлений внутри блока и вне его. Понижению влажности внутри блока способствуют принудительная вентиляция блока и специальные осушители. В связи с этим иногда наряду с вентиляцией блока его кожух заполняют воздухом, который поддерживают сухим при помощи химических осушителей.

Для того чтобы исключить коррозию, металлические поверхности радиолокационных деталей, а также наружные части блока покрывают специальными антикоррозионными лаками, одновременно улучшая внешний вид станции.

Особенно важно избежать коррозии в волноводах, поскольку они предназначены для передачи больших мощностей высокочастотной энергии. Этому способствует покрытие внутренних поверхностей волноводов серебром и особенно золотом, которое отличается очень высокой стойкостью против коррозии<sup>1</sup>.

Понижение атмосферного давления способствует пробою воздуха. Это одна из причин, по которой волноводные системы станции и наиболее ответственные блоки ее герметизируют и в них нагнетают воздух под давлением, близким к 1 атм.

Механические воздействия на самолетную аппаратуру наиболее ярко проявляются в виде ударов в момент посадки и взлета самолета и в виде вибраций во время полета. Многие специалисты считают, что вибрации вызывают больше отказов, чем удары, так как вибрации происходят непрерывно, а удары кратковременны.

В результате ударов и вибраций смещаются электроды электронных ламп, нарушается монтаж, изменяются геометрические размеры деталей и как следствие — параметры элементов схемы. Отсюда нестабильность, а в ряде случаев и полный отказ в работе станции. Статистика показывает, что механическая прочность — основной фактор, определяющий надежность самолетной радиолокационной аппаратуры.

Наиболее эффективными средствами борьбы с механическими воздействиями на самолетные радиолокаторы являются применение деталей, отличающихся исключительно высокой механической проч-

---

<sup>1</sup> См. сноску на стр. 269.

ностью, жесткий монтаж этих деталей в станции и введение в блоки амортизаторов.

Особенно чувствительны к механическим воздействиям электронные лампы: достаточно сместиться сетке относительно катода на доли микрона, чтобы параметры лампы заметно изменились. Радиолокационные станции содержат сотни, тысячи электронных ламп; стало быть, для безотказной работы станции, например, в течение 1000 час. каждая лампа должна иметь срок службы, исчисляемый десятками, сотнями тысяч часов, поскольку одновременный отказ даже нескольких ламп мало вероятен.

Повышение механической надежности электронных ламп происходит в направлении повышения жесткости конструкции и точности изготовления ламп. В статье Б. Бромберга и Р. Хила <sup>1</sup> приводится такой пример: надежность электронных ламп была увеличена в 10 раз за счет сокращения длины электродов, улучшения их крепления на опорах и траверсах, уменьшения допусков на междуэлектродные расстояния (допуск на точность расстояния между сеткой и катодом был установлен в 0,00013 мм), усиления тренировки ламп и весьма тщательного контроля.

Целесообразна замена электронных ламп другими, более надежными по механическим и электрическим качествам элементами, такими, как полупроводниковые диоды и триоды, магнитные усилители и селеновые выпрямители. Если электронная лампа в полете имеет средний срок службы 100 час., то кристаллический триод — 100 000 час. <sup>2</sup> Полупроводниковые триоды, применяемые в самолетной аппаратуре, должны быть герметизированы во избежание большого влияния температуры и влажности окружающей среды на их работу. С точки зрения температурного режима кремниевые триоды надежнее германиевых, так как первые рассчитаны на рабочую температуру 200° С, а вторые — на 75° С.

Применение магнитных усилителей целесообразно, поскольку они отличаются высоким к. п. д. и большой механической прочностью. Селеновые элементы в самолетной аппаратуре используют в качестве вентиля мощных выпрямителей. Следует лишь герметизировать их, учитывая сильное влияние влажности окружающей среды на селеновые выпрямители.

Важнейшей конструктивной особенностью самолетных радиолокационных станций являются их относительно малые вес и габариты. Эти качества не только облегчают монтаж станции на самолете и улучшают его аэродинамические свойства, но и делают более надежной станцию в механическом отношении, так как чем меньше масса деталей, тем менее чувствительны они к ударам.

Сокращению веса и размеров деталей способствует их герметизация посредством заливки смолами благодаря тому, что при этом

<sup>1</sup> Надежность элементов электронного оборудования самолетов. Вопросы радиолокационной техники. ИЛ, 1954, № 1.

<sup>2</sup> Препимущества применения полупроводниковых приборов в самолетной радиоаппаратуре. Зарубежная радиоэлектроника. «Советское радио» · 1958 № 3.

возможны уменьшение количества крепежных деталей и более компактный монтаж. Большую экономию в весе и габаритах станции дает замена электронных ламп полупроводниковыми приборами и применение миниатюрных деталей, разработанных в последнее время.

---

## Глава V

### САМОЛЕТНЫЕ РАДИОВЫСОТОМЕРЫ

Радиовысотомеры предназначены для измерения истинной высоты полета самолета радиотехническими средствами.

В основу работы радиовысотомеров положен принцип отражения радиоволн от земной поверхности. Судя по этому признаку, радиовысотомеры можно назвать радиолокационными приборами. По назначению их следует отнести к радионавигационным приборам, поскольку высотомеры прежде всего используются для самолетовождения. Радиовысотомеры применяются также для прицельного бомбометания.

До появления радиовысотомеров высоту на самолете измеряли барометрическими приборами. Работа таких приборов основана на зависимости атмосферного давления от высоты, вычисленной относительно уровня моря или какого-нибудь другого исходного уровня. Эта особенность барометрических высотомеров измерять относительную, а не истинную высоту полета самолета является их основным недостатком по сравнению с радиовысотомерами. Кроме того, барометрические высотомеры уступают радиовысотомерам по точности измерений.

По способу модуляции различают импульсные и частотные радиовысотомеры. Первые могут быть использованы только для измерения больших высот, так как для измерения малых высот требуются настолько короткие по длительности импульсы, что генерирование и индикация их в настоящее время технически невозможны. Радиовысотомеры с частотной модуляцией, наоборот, работают эффективно на малых высотах, измеряя их с относительно большой точностью.

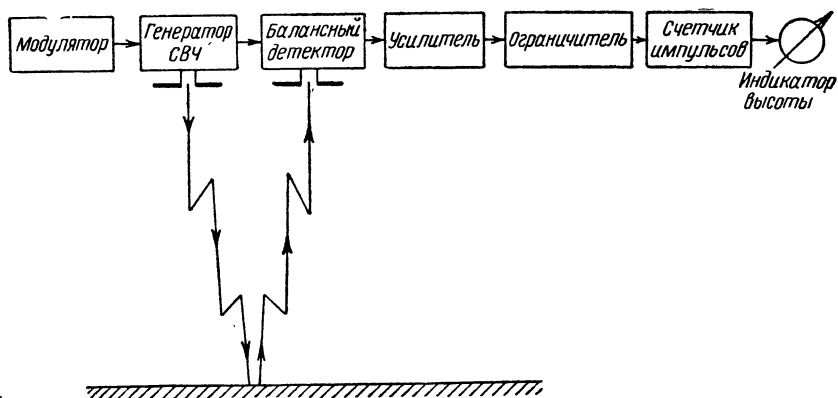
#### § 1. ОСОБЕННОСТИ ЧАСТОТНЫХ РАДИОВЫСОТОМЕРОВ

1. Рассмотрим блок-схему радиовысотомера малых высот (фиг. 158) и эпюры напряжений в схеме (фиг. 159).

Частотный модулятор воздействует на генератор СВЧ. В результате в передающей антенне возбуждаются частотно-модулированные колебания (фиг. 159, *а*), которые после отражения от земли поступают в приемную антенну, а от нее в балансный детектор. Вместе с тем на вход детектора кратчайшим путем от генератора СВЧ приходит прямой сигнал.



Отраженные волны (фиг. 159, б) отличаются от прямых меньшей амплитудой и сдвигом по частоте. Этот сдвиг обусловлен частотной модуляцией и разностью хода волн на удвоенную высоту полета самолета. Как известно, при сложении двух колебаний близких час-



Фиг. 158. Блок-схема радиовысотомера малых высот.

тот с постоянными амплитудами получают биения, т. е. амплитудно-модулированные колебания (фиг. 159, в), которые в данном случае модулированы также по частоте. После детектирования выделяется огибающая этих колебаний (фиг. 159, г). Напряжение огибающей после усиления и ограничения преобразуется в импульсы (фиг. 159, д). Каждому максимуму огибающей соответствует один импульс на выходе ограничителя. В счетчике импульсы превращаются в постоянный ток, пропорциональный числу импульсов в секунду. Этим током питается стрелочный индикатор, градуированный в метрах высоты. Такая градуировка возможна потому, что частота импульсов на входе счетчика равна числу полных колебаний огибающей за 1 сек., которая в свою очередь зависит от высоты полета самолета.

2. Для того чтобы установить эту зависимость, допустим, что частота генератора СВЧ увеличивается по линейному закону относительно средней частоты  $f_0$  в пределах от  $f_{\min}$  до  $f_{\max}$  и уменьшается по тому же закону от  $f_{\max}$  до  $f_{\min}$  за равные полупериоды модуляции  $T_m/2$  (фиг. 160). В таком случае скорость изменения частоты

$$\frac{df}{dt} = \frac{f_{\max} - f_{\min}}{\frac{T_m}{2}} = \frac{2\Delta f}{T_m} = 2\Delta f F_m,$$

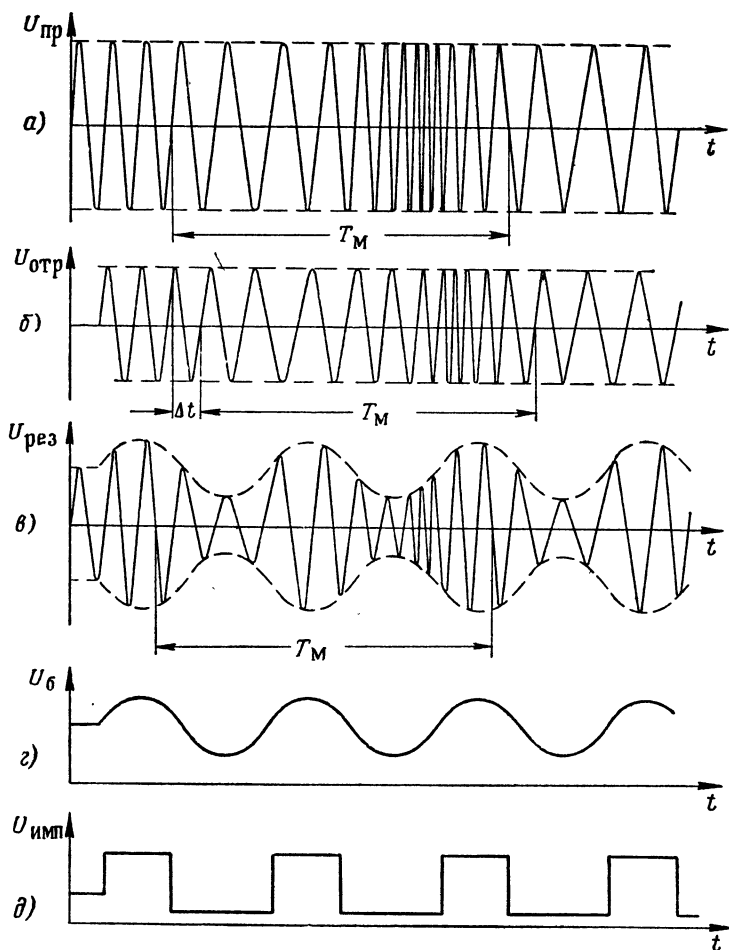
где  $\Delta f = f_{\max} - f_{\min}$  — девиация частоты;

$$F_m = \frac{1}{T_m} \text{ — частота модуляции.}$$

В любой момент времени на входе детектора имеются прямой сигнал и отраженный, который был возбужден генератором раньше данного прямого сигнала на время

$$\Delta t = \frac{2H}{C},$$

где  $H$  — высота полета самолета;

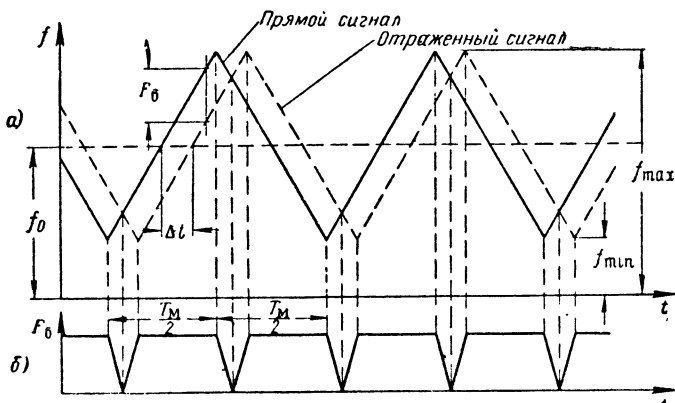


Фиг. 159. Временные диаграммы напряжений в схеме радиовысотомера малых высот.

$C = 3 \cdot 10^8$  м/сек — скорость распространения электромагнитных волн.

Следовательно, число полных колебаний огибающей за 1 сек., равное разности частот прямого и отраженного сигналов,

$$F_6 = \frac{df}{dt} \Delta t = 2\Delta f F_m \frac{2H}{C} = \frac{4\Delta f F_m H}{C}. \quad (24)$$



Фиг. 160. К определению зависимости между частотой биений и измеряемой высотой.

Если  $\Delta f$  выразить в  $M\text{гц}$ ,  $F_0$  в  $\text{гц}$ , а  $H$  — в  $\text{м}$ , то

$$F_0(\text{гц}) = \frac{4\Delta f(\text{гц}) F_M(\text{гц}) H(\text{м})}{3 \cdot 10^8} = \frac{\Delta f(\text{гц}) F_M(\text{гц}) H(\text{м})}{0,75 \cdot 10^8} = \frac{\Delta f(M\text{гц}) F_M(\text{гц}) H(\text{м})}{75}. \quad (24')$$

На практике частота генератора обычно изменяется по синусоидальному закону, но это не нарушает формулу (24), так как частота импульсов, учитываемых счетчиком, равна числу максимумов огибающей и не зависит от ее формы.

3. Формула (24) выведена на основании упрощенного анализа и не учитывает, что с изменением высоты показания частотного радиовысотомера изменяются не непрерывно, а скачкообразно. Докажем это.

Изменение амплитуды результирующего сигнала происходит, как мы выяснили, из-за разности частот прямого и отраженного сигналов. Так как частота определяется скоростью изменения фазового угла

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt},$$

то можно утверждать, что амплитуда результирующего сигнала изменяется вследствие непостоянства фазового сдвига между прямым и отраженным сигналами. Определим, какие факторы влияют на этот фазовый сдвиг.

При частотной модуляции мгновенное значение частоты

$$\omega = \omega_0 + \frac{\Delta\omega}{2} \cos \Omega t,$$

где  $\omega_0 = 2\pi f_0$  — средняя несущая частота;

$\Delta\omega = 2\pi \Delta f$  — девиация частоты и

$\Omega = 2\pi F_M$  — частота модуляции.

Согласно формуле

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} \quad \text{или} \quad d\varphi = \omega dt$$

фазовый угол

$$\varphi = \int \omega dt = \int \left( \omega_0 + \frac{\Delta\omega}{2} \cos \Omega t \right) dt = \omega_0 t + \frac{\Delta\omega}{2\Omega} \sin \Omega t.$$

Отношение  $\frac{\Delta\omega}{\Omega} = \frac{\Delta f}{F_{\text{м}}} = m$  называется индексом модуляции.

Введем этот индекс в формулу фазового угла:

$$\varphi = \omega_0 t + \frac{m}{2} \sin \Omega t.$$

Следовательно, если прямой сигнал в момент  $t$  имеет фазу

$$\varphi_1 = \omega_0 t + \frac{m}{2} \sin \Omega t,$$

то принимаемый в тот же момент отраженный сигнал имеет фазовый угол  $\varphi_2$ , который можно определить, заменив в последней формуле  $t$  на  $t - \Delta t$ :

$$\varphi_2 = \omega_0 (t - \Delta t) + \frac{m}{2} \sin \Omega (t - \Delta t).$$

Стало быть, сдвиг по фазе между прямым и отраженным сигналами

$$\begin{aligned} \varphi &= \varphi_1 - \varphi_2 = \omega_0 t + \frac{m}{2} \sin \Omega t - \omega_0 (t - \Delta t) - \frac{m}{2} \sin \Omega (t - \Delta t) = \\ &= \omega_0 \Delta t + \frac{m}{2} [\sin \Omega t - \sin \Omega (t - \Delta t)] = \\ &= \omega_0 \Delta t + 2 \frac{m}{2} \sin \frac{\Omega t - \Omega (t - \Delta t)}{2} \cos \frac{\Omega t + \Omega (t - \Delta t)}{2} = \omega_0 \Delta t + \\ &+ m \sin \frac{\Omega \Delta t}{2} \cos \left( t - \frac{\Delta t}{2} \right). \end{aligned}$$

При данной высоте  $H$  время  $\Delta t = \frac{2H}{C}$  является постоянной величиной. Обозначив

$$\omega_0 \Delta t = \varphi_0 \quad \text{и} \quad m \sin \frac{\Omega \Delta t}{2} = \Delta \varphi, \quad (25)$$

можно сказать, что  $\varphi_0$  является средним значением сдвига по фазе между прямым и отраженным сигналами, а  $\Delta \varphi$  — максимальным приращением этого сдвига за полпериода модуляции. Итак, мгновенное значение разности фаз прямого и отраженного сигналов равно

$$\varphi = \varphi_0 + \Delta \varphi \cos \Omega \left( t - \frac{\Delta t}{2} \right) = \varphi_0 + \Delta \varphi \cos \Omega t', \quad (26)$$

где  $t'$  отличается от  $t$  на величину  $\frac{\Delta t}{2}$ , которая выражает сдвиг начала отсчета времени.

4. Применим формулы (25), (26) при различных значениях измеряемой высоты.

а) Высота  $H=0$ . В этом случае

$$\varphi_0 = \omega_0 \Delta t = \omega_0 \frac{2H}{C} = 0,$$

$$\Delta\varphi = m \sin \frac{\omega_0 \Delta t}{2} = m \sin \frac{\omega_0 2H}{C} = 0 \quad \text{и} \quad \varphi = 0,$$

т. е. векторы прямого  $U_{m1}$  и отраженного сигналов  $U_{m2}$  совпадают по фазе, а амплитуда результирующего сигнала  $U_m = U_{m1} + U_{m2}$  имеет постоянную величину (фиг. 161, а).

б) Высота

$$H = \frac{\lambda_0}{8}, \quad \varphi_0 = \omega_0 \Delta t = 2\pi f_0 \frac{2H}{C} = \frac{4\pi f_0 \lambda_0}{8C} = \frac{\pi}{2};$$

$$\Delta\varphi = m \sin \frac{\omega_0 \Delta t}{2} = m \sin \frac{2\pi F_m 2H}{2C} = m \sin \frac{\pi F_m \lambda_0}{4C}.$$

Полагаем, что индекс модуляции  $m$  и частота модуляции  $F_m$  таковы, что  $\Delta\varphi < \frac{\pi}{2}$ . Этот случай соответствует фиг. 161, б. Здесь вектор  $U_{m2}$  в среднем положении сдвинут по фазе относительно вектора  $U_{m1}$  на  $\varphi_0 = \frac{\pi}{2}$ , а с течением времени благодаря частотной модуляции угол  $\varphi$  изменяется в пределах  $\pm \Delta\varphi$ , вызывая одно полное изменение огибающей результирующего сигнала за один период  $T_m$ .

в) Высота  $H = \frac{\lambda_0}{4}$ ;  $\varphi_0 = \omega_0 \Delta t = 2\pi f_0 \frac{2H}{C} = \frac{4\pi f_0 \lambda_0}{4C} = \pi$ , а  $\Delta\varphi$  принимаем меньшим  $\pi/2$ , хотя оно и увеличилось за счет  $H$ . Проектируя, как в предыдущих случаях, результирующий вектор  $U_m$  на вертикальную ось, убеждаемся в том, что при этих исходных данных за один период модуляции происходят два полных изменения амплитуды результирующего сигнала (фиг. 161, в).

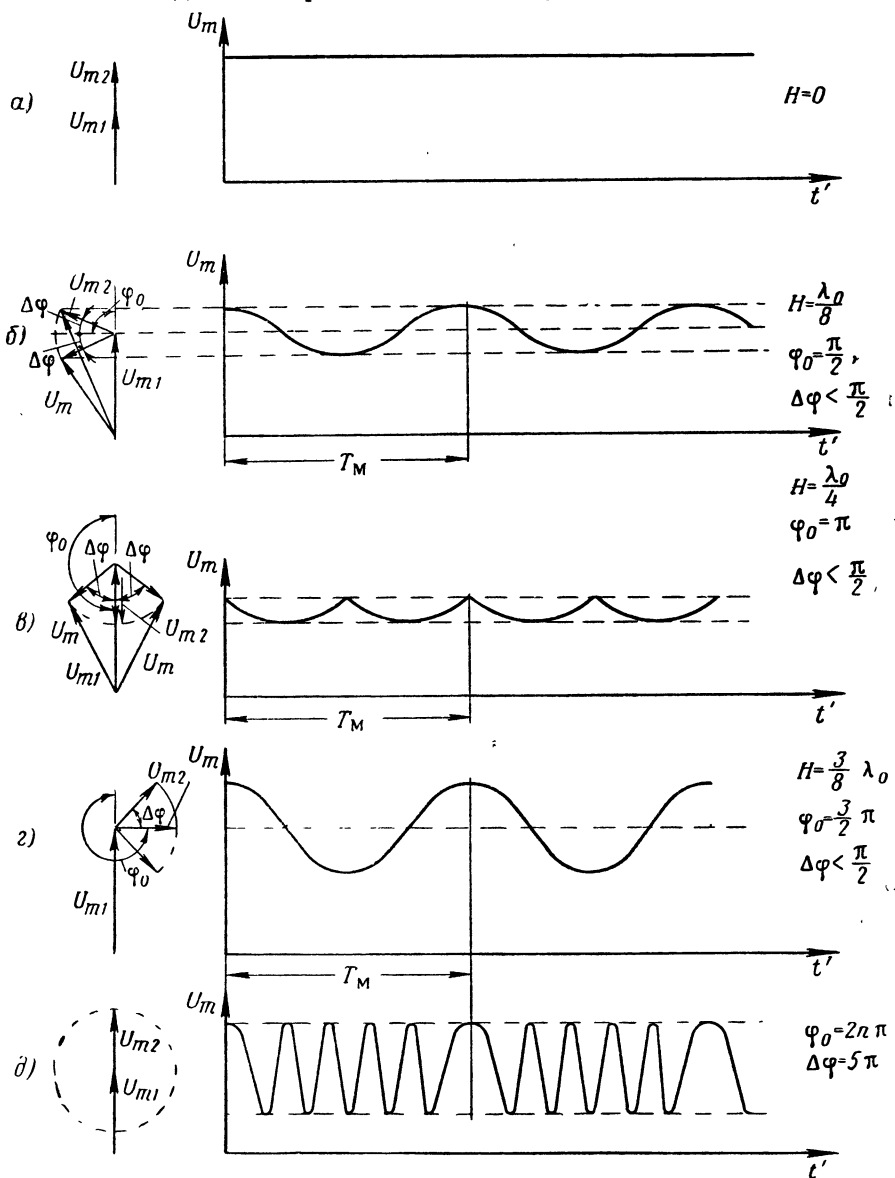
г) Высота  $H = \frac{3\lambda_0}{8}$ ;  $\varphi_0 = \omega_0 \Delta t = 2\pi f_0 \frac{2H}{C} = \frac{3}{2}\pi$ , а  $\Delta\varphi$  по-прежнему считаем меньшим  $\pi/2$ . Полное изменение результирующего сигнала согласно фиг. 161, г происходит за один период модуляции.

д) Высота  $H$  увеличилась настолько, что  $\varphi_0$  равно четному числу  $\pi$  ( $\varphi_0 = 2n\pi$ ), а  $\Delta\varphi = 5\pi$  (фиг. 161, д).

Это значит, что вектор  $U_{m2}$  в исходном положении совпадает с вектором  $U_{m1}$ , а затем описывает пять полных оборотов в одном направлении за один полупериод модуляции и пять полных оборотов в обратном направлении за следующий полупериод модуляции и т. д. В результате на каждый полупериод модуляции приходится пять полных изменений амплитуды  $U_m$  результирующего сигнала.

6. На основании приведенных примеров можно сделать следующие выводы.

а) Изменения амплитуды результирующего сигнала не имеют строго синусоидального характера. Это особенно наглядно показано на фиг. 161, в. Несинусоидальный характер огибающей колебаний на входе приемника означает наличие гармонических составляющих от основной частоты биений. Отсюда следует вывод, что определение высоты методом непосредственного измерения частоты огибающей



Фиг. 161. Изменение амплитуды результирующего сигнала во времени при различных значениях измеряемой высоты.

практически не представляется возможным. Вот почему колебания, полученные после детектирования и усиления, преобразуются в импульсы постоянного тока, а индикатор высоты уже реагирует на частоту импульсов.

б) С увеличением измеряемой высоты амплитуда результирующего сигнала на входе приемника, а стало быть, и показания радиовысотомера изменяются ступенями через интервалы высот, равные  $\lambda_0/8$ . Действительно, если при  $H=0$  частота огибающей (биений)  $F_6=0$ , то при  $H=\lambda_0/8$  эта частота равна частоте модуляции ( $F_6=F_m$ ), при  $H=1/4 \lambda_0$  частота огибающей удваивается ( $F_6=2F_m$ ), при  $H=3/8 \lambda_0$  частота  $F_6$  возвращается к предыдущему значению ( $F_6=F_m$ ) и т. д.

Для того чтобы показания радиовысотомера получили очередное приращение, необходимо, чтобы частота биений увеличилась до  $3F_m, 4F_m, 5F_m, \dots$ , т. е. чтобы в течение каждого периода модуляции можно было получить еще один, два, три... импульса. Для этого измеряемая высота должна увеличиться на величину, называемую критической высотой  $H_{кр}$ . Ее можно определить из следующих соображений.

В частном случае, когда  $\Delta\varphi$  было равно  $5\pi$ , число максимумов  $U_m$  за один период модуляции  $T_m$  было равно  $\frac{2\Delta\varphi}{\pi} = 10$ . Читатель может убедиться в том, что в любом случае при  $\Delta\varphi = k\pi$ , где  $k=1, 2, 3, \dots$ , число максимумов за время  $T_m$  равно  $2k = \frac{2\Delta\varphi}{\pi}$ . Поскольку за каждый период биений формируется один импульс, можно сказать, что  $2k$  и есть число импульсов за один период модуляции.

Заменив  $\Delta\varphi$  согласно выражению (25)

$$\Delta\varphi = m \sin \frac{\Omega \Delta t}{2} = \frac{\Delta\omega}{\Omega} \sin \frac{\Omega \Delta t}{2} = \frac{\Delta\omega}{\Omega} \sin \frac{\Omega H}{C},$$

находим

$$2k = \frac{2\Delta\varphi}{\pi} = \frac{2\Delta\omega}{\pi\Omega} \sin \frac{\Omega H}{C}.$$

Угол  $\frac{\Omega H}{C}$  имеет очень малую величину. В этом можно убедиться на конкретных данных типового радиовысотомера:  $H=1200$  м,  $F_m=120$  гц:

$$\frac{\Omega H}{C} = \frac{2\pi F_m H}{C} = \frac{2\pi \cdot 120 \cdot 1200}{3 \cdot 10^8} = \frac{2,88 \cdot 10^5 \pi}{3 \cdot 10^8} \approx 0,001\pi.$$

Отсюда следует, что

$$\sin \frac{\Omega H}{C} \approx \frac{\Omega H}{C},$$

а число импульсов за период модуляции

$$2k = \frac{2\Delta\omega}{\pi\Omega} \sin \frac{\Omega H}{C} = \frac{2\Delta\omega}{\pi\Omega} \frac{\Omega H}{C} = \frac{2 \cdot 2\pi \Delta f H}{\pi C} = \frac{4\Delta f H}{C}. \quad (27)$$

Для того чтобы это число увеличилось на единицу, измеряемая высота должна увеличиться на  $H_{кр}$ .

$$2k + 1 = \frac{4\Delta f (H + H_{кр})}{C}.$$

Вычитая из последнего уравнения предпоследнее, получаем

$$1 = \frac{4\Delta f}{C} (H + H_{кр} - H) = \frac{4\Delta f H_{кр}}{C},$$

откуда находим формулу критической высоты

$$H_{кр} = \frac{C}{4\Delta f}. \quad (28)$$

Если принять за единицу показаний частотного радиовысотомера число импульсов, приходящихся на один период модуляции, то зависимость показаний высотомера от измеряемой высоты можно изобразить так, как показано на фиг. 162. Всякое приращение высоты на  $\lambda_0/8$  сопровождается скачком показаний в пределах от 1 до 2, пока высота не достигнет  $2H_{кр}$ , от 2 до 3 при высоте  $2H_{кр} < H < 3H_{кр}$ , от 3 до 4 при высоте  $3H_{кр} < H < 4H_{кр}$  и т. д.

в) Зная формулу (27), выражающую число импульсов  $2k$  за период модуляции  $T_m$ , нетрудно определить частоту этих импульсов:

$$F_n = \frac{2k}{T_m} = 2kF_m = \frac{4\Delta f H F_m}{C}. \quad (29)$$

Это соответствует ранее выведенной формуле (24), если в ней частоту биений заменить частотой импульсов  $F_n$ .

г) Так как наименьшая частота импульсов, которая может быть получена в высотомере, равна частоте модуляции  $F_m$  или в 2 раза больше ее, то этим определяется минимальная высота  $H_{min}$ , которая может быть измерена частотным радиовысотомером. Для ее определения  $F_n$  в формуле (29) следует заменить через  $F_m$  или  $2F_m$ :

$$F_m = \frac{4\Delta f F_m H_{min}}{C} \quad \text{или} \quad 2F_m = \frac{4\Delta f F_m H_{min}}{C},$$

откуда

$$H_{min} = \frac{C}{4\Delta f} = H_{кр} \quad \text{или} \quad H_{min} = \frac{C}{2\Delta f} = 2H_{кр}. \quad (30)$$

Итак, частотным радиовысотомерам присущи постоянные ошибки, обусловленные скачкообразными изменениями показаний, и ограничения в минимальной измеряемой высоте.



## § 2. ТАКТИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ РАДИОВЫСОМОМЕРА МАЛЫХ ВЫСОТ

1. Радиовысотомер малых высот с частотной модуляцией, описываемый ниже<sup>1</sup>, имеет следующие тактико-технические данные.

Диапазон измеряемых высот, первый	. . . . .	$H = 0 \div 120 \text{ м}$
второй	. . . . .	$H = 100 \div 1200 \text{ м}$
Ошибки измерения высоты	. . . . .	не более $\pm 5\%$ + постоянная ошибка, которая на первом диапазоне равна $\pm 1,8 \text{ м}$ , а на втором $\pm 18 \text{ м}$
Средняя несущая частота	. . . . .	$f_0 = 440 \text{ МГц}$
Девияция частоты: на первом диапазоне	. . . . .	$\Delta f = 40 \text{ „}$
на втором диапазоне	. . . . .	$\Delta f = 4 \text{ „}$
Излучаемая мощность	. . . . .	$P_{из} > 0,1 \text{ Вт}$
Частота модуляции	. . . . .	$F_m = 120 \text{ Гц}$

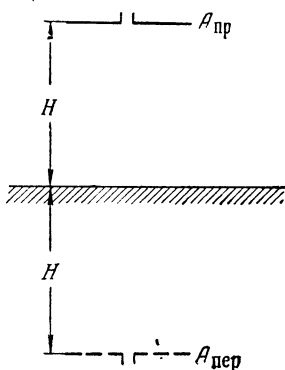
Питание производится от бортсети постоянного тока 27 в.

2. Обоснование тактико-технических данных радиовысотомера начнем с вопроса о мощности передатчика. Для этого установим связь между мощностью отраженного сигнала на входе приемника  $P_0$  и измеряемой высотой самолета.

Влияние земли на излучение передающей антенны можно учесть методом зеркального изображения, на основании которого передающую антенну представляем расположенной на удвоенную высоту  $2H$  симметрично относительно земной поверхности (фиг. 163). Земля при сверхвысоких частотах не обладает идеальной проводимостью. Считаем, что на границе земной поверхности поле изменяется по напряженности в  $k_0$  раз, а по мощности в  $k_0^2$  раз, где  $k_0$  — модуль коэффициента отражения земли.

В таком случае плотность потока мощности, достигающей приемной антенны,  $k^2_0 \frac{P_n G}{4\pi(2H)^2}$ , где  $P_n$  — мощность, излучаемая передающей антенной, а  $G$  — ее коэффициент усиления.

Так как для передачи и приема в высо-  
томере используются однотипные антенны,  
то их коэффициенты усиления равны и эф-  
фективная поверхность приемной антенны  
определяется выражением



Фиг. 163. К определению напряжения на входе приемника радиовысотомера.

$$S_{\text{эф}} = \frac{G\lambda_0^2}{4\pi}.$$

<sup>1</sup> Имеется в виду радиовысотомер AN/APN-1.

Следовательно, мощность сигнала на входе приемника

$$P_c = S_{\text{эф}} k_0^2 \frac{P_n G}{4\pi (2H)^2} = k_0^2 \frac{P_n G^2 \lambda_0^2}{(8\pi H)^2}. \quad (31)$$

Отсюда находим измеряемую высоту:

$$H = \frac{G \lambda_0^2}{8\pi} \sqrt{\frac{P_n}{P_c}}. \quad (32)$$

Как видно из полученной формулы, измеряемая высота пропорциональна корню второй степени (а не четвертой, как в основном уравнении радиолокации) из отношения мощности на выходе передатчика к мощности на входе приемника  $\frac{P_n}{P_c}$ . Повышенная дальность действия высотомера обусловлена большой отражающей поверхностью земли. В связи с этим имеется возможность уменьшить мощность передатчика до десятых долей — единиц ватта.

3. По той же причине можно применить антенну с малым коэффициентом усиления, например полуволновый электрический или магнитный (щелевой) вибратор. Остронаправленные антенны не находят применения в высотомерах потому, что при крене самолета такие антенны изменяют направление основного облучения земли, а это вносит большую погрешность в измерение высоты.

Вибратор антенны должен иметь горизонтальную поляризацию, чтобы в вертикальной плоскости быть ненаправленным.

Коэффициент усиления одиночного полуволнового вибратора  $G=1,64$ , но так как в данном случае прямая волна вибратора почти полностью отражается от крыла или фюзеляжа самолета, к которому прикреплен вибратор, то в направлении земли напряженность поля удваивается, а мощность поля возрастает в 4 раза. Соответственно увеличивается коэффициент усиления антенны:

$$G = 4 \cdot 1,64 = 6,56.$$

4. Согласно формулам (31), (32) рабочую длину волны высотомера желательно иметь большой, чтобы повысить мощность на входе приемника; кроме того, увеличение длины волны облегчает генерирование колебаний СВЧ. С другой стороны, если длина волны достигает метровых волн, то полуволновые вибраторы становятся слишком громоздкими для размещения на самолете. В дальнейшем будет показано, что длина волны должна быть согласована также с требуемой девиацией частоты.

В радиовысотомере AN/APN-1 выбрана несущая частота  $f_0 = 440 \text{ Мгц}$  ( $\lambda_0 = 68 \text{ см}$ ) на основании того, что колебания этой частоты при мощности в десятки доли ватта легко генерируются миниатюрными триодами типа «желудь», а полуволновый вибратор на волне  $\lambda_0 = 68 \text{ см}$  имеет вполне приемлемые размеры для монтажа на самолете.

5. Теперь можно определить, какую чувствительность должен иметь описываемый высотомер. Для этого подставляем в формулу (31) мощность передатчика  $P_n = 0,1 \text{ вт}$ , длину волны  $\lambda_0 = 0,68 \text{ м}$ , коэф-

коэффициент усиления антенны  $G=6$ , коэффициент отражения от земли  $k_0=0,6$  и высоту  $H=1200$  м.

$$P_c = \frac{P_n G^2 \lambda_0^2 k_0^2}{(8\pi H)^2} = \frac{0,1 \cdot 36 \cdot 0,682 \cdot 0,36}{64\pi^2 \cdot 1,44 \cdot 10^6} = 0,65 \cdot 10^{-9} \text{ вт.}$$

Полученный результат позволяет сделать вывод, что в высотомере с частотной модуляцией можно использовать приемник малой чувствительности, например приемник прямого усиления.

6. Частоту модуляции  $F_m$  желательно иметь большой, так как это способствует повышению чувствительности высотомера за счет увеличения скорости изменения частоты в процессе модуляции. В большинстве частотных высотомеров частоту генератора СВЧ изменяют посредством мембранных конденсаторов. Емкость их изменяется вследствие механических колебаний мембраны относительно неподвижной системы, образующей вторую обкладку конденсатора.

Для устойчивой модуляции необходимо, чтобы собственная частота механических колебаний мембраны  $F_c$  намного отличалась от частоты модуляции  $F_m$ . Если установить  $F_c \ll F_m$ , то мембрана будет слишком массивной и ее трудно возбудить. Следовательно, для того чтобы мембрана была малоинерционной и модулятор работал устойчиво, резонансная частота мембраны должна быть значительно больше частоты модуляции. Если же последняя будет велика, то конструктивно выполнить условие  $F_c \gg F_m$  очень трудно. Из этих соображений установлено компромиссное значение частоты модуляции  $F_m = 120$  гц.

7. Перейдем к вопросу о выборе девиации частоты. Чем больше девиация частоты, тем меньше согласно формулам (28), (30) критическая высота и связанная с ней постоянная ошибка, а также меньше нижний предел измеряемой высоты.

На первом диапазоне девиация частоты  $\Delta f = 40$  Мгц. Ей соответствует критическая высота

$$H_{кр} = \frac{C}{4\Delta f} = \frac{3 \cdot 10^8}{4 \cdot 40 \cdot 10^6} = 1,8 \text{ м}$$

и минимальная измеряемая высота

$$H_{min} = H_{кр} = 1,8 \text{ м.}$$

При девиации частоты  $\Delta f = 40$  Мгц относительное изменение частоты  $\frac{\Delta f}{f_0} = \frac{40}{440} = \frac{1}{11}$  получается высоким. Если пойти по пути дальнейшего увеличения девиации частоты в целях уменьшения постоянной ошибки и нижнего предела измеряемых высот, то относительное изменение частоты  $\Delta f/f_0$  станет настолько большим, что паразитную амплитудную модуляцию, которая возникнет из-за этого, не удастся подавить. Сущность паразитной амплитудной модуляции заключается в следующем.

По принципу действия высотомера как прямой, так и отраженный сигналы должны модулироваться только по частоте и иметь постоянную амплитуду. В действительности благодаря резонансным свойствам антенн и колебательных контуров высотомера отклонение

частоты колебаний на входе детектора сопровождается изменением их амплитуды. В результате показания индикатора высотомера получают дополнительную погрешность. Для уменьшения паразитной амплитудной модуляции наряду с уменьшением относительного отклонения частоты  $\Delta f/f_0$  следует притуплять резонансные кривые антенн и колебательных цепей приемника, т. е. расширять их полосу пропускания. Так как отношение  $\Delta f/f_0$  нежелательно уменьшать за счет  $\Delta f$ , то возникает необходимость повышения несущей частоты.

8. Верхний предел измеряемой высоты при выбранных  $\Delta f$  и  $F_m$  находится в прямой связи с максимальной частотой следования импульсов, которая может быть учтена счетчиком. Анализ работы счетчика импульсов показывает, что последний обладает достаточно высокой чувствительностью при допустимой неравномерности шкалы, если частота импульсов на входе счетчика не превышает  $(8 \div 10) 10^3$  имп/сек. В таком случае согласно формуле (29)

$$F_m = \frac{4\Delta f H F_m}{C}$$

наибольшая высота, которая может быть измерена при  $\Delta f = 40$  Мгц,  $F_m = 120$  гц и  $F_n = 8 \cdot 10^3$  имп/сек, равна

$$H_{\max} = \frac{CF_n}{4\Delta f \cdot F_m} = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot 8 \cdot 10^3}{4 \cdot 40 \cdot 10^6 \cdot 120} = 125 \text{ м.}$$

На первом диапазоне установлен верхний предел  $H_{\max} = 120$  м.

Кроме того, для расширения возможностей высотомера введен второй диапазон измеряемых высот от 100 до 1200 м. Поскольку на втором диапазоне постоянная ошибка, а тем более нижний предел измеряемых высот не имеют существенного значения, девиация частоты снижена от  $\Delta f = 40$  Мгц до  $\Delta f = 4$  Мгц, т. е. в такой же пропорции, в какой увеличена  $H_{\max}$  (от 120 до 1200 м). В результате максимальная частота следования импульсов остается той же и условия работы усилителя низкой частоты и счетчика импульсов при переходе с одного диапазона измеряемых высот на другой остаются неизменными. Применение двух диапазонов измерения высоты создает дополнительное преимущество в увеличении точности измерения на первом диапазоне за счет уменьшения погрешности отсчета по шкале (масштаб шкалы высотомера на первом диапазоне выше, чем на втором, в 10 раз).

### § 3. ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА РАДИОВЫСОТОМЕРА МАЛЫХ ВЫСОТ

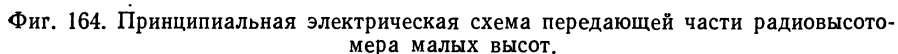
#### А. Передающая часть радиовысотомера АН/АРН-1

В радиовысотомере, включенном по блок-схеме, показанной на фиг. 158, передающая часть состоит из генератора СВЧ, звукового генератора, предназначенного для частотной модуляции колебаний СВЧ, и передающей антенны.

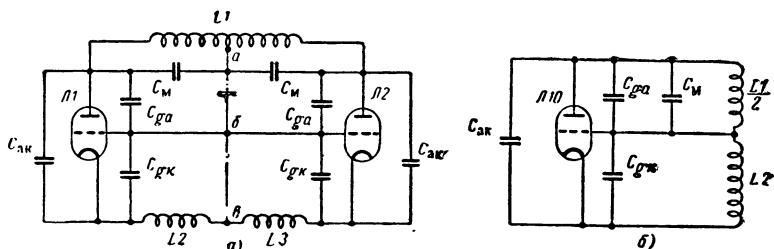
Генератор СВЧ (фиг. 164) выполнен по двухтактной схеме на триодах Л1, Л2 типа желудь 955. Сетки ламп соединяются короткой перемычкой, между анодами включена открытая двухпроводная линия Л1, а в катодные цепи включены трубки Л2, Л3. Анодная ли-

Частота такого генератора, как было показано (см. § 5, гл. I), изменяется переключкой анодной линии, а режим работы генератора зависит от катодной индуктивности. Величина последней при эксплуатации не регулируется.

Частота такого генератора, как было показано (см. § 5, гл. I), изменяется переключкой анодной линии, а режим работы генератора зависит от катодной индуктивности. Величина последней при эксплуатации не регулируется.



285



Фиг. 165. Эквивалентные схемы генератора СВЧ радиовысотомера малых высот.

благодаря чему генерируемые колебания СВЧ непрерывно модулируются по частоте.

С сеточной цепью генератора (фиг. 164) индуктивно связана рамка  $L_4$ , которая переходит в отрезок коаксиального кабеля  $\Phi 1$ . Таким образом, колебания СВЧ передаются в антенну. Аналогично с помощью петли  $L_5$  и отрезка кабеля  $\Phi 2$  колебания от передатчика кратчайшим путем поступают в балансный детектор.

Смещение на управляющие сетки ламп  $\Pi 1$ ,  $\Pi 2$  создается за счет замыкания постоянной составляющей сеточного тока через сопротивление  $R_1$  и постоянной составляющей катодного тока через сопротивление  $R_2$ . Составляющие СВЧ этих токов проходят через емкости монтажа и ламп.

Напряжение накала подводится по проводам, расположенным внутри катодных трубок. Этим исключается влияние цепи накала на колебательную цепь генератора.

Звуковой генератор выполнен на пентоде  $L_3$  типа 12SJ7 в триодном включении. Самовозбуждение осуществляется по трансформаторной схеме. Контур генератора, состоящий из первичной обмотки  $I$  трансформатора  $Tr_1$  и конденсатора  $C_1$ , настроен на частоту  $F_{\text{н}} = 120$  гц. Напряжение обратной связи подается на управляющую сетку лампы с обмотки  $II$  того же трансформатора, а смещение на сетке получается с помощью гридлика  $C_2$ ,  $R_3$ .

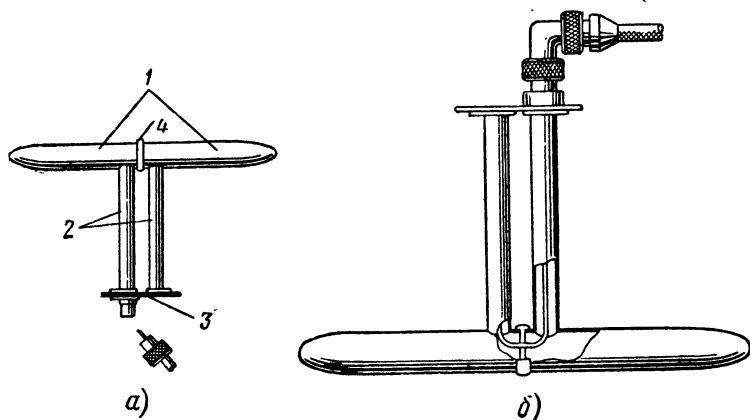
На трансформаторе  $Tr_1$  имеется еще одна обмотка  $III$ , с которой выходное напряжение звукового генератора подается на потенциометры  $R_4$ ,  $R_6$  и сопротивление  $R_5$ , а с них — на катушку мембранного конденсатора. На этой катушке при работе высотомера в первом диапазоне напряжение должно быть больше, чем во втором, так как в первом диапазоне девиация частоты больше, чем во втором. Коммутация напряжений производится с помощью контактов  $1$ ,  $2$ ,  $3$ , управляемых переключателем диапазонов. Когда высотомер работает на первом диапазоне, соединяются контакты  $1-2$  и выходное напряжение снимается со всего потенциометра  $R_6$  и частично с потенциометра  $R_4$ . На втором диапазоне замыкаются контакты  $1-3$  и выходное напряжение снимается только с потенциометра  $R_6$ .

Как видно из формулы

$$F_{\text{н}} = \frac{4\Delta f H F_{\text{н}}}{C},$$

точность показаний высотомера зависит от стабильности частоты модуляции  $F_m$  и девиации частоты  $\Delta f$ . В связи с этим напряжение анодного питания на лампу звукового генератора снимается со стабиливольта Л4. Сопротивление R7 и конденсатор С3 образуют развязывающий фильтр в анодной цепи звукового генератора. Сопротивление R8 используется как балластное в цепи стабиливольта.

Перед а ю щ а я а н т е н н а (фиг. 166, а) представляет собой полуволновый вибратор 1, который с помощью двух металлических стоек 2 длиной  $\lambda/4$ , замкнутых накоротко пластиной 3, прикрепляется к самолету. Между половинами вибратора находится изоляционная втулка 4. Обе стойки полые, причем одна из них используется как продолжение коаксиальной линии, подводящей питание к вибратору. Собственно стойка (фиг. 166, б) соединяется с одной половиной вибратора, а провод, проложенный внутри нее, соединяется с другой половиной вибратора. Так как четвертьволновая короткозамкнутая линия является высококачественным изолятором, то стойки позволяют изолировать вибратор от обшивки самолета. Вместе с тем благодаря стойкам весьма просто осуществляется питание вибратора.



Фиг. 166. Антенны радиовысотомера.

Одиночный полуволновый вибратор имеет диаграмму направленности шириной порядка  $78^\circ$  и с максимумом излучения, направленным перпендикулярно оси вибратора. В данном случае излучение антенны в большой мере концентрируется в направлении к земле вследствие отражений, создаваемых металлической поверхностью самолета.

## Б. Приемная часть радиовысотомера

В приемную часть типового радиовысотомера малых высот входят: приемная антенна, балансный детектор, усилитель низкой частоты, ограничитель, счетчик импульсов, усилитель постоянного тока и индикатор высоты.

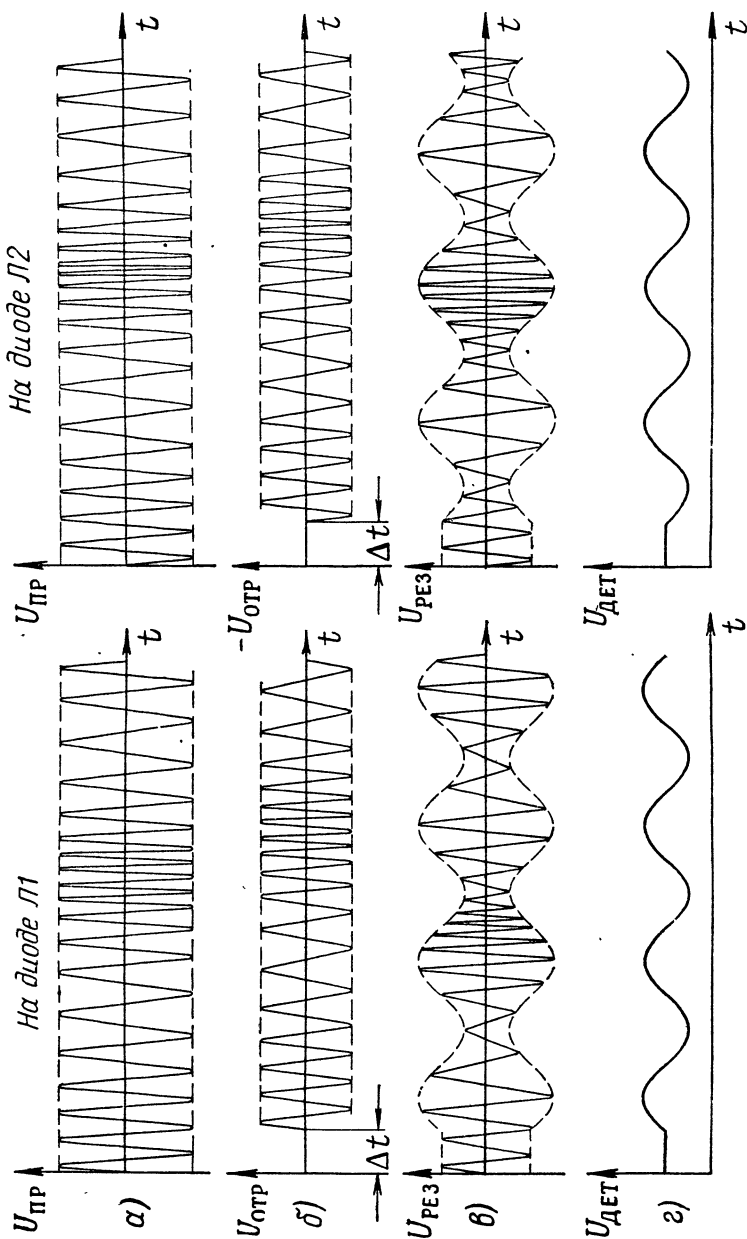
Балансный детектор работает на двух диодах Л1, Л2 типа желудь 9004. Электрическая схема детектора показана на фиг. 167, а эпюры напряжений в схеме — на фиг. 168. Высокочастотные напряжения подаются на диоды с открытой двухпроводной линии L1. Вначале линия соединяется с анодами диодов через конденсаторы C1, C2, а в конце замыкается накоротко подвижной заземленной перемычкой. Так как катоды ламп по току СВЧ заземлены (в Л1 — через конденсатор C3, а в Л2 — непосредственно), то можно сказать, что каждый провод линии L1 включен между анодом и катодом соответствующего диода.

К передатчику

К усилителю  
низкой частоты

(фиг. 168, а). Прямолинейный провод L2 параллелен двухпроводной линии L1. Стало быть, отраженный сигнал на обоих проводах этой линии и на обоих диодах имеет одинаковую фазу (фиг. 168, б). Суммируя напряжения прямого и отраженного сигналов, можно убедиться в том, что если в одном диоде они находятся в фазе, то в тот же момент на другом диоде они находятся в противофазе. Вследствие этого огибающие результирующего напряжения на анодах диодов Л1, Л2 сдвинуты по фазе на  $180^\circ$  (фиг. 168, в).





Фиг. 168. Временные диаграммы напряжений и токов балансного детектора.

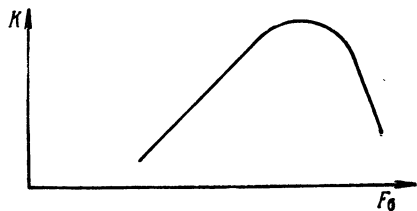
Благодаря односторонней проводимости диодов в их анодных цепях возникает пульсирующий ток, который содержит постоянную и высокочастотные составляющие. Для постоянной составляющей существуют следующие цепи: анод—катод Л1, точки *ab* потенциометра R1, сопротивление R2, корпус, провод, проложенный внутри трубки линии Л1, анод Л1, а также анод—катод Л2, корпус, R2, точки *бв* потенциометра R1, другой внутренний провод линии Л1, анод Л2. Судя по направлению этих токов, можно сказать, что выходное напряжение детектора, снимаемое с сопротивления R2, определяется разностью токов диодов, но так как согласно форме огибающей напряжений на диодах их постоянные составляющие изменяются в противофазе (фиг. 168, *г*), то выходное напряжение детектора за счет балансного включения удваивается по амплитуде.

Это не является главным преимуществом балансного детектора. Его основное преимущество — в подавлении паразитной амплитудной модуляции. Действительно, если прямой или отраженный сигнал промодулирован по амплитуде, то вызванные этим изменения амплитуды анодного напряжения будут одинаковыми по фазе на обоих диодах; следовательно, на выходе они взаимно уничтожаются. Обратим внимание на то, что в случае паразитной амплитудной модуляции изменения амплитуды прямого или отраженного сигналов не зависят от фазы каждого из этих сигналов по току СВЧ. Вот почему на обоих диодах анодное напряжение за счет паразитной модуляции всегда изменяется в фазе.

Балансный детектор эффективно работает только в том случае, если оба плеча полностью симметричны. Эта симметрия в основном нарушается разбросом емкостей диодов. Для его компенсации в схему детектора включен дифференциальный конденсатор С5.

Усилитель низкой частоты предназначен для того, чтобы колебания низкой частоты, полученные в результате детектирования, были усилены до величины, необходимой для нормальной работы счетчика импульсов.

Частотная характеристика такого усилителя (фиг. 169) несколько необычна по следующим причинам. Во-первых, для уменьшения шумов и помех колебания, выходящие за пределы рабочего диапазона, т. е. с частотой, меньшей частоты модуляции и большей 8—9 кГц, должны полностью



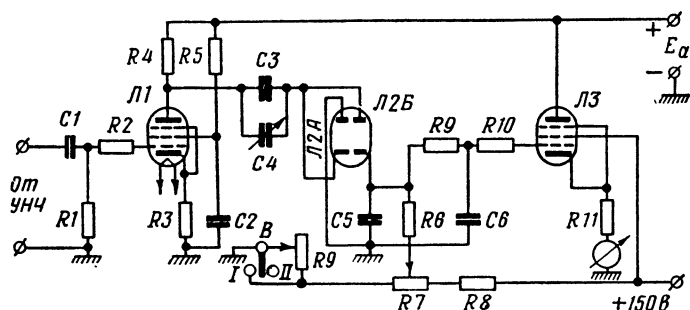
Фиг. 169. Частотная характеристика усилителя низкой частоты радиовысотомера малых высот.

срезаться. Во-вторых, для того чтобы компенсировать ослабления отраженного сигнала, происходящие по мере увеличения высоты самолета, коэффициент усиления  $K$  в рабочем диапазоне частот должен возрастать пропорционально частоте колебаний.

Усилитель низкой частоты состоит из трех каскадов, включенных по реостатной схеме. Требуемый подъем частотной характеристики достигается за счет применения отрицательной обратной связи, ко-

торая уменьшается по мере увеличения частоты, и включения переходных конденсаторов малой емкости. Емкостное сопротивление этих конденсаторов с увеличением частоты уменьшается, благодаря чему возрастает та часть напряжения, которая с нагрузки одного каскада передается на вход следующего каскада. Резкое уменьшение усиления на высших частотах, выходящих за пределы рабочего диапазона, происходит за счет емкостей, шунтирующих анод и управляющую сетку относительно земли.

Лампа ограничителя-усилителя Л1 (фиг. 170) работает в режиме двустороннего ограничения. Напряжение низкой частоты, подаваемое через переходную цепь C1, R1, в положительный полупериод вызывает сеточный ток, который основное падение напряжения создает на большом сопротивлении R2=820 ком.



Счетчик импульсов выполнен на двойном диоде Л2. Работа его заключается в следующем. При появлении положительного импульса на аноде ограничителя, т. е. при запертой лампе Л1, происходит заряд конденсаторов С3, С4 по цепи  $+E_a$ , R4, С3-С4, диод Л2Б, С5, корпус. Сопротивление R6 в этом процессе практически не участвует, так как оно велико ( $R6=1 \text{ Мом}$ ) и значительно больше R4. Емкость С5 также намного больше емкостей С3, С4, а поэтому, учитывая, что при последовательном соединении конденсаторов общая емкость меньше наименьшей, можно сказать, что постоянная времени зарядной цепи определяется произведением

$R_4$  ( $C_3 + C_4$ ), а оно достаточно мало, чтобы конденсаторы  $C_3$ ,  $C_4$  при любой частоте следования импульсов полностью заряжались до напряжения источника  $E_a$ .

Когда лампа ограничителя открыта и ее анодное напряжение находится на нижнем уровне, конденсаторы  $C_3$ ,  $C_4$  разряжаются через участок анод — катод пентода  $L1$ , сопротивление  $R_3$ , корпус и диод  $L2A$ , минуя конденсатор  $C_5$ . Поэтому до появления следующего положительного импульса конденсаторы  $C_3$ ,  $C_4$  разряжаются до нижнего уровня ограничителя, а конденсатор  $C_5$  разряжается через сопротивление  $R_6$ , потенциометр  $R_7$  и переключатель диапазонов  $B$ .

В установившемся режиме, когда самолет летит на постоянной высоте, количество электричества, приобретенное конденсатором  $C_5$  во время заряда, благодаря соответствующему подбору цепи  $C_5$ ,  $R_6$  равно количеству электричества, потерянного конденсатором  $C_5$  во время разряда. Стало быть, выходное напряжение счетчика, зависящее от тока разряда конденсатора  $C_5$ , прямо пропорционально его зарядному току. Этот ток является также током заряда конденсаторов  $C_3$ ,  $C_4$ , который зависит от перепада напряжения на них, параметров зарядной цепи и от частоты импульсов. Благодаря ограничителю перепад напряжения не изменяется, параметры зарядной цепи в процессе работы счетчика также остаются постоянными. В таком случае напряжение на выходе счетчика зависит только от частоты импульсов и изменяется пропорционально этой шкале. Для получения равномерной шкалы индикатора необходимо, чтобы указанная зависимость была линейной. Конденсатор  $C_5$ , как в любой цепи  $RC$ , заряжается по экспоненциальному закону. С ростом частоты повышается напряжение на конденсаторе, и экспоненциальная кривая заряда все более отклоняется от прямой линии. Одновременно чувствительность счетной схемы несколько понижается вследствие уменьшения крутизны кривой заряда конденсатора  $C_5$ . Эти обстоятельства ограничивают максимальную частоту импульсов, учитываемых счетной схемой.

Выходное напряжение счетчика передается с элементов схемы  $C_5$ ,  $R_6$  через фильтр  $R_9$ ,  $C_6$  и антипаразитное сопротивление  $R_{10}$  на управляющую сетку усилителя постоянного тока  $L_3$ . Фильтр служит для сглаживания пульсаций напряжения, т. е. для усреднения показаний индикатора.

Усилитель постоянного тока работает на пентоде  $L_3$  как каскад с катодной нагрузкой. Этой нагрузкой является миллиамперметр, соединенный последовательно с сопротивлением  $R_{11}$ . Отклонение стрелки индикатора пропорционально анодному току усилителя, а следовательно, и поданному на его вход напряжению. Благодаря этому можно проградуировать шкалу индикатора в единицах высоты.

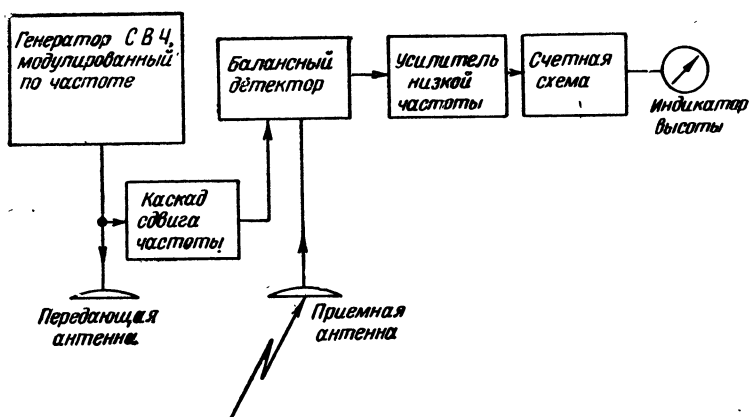
Исходное напряжение на управляющей сетке лампы  $L_3$  относительно ее катода отрицательное. Оно определяется разностью положительного напряжения на сетке, снимаемого с потенциометров  $R_7$  на первом диапазоне и  $R_7$ ,  $R_9$  на втором диапазоне, и положи-

тельного напряжения на катоде, снимаемого с сопротивления R11. Регулировка потенциометров R7 (на первом диапазоне) и R9 (на втором диапазоне) производится с целью установления стрелки индикатора в нулевое положение шкалы, когда самолет находится на земле. Для повышения точности высотомера делитель R8, R7, R9, в который входят эти потенциометры, и экранная сетка усилителя постоянного тока питаются напряжением 150 в, поступающим от стабилизолта.

#### § 4. ЧАСТОТНЫЙ РАДИОВЫСОТОМЕР С НЕПРЕРЫВНЫМ ОТСЧЕТОМ ВЫСОТЫ<sup>1</sup>

Основным недостатком описанных частотных радиовысотомеров является ступенчатое изменение их показаний. Этот недостаток полностью или частично можно устранить, если прямой сигнал подавать на вход детектора не непосредственно, а через дополнительный каскад (фиг. 171), который сдвигает частоту прямого сигнала на постоянную величину  $F'$ , значительно меньшую частоты модуляции  $F_m$ .

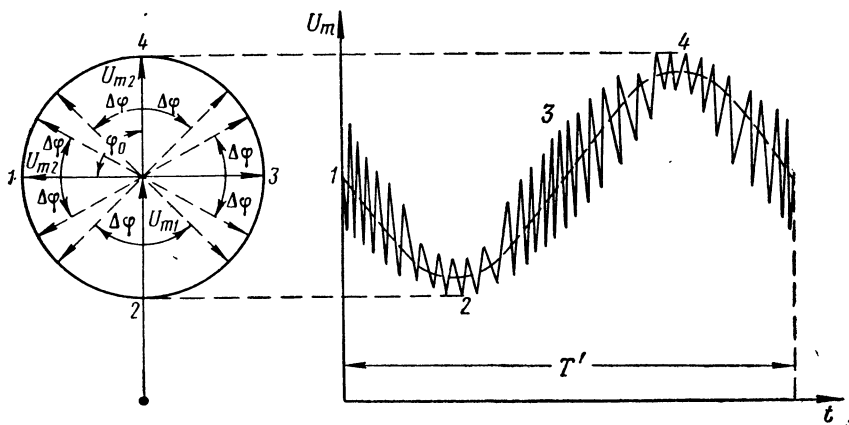
На фиг. 172 показано изменение амплитуды результирующего сигнала  $U_m$  в таком усовершенствованном высотомере. Если в ранее описанных частотных высотомерах сдвиг по фазе между векторами прямого сигнала  $U_{m1}$  и отраженного сигнала  $U_{m2}$  определялся только начальным сдвигом  $\varphi_0$  и качанием вектора  $U_{m2}$  на величину  $\Delta\varphi$  с



Фиг. 171. Блок-схема усовершенствованного частотного высотомера.

частотой модуляции  $F_m$ , то в данном случае следует еще учесть непрерывное вращение вектора  $U_{m2}$  с частотой  $F'$ . Допустим, что, так же как на фиг. 161, б, высота  $H = \frac{\lambda_0}{8}$ ,  $\varphi_0 = \frac{\pi}{2}$  и  $\Delta\varphi < \frac{\pi}{2}$ . Если бы

<sup>1</sup> Г. Калмус, Дж. Качерис, Г. Дронкин. Высотомер с частотной модуляцией без постоянной ошибки. Вопросы радиолокационной техники. ИЛ, 1954, № 3.



Фиг. 172. Изменения амплитуды результирующего сигнала в усовершенствованном высотомере.

вектор  $U_{m2}$  под влиянием каскада сдвига частоты только вращался с частотой  $F'$ , то за период  $T' = \frac{1}{F'}$  результирующая амплитуда  $U_m$  изменилась бы по синусоиде 1, 2, 3, 4..., изображенной пунктирной линией. Но так как вокруг каждого нового положения вектор  $U_{m2}$  совершает еще качание на  $\Delta\varphi$  с частотой модуляции  $F_m$ , то амплитуда результирующего сигнала изменяется согласно кривой, изображенной сплошной линией.

Отсчет импульсов производится тогда, когда кривая результирующей амплитуды, возрастая, пересекает ось, находящуюся на исходном уровне  $U_{m2}$ . Это позволяет сказать, что процесс отсчета в данном случае повторяется не через период модуляции  $T_m$ , как в обычных высотомерах, а через период  $T'$ . В связи с этим число импульсов, приходящихся на соответствующий период времени, даже при одинаковых  $H$ ,  $F_m$ ,  $\varphi_0$  и  $\Delta\varphi$  в усовершенствованном высотомере значительно больше, чем в обычном (ср. фиг. 161, б и 172). Но самое важное заключается в том, что для увеличения числа импульсов на единицу требуется меньшее приращение  $\Delta\varphi$ , а следовательно, и высоты  $H_{кр}$ , чем раньше.

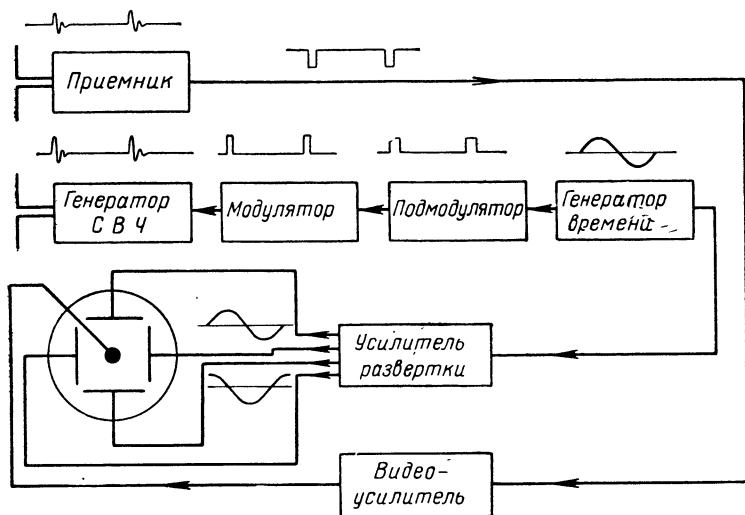
Действительно, в неусовершенствованном высотомере дополнительный импульс в каждый период модуляции вырабатывался при условии, что  $\Delta\varphi$  увеличивалось на  $\pi/2$ . В данном же случае благодаря непрерывному изменению фазового сдвига между векторами  $U_{m1}$  и  $U_{m2}$  приращение фазового угла на  $\pi/2$  происходит при увеличении  $\Delta\varphi$  на величину, значительно меньшую, чем  $\pi/2$ . Следовательно, для увеличения числа импульсов на единицу за период  $T'$  высота должна увеличиться на величину, намного меньшую, чем  $H_{кр}$ , вычисленную по формуле (28). В результате получается, что если частота модуляции достаточно велика по сравнению с частотой  $F'$  (т. е.  $T' \ll T_m$ ), то ступенчатый эффект практически не наблюдается.

Желательно, чтобы период  $T'$  не был чрезмерно большим, так как

в усовершенствованном высотомере для правильного отсчета показаний необходимо за индикатором высоты следить несколько периодов  $T'$ , а в частотомере со ступенчатым эффектом отсчет производится хотя и с большими погрешностями, но быстрее, в течение нескольких периодов  $T_m$ . Отсюда следует вывод, что целесообразно выбрать частоту  $F'$  такого же порядка, как  $F_m$  в неусовершенствованных высотомерах, а частоту модуляции  $F_m$  увеличить до десятка килогерц и соответственно несущую частоту перевести в сантиметровый диапазон волн. В настоящее время это вполне возможно, поскольку уже разработаны миниатюрные магнетроны с частотной модуляцией.

## § 5. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РАДИОВЫСОТОМЕРАХ БОЛЬШИХ ВЫСОТ

**П р и н ц и п д е й с т в и я.** Радиовысотомеры больших высот работают по импульсному методу. Выигрыш в мощности передатчика за счет импульсной модуляции позволяет без существенного увеличения габаритов и веса приемо-передатчика значительно увеличить максимальную измеряемую высоту. Возражение против применения импульсного метода — трудность генерирования очень коротких по длительности импульсов — в данном случае отпадает, поскольку для измерения больших высот в таких коротких импульсах нет необходимости. Что касается точности измерений, то и здесь импульс-

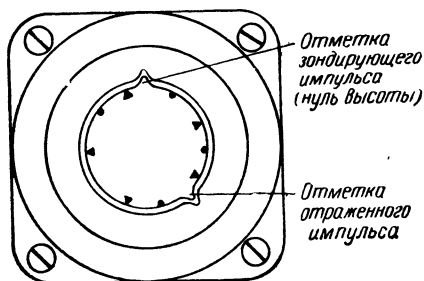


Фиг. 173. Упрощенная блок-схема радиовысотомера больших высот.

ные высотомеры оказываются более совершенными, чем частотные, так как последние имеют примерно постоянную относительную погрешность, которая на больших высотах соответствует очень большой абсолютной погрешности, а импульсные высотомеры отличаются большим постоянством абсолютной погрешности, вполне допустимой при измерении больших высот.

Летчик-истребитель нуждается в точных показаниях высотомера на малых высотах, а экипажу бомбардировщика, кроме того, необходимо точное измерение больших высот для бомбометания. Поэтому на истребителях устанавливаются радиовысотомеры малых высот (большие высоты измеряются барометрическими приборами), а на бомбардировщиках — как малых высот, так и больших.

Типовой радиовысотомер больших высот SCR-718C (фиг. 173) состоит из передающей и приемной антенн, блока передатчика и блока индикатора. Такое разделение на блоки вызвано тем, что по условиям размещения аппаратуры на самолете перед штурманом, как и перед любым другим членом экипажа, должны находиться только те приборы, которые необходимы в полете. В данном случае этим прибором является индикатор, а приемо-передатчик помещается в любом другом месте самолета, поскольку на нем нет элементов управления.



Фиг. 174. Индикатор радиовысотомера больших высот.

Синхронизация работы высотомера осуществляется задающим генератором, который возбуждает синусоидальные колебания с частотой около 10 или 100 кГц (в зависимости от диапазона измеряемых высот). Эти колебания воздействуют на подмодулятор.

Последний на каждый период входного напряжения вырабатывает один импульс постоянного тока длительностью 1 мксек. В модуляторе этот импульс усиливается по амплитуде и уменьшается по длительности до 0,5 мксек. Импульс модулятора запускает генератор СВЧ, в результате чего в передающей антенне возбуждаются радиоимпульсы с несущей частотой  $f = 440$  МГц, длительностью  $\tau = 0,5$  мксек и частотой следования, заданной задающим генератором ( $F_0 \approx 10$  или 100 кГц).

Одновременно с этим задающий генератор подает синусоидальные колебания на каскад развертки. Последний преобразует их в два синусоидальных колебания той же частоты, но сдвинутых между собой по фазе на  $90^\circ$ . Эти напряжения подаются на две пары взаимноперпендикулярных пластин трубки, в результате чего получается кольцевая развертка.

Радиоимпульсы (зондирующий и отраженный от земли) попадают в приемную антенну, а затем усиливаются и преобразуются в приемнике. На выходе его получаются видеоимпульсы, которые после дополнительного усиления поступают в отрицательной полярности на центральный электрод трубки. В связи с этим на экране трубки появляется отметка в виде радиального всплеска, направленного на круговой линии, развертки к наружному краю трубки (фиг. 174).

Поскольку зондирующие импульсы имеют постоянную частоту следования, равную частоте развертки, отметка этих импульсов



всегда возникает в одном и том же месте экрана электронно-лучевой трубки. Начало отметки зондирующего импульса совмещают с нулем шкалы индикатора, и тогда отсчет измеряемой высоты производится по положению отметки отраженного импульса относительно шкалы, наложенной на экран трубки. Шкалу градуируют исходя из того, что задержка импульса прямо пропорциональна измеряемой высоте:

$$\Delta t = \frac{2H}{C}.$$

**Тактико-технические данные.** Радиовысотомер больших высот SCR-718С имеет два диапазона измеряемых высот. Первый рассчитан на измерения до 1500 м, а второй — до 15 000 м. На обоих диапазонах используется один и тот же индикатор с кольцевой разверткой, но цена деления его шкалы на втором диапазоне в 10 раз больше, чем на первом. Диаметр кольцевой развертки 60 мм. Частота развертки и следования импульсов на первом диапазоне около 100 кГц, а на втором — около 10 кГц. Длительность импульса  $\tau = 0,5$  мксек. Мощность в импульсе  $P_{\text{и}} = 10$  вт. Несущая частота  $f = 440$  МГц. Питание высотомера производится напряжением 115 в с частотой от 400 до 2400 Гц. Потребляемая мощность 135 вт.

Дадим обоснование этим данным.

Преимущества индикатора типа J при определении дальности были перечислены при описании отметчиков станции орудийной наводки (гл. II, § 2). В данном случае имеется еще одно преимущество: экран индикаторов с кольцевой разверткой по внешнему виду напоминает привычные для экипажа самолета стрелочные приборы.

На точность показаний индикатора большое влияние оказывает стабильность частоты задающего генератора, так как от этого зависит постоянство скорости развертки, а следовательно, и точность калибровки шкалы индикатора. Особенно важно обеспечить высокую стабильность частоты на первом диапазоне, где производится точный отсчет дальности. По этой причине на первом диапазоне задающий генератор стабилизируется кварцем.

Частота колебаний задающего генератора определяется тем, что за один период колебаний этого генератора совершается один цикл кольцевой развертки. Так как на первом диапазоне высота измеряется примерно до 1500 м, что соответствует интервалу времени  $\Delta t = \frac{1500}{150} = 10$  мксек, то период колебаний должен быть равен 10 мксек, а частота

$$F_0 = \frac{1}{T_0} = \frac{1}{10 \cdot 10^{-6}} = 10^5 \text{ Гц} = 100 \text{ кГц}.$$

На втором диапазоне шкала градуирована примерно до 15 000 м, а следовательно, частота задающего генератора должна быть в 10 раз меньше —  $F_0 = 10$  кГц.

Несущая частота ( $f=440$  Мгц,  $\lambda=68$  см) выбрана из тех же соображений, что и в типовом радиовысотомере малых высот, т. е. исходя из возможности генерирования колебаний СВЧ с помощью малогабаритных триодов и применения полуволновых вибраторов в качестве антенн.

Импульсный метод позволяет ограничиться одной антенной, но в данном случае антенны настолько просты, что замена одной из них антенным переключателем не оправдывает себя как с конструктивной точки зрения, так и с точки зрения надежности в работе.

В связи с применением импульсного режима в радиовысотомерах больших высот их приемники должны иметь более широкую полосу пропускания, чем в радиовысотомерах малых высот. По этой причине более целесообразно применение супергетеродинных приемников, поскольку они обладают повышенной чувствительностью.

## **§ 6. ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА РАДИОВЫСОТОМЕРА БОЛЬШИХ ВЫСОТ ТИПА SCR-718C**

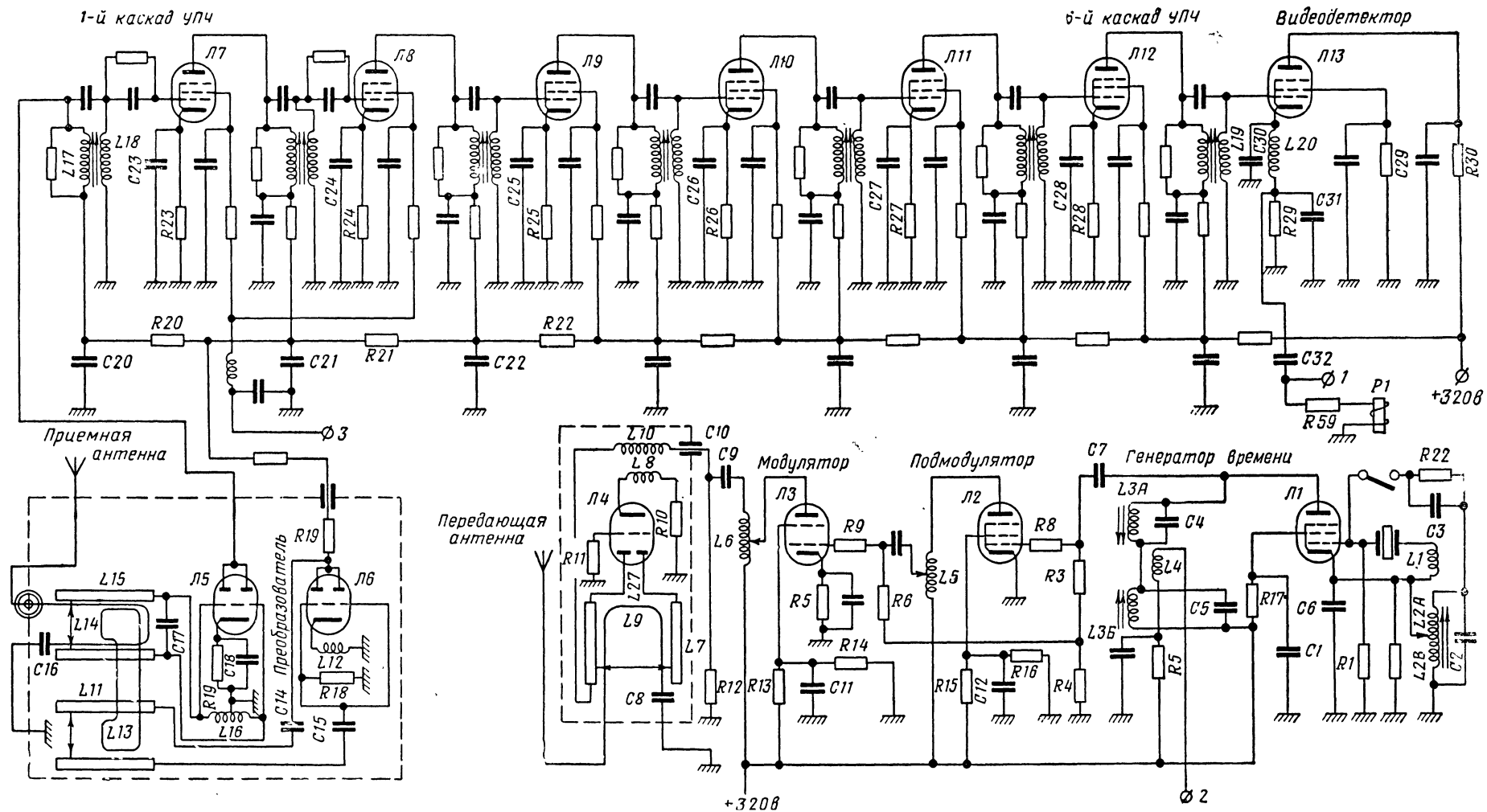
### **А. Передатчик**

В передающую часть радиовысотомера (фиг. 175) входят задающий генератор, подмодулятор, модулятор и генератор СВЧ.

З а д а ю щ и й г е н е р а т о р, предназначенный для генерирования синусоидальных колебаний с частотой порядка 100 или 10 кгц, выполнен на пентоде Л1 (6AG5) по схеме с электронной связью. Для этой схемы характерно, что в одной многоэлектродной лампе совмещаются самовозбуждение и усиление колебаний. Катод, управляющая и экранная сетки образуют триод генератора с самовозбуждением, а анодная цепь с включенными в нее контурами L3A, C4 и L3B, C5 используется для усиления колебаний. Связь между элементами самовозбуждения и усиления происходит через электронный поток (внутреннее сопротивление) лампы, благодаря чему получается повышенная стабильность работы генератора.

Переключение генератора с одного диапазона на другой производится при помощи реле, управляемого переключателем диапазонов, находящимся в блоке индикатора. В том случае, когда переключатель диапазонов находится в положении «X1» (первый диапазон), на реле Р1 ток не подается и генератор возбуждает колебания частотой  $F_0 \approx 100$  кгц, стабилизированные кварцем. Пластина кварца включена между управляющей сеткой и катодом (через индуктивность L1). Индуктивности L1, L2B используются для подвозбуждения кварца. В этом можно убедиться, если обратить внимание на то, что верхняя (по схеме) точка индуктивности L1 подключается через кварцевую пластину к управляющей сетке, промежуточная точка — к катоду и нижняя, заземленная точка индуктивности L2 — через конденсатор C1 к экранной сетке. При кварцевой стабилизации смещение на управляющую сетку снимается с сопротивления гридлика R1.

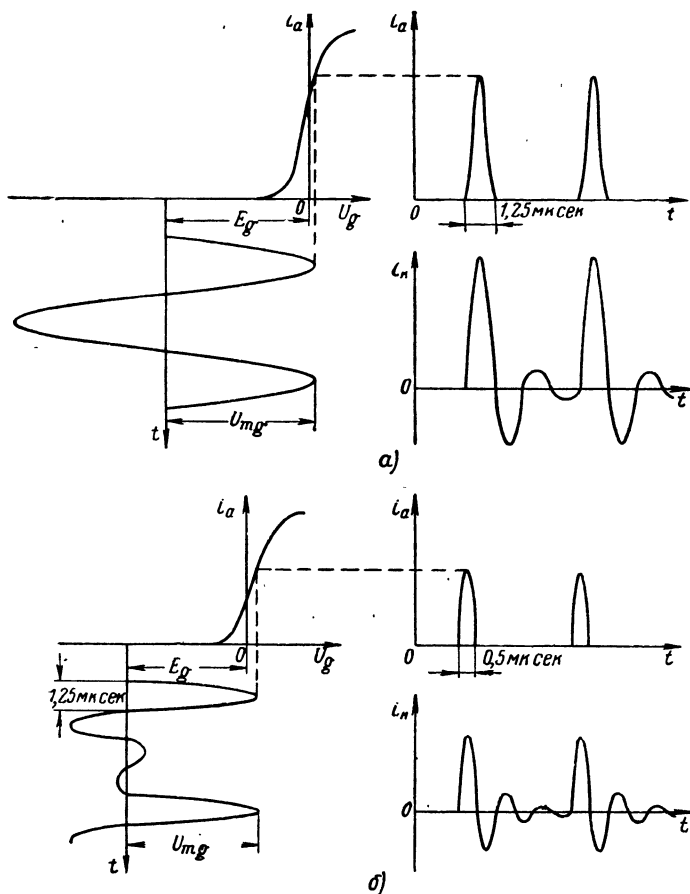
Когда переключатель диапазонов поставлен в положение «X10» (второй диапазон), в обмотку реле Р1 поступает ток и через его контакты в сеточную цепь генератора включается контур L2A, L2B,



Фиг. 175. Принципиальная электрическая схема прямо-передатчика радиовысотомера больших высот типа SCR-718C.

С2. Самовозбуждение происходит по автотрансформаторной схеме. Напряжение смещения снимается с гридлика R2, С3.

Из двух параллельных контуров, включенных последовательно в анодную цепь, один контур L3А, С4 настроен в резонанс на частоту  $F_0 \approx 100 \text{ кГц}$ , а другой контур L3Б, С5 — на  $F_0 \approx 10 \text{ кГц}$ . Так как эквивалентное сопротивление параллельного контура при резонансе максимальное и чисто активное, а при расстройке имеет малую величину и комплексный характер, то усиленное напряжение генерато-



Фиг. 176. Получение импульсов в схеме подмодулятора (а) и модулятора (б).

ра практически выделяется только на одном контуре, который настроен в резонанс на возбуждаемые колебания.

С контурными катушками L3А, L3Б индуктивно связана катушка L4. Индуцируемое в ней синусоидальное напряжение подается в блок индикатора для получения развертки. Задающий генератор

должен, очевидно, обладать высокой стабильностью частоты. Это достигается кварцевой стабилизацией (на первом диапазоне), применением схемы с электронной связью и использованием контурного конденсатора С2 с термокомпенсацией. Несмотря на то, что на втором диапазоне кварцевая стабилизация не используется, высотомер позволяет достаточно точно определить высоту самолета не только меньшую, но и большую, чем 1500 м. Для этого сначала включается второй диапазон и по индикатору производится отсчет, округленный до ближайшего меньшего числа, а затем высотомер переключается на первый диапазон и его точные показания прибавляются к предыдущим.

**Подмодулятор.** В высотомере SCR-718С применяется несколько необычная схема импульсной модуляции. Своеобразие ее определяется тем, что для работы генератора СВЧ в данном случае требуется модулирующий импульс малой мощности. Это позволяет в качестве основных элементов модулирующего устройства использовать малогабаритные колебательные контуры высокой частоты и приемно-усилительные лампы.

Подмодулятор выполнен на пентоде Л2 (6AG5). На его управляющую сетку посредством переходной цепи С7, R3, R4 подается синусоидальное напряжение от задающего генератора. Смещение на сетку снимается с сопротивлений R4 и R3. Через оба сопротивления проходит постоянная составляющая сеточного тока подмодулятора, а через сопротивление R4, кроме того, замыкается постоянная составляющая сеточного тока следующей лампы-модулятора.

Амплитуда возбуждения и смещение подобраны так, что в подмодуляторе происходит ограничение: сверху — за счет сеточного тока и снизу — за счет отсечки анодного тока (фиг. 176, а). Анодный ток приобретает импульсный характер. Каждый импульс анодного тока возбуждает в нагрузке лампы — контуре, состоящем из индуктивности L5 и емкости схемы, свободные колебания. Так как контур настроен на частоту 400 кГц и имеет большое затухание, то эти колебания  $i_k$  происходят с частотой 400 кГц и амплитуда их быстро уменьшается.

**Модулятор** отличается от подмодулятора только более высокой частотой настройки анодного контура — 900 кГц и большей мощностью лампы (Л3 типа 6L6). К управляющей сетке модулятора приложены сильно затухающие колебания подмодулятора и отрицательное смещение, которое создается на сопротивлении R5 за счет катодного тока и на сопротивлениях R4, R6 за счет сеточного тока. Полученное смещение по абсолютной величине настолько велико, что в анодной цепи модулятора ток возникает только под воздействием первой положительной полуволны колебаний подмодулятора (фиг. 176, б). В соответствии с их частотой 400 кГц лампа модулятора открыта около 1 мксек. Каждый импульс анодного тока возбуждает в контуре модулятора, состоящем из индуктивности L6 и емкости схемы, сильно затухающие собственные колебания с частотой 900 кГц. Генератор СВЧ возбуждается первой положительной полуволной этих колебаний, которая длится примерно 0,5 мксек.

Для подавления паразитных колебаний в подмодуляторе и модуляторе предусмотрены сопротивления R8 и R9.

Генератор СВЧ работает по схеме с заземленной сеткой на двойном триоде Л4 типа 6J6 (см. фиг. 175). Сетки лампы замкнуты между собой накоротко. Между анодами включена короткозамкнутая двухпроводная линия L7, подвижная перемычка которой позволяет регулировать несущую частоту радиоимпульсов. В катодной цепи имеется индуктивность L8, которая в основном влияет на режим работы генератора. Смещение на управляющую сетку снимается с катодного сопротивления R10 и сопротивления гридлика R11.

Колебания СВЧ из анодной линии передаются в коаксиальный кабель, питающий передающую антенну, через петлю связи L9. Последовательно с петлей включен конденсатор C8, предназначенный для симметрирования нагрузки генератора, так как симметрия схемы нарушена емкостью несимметричного коаксиального кабеля.

Генератор СВЧ возбуждается при условии, что к его анодам приложен положительный импульс модулятора. Для этой цели модулятор соединяют с анодами генераторных ламп через цепь C9, R12, C10, L10. Колебательная система генератора имеет высокую добротность, и если не принять соответствующих мер, то по окончании импульса модулятора в генераторе все еще будут происходить колебания СВЧ. Это явление исключается тем, что во время работы генератора происходит заряд емкости C10, и когда импульс модулятора прекращается, то с этой емкости на аноды подается отрицательное напряжение, которое обеспечивает срыв колебаний генератора до поступления следующего положительного импульса модулятора.

Питание экранных сеток ламп передатчика производится при помощи делителей R13, R14, R15, R16 и гасящего сопротивления R17. Экранные сетки блокируются по переменному току на катод через конденсаторы C11, C12, C1.

## Б. Приемник

Приемник высотомера выполнен по супергетеродинной схеме (см. фиг. 175). В состав приемника входят: преобразователь частоты Л5 (6J6) с отдельным гетеродином Л6 (6J6), шесть каскадов усилителя промежуточной частоты Л7—Л12 (6AG5) и видеодетектор Л13 (6AG5).

Преобразователь частоты. В лампе гетеродина оба триода включены параллельно. Гетеродин выполнен по схеме с заземленной сеткой. В качестве анодной индуктивности используется двухпроводная линия L11, подвижная перемычка которой служит для настройки гетеродина на частоту  $f_r = 410 \text{ Мгц}$ . Катодная индуктивность L12, которая влияет на режим работы гетеродина, не регулируется, как в большинстве маломощных генераторов. Смещение снимается с сопротивления гридлика R18. Анодное напряжение подается на гетеродин через сопротивление R19. Керамические конденсаторы C14, C15 препятствуют попаданию постоянной составляющей этого напряжения на сетки ламп.

Колебания гетеродина через элемент связи L13 вводятся в контур смесителя. В тот же контур посредством петли связи L14 из приемной антенны поступают радиоимпульсы. Цепь связи с антенной содержит конденсатор C16, емкость которого должна быть равна емкости коаксиального кабеля относительно земли в месте подключения приемной антенны к блоку. Благодаря этому сохраняется симметрия схемы.

Колебательный контур смесителя состоит из открытой двухпроводной линии L15, индуктивности L16 и емкости C17. Вся эта колебательная цепь настроена на несущую частоту радиоимпульса  $f=440 \text{ Мгц}$ . Средняя точка индуктивности L16 через конденсатор C18 соединяется с катодом, а крайние точки контура соединяются с сетками лампы. Благодаря этому возбуждение триодов смесителя происходит по двухтактной схеме.

Напряжения на управляющих сетках лампы смесителя Л5 представляют собой биения, полученные в результате смешивания радиоимпульсов и колебаний гетеродина. Огибающая биений имеет частоту  $f_{\text{пр}}=f-f_{\text{г}}=30 \text{ Мгц}$ .

Лампа смесителя работает в режиме анодного детектирования. Напряжение смещения, которое снимается с катодного сопротивления R19, блокированного конденсатором C19, устанавливается с таким расчетом, чтобы исходная рабочая точка каждого триода находилась на нижнем сгибе характеристики анодного тока. Если бы лампы работали на прямолинейных участках характеристики, то увеличение анодного тока одной лампы сопровождалось бы равным уменьшением анодного тока другой лампы и в нагрузке смесителя проходил бы постоянный ток. Благодаря тому, что лампы смесителя работают на криволинейных участках характеристик, этой компенсации не происходит и в анодной цепи получается пульсирующий ток, который среди прочих составляющих содержит ток промежуточной частоты. На эту частоту настроены контуры, составленные из индуктивностей L17, L18 и емкостей схемы и связанные между собой индуктивно-емкостно. В результате на выходе смесителя выделяются только импульсы промежуточной частоты  $f_{\text{пр}}=30 \text{ Мгц}$ .

Усилитель промежуточной частоты (УПЧ). Полоса пропускания УПЧ должна быть достаточно широкой (для одного каскада  $4,5 \text{ Мгц}$ ), чтобы воспроизвести без искажений усиливаемые импульсы малой длительности ( $\tau=0,5 \text{ мксек}$ ). При такой широкой полосе пропускания каждый усилительный каскад имеет малый коэффициент усиления, а поэтому для получения требуемой чувствительности приемник УПЧ составлен из шести каскадов (Л7—Л12).

Все каскады УПЧ в качестве нагрузки подобно смесителю имеют пару связанных контуров. Такая схема выбрана с учетом того, что при широкой полосе пропускания, как в данном случае, каскад УПЧ с парой связанных контуров дает наибольшее усиление. Требуемая полоса пропускания достигается также искусственным понижением добротности контуров при помощи шунтирующих сопротивлений. Эти сопротивления включаются только в первичные контуры связан-

ной системы, так как каждый вторичный контур шунтируется малым входным сопротивлением следующего каскада.

Отличительной особенностью первых двух каскадов УПЧ (Л7, Л8) является то, что в них напряжение на экранные сетки подается с потенциометра, расположенного в блоке индикатора. Этим потенциометром регулируется усиление приемника.

В цепях анодов и экранных сеток ламп имеются развязывающие фильтры, причем фильтр R20, C20 входит только в схему смесителя, фильтр R21, C21 входит в схемы смесителя и первого каскада УПЧ, цепь R22, C22 производит фильтрацию в смесителе и первых двух каскадах УПЧ и т. д. Таким образом, фильтрация в цепях питания тем больше, чем ближе каскад к входу усилителя. Основанием для этого является то обстоятельство, что самовозбуждение усилителя наиболее вероятно за счет обратной связи между его последним и первым каскадами.

Смещение на управляющие сетки ламп УПЧ получается благодаря падению напряжения на катодных сопротивлениях R23—R28, блокированных конденсаторами сравнительно большой емкости C23—C28.

**Видеодетектор.** Лампа видеодетектора Л13 (6AG5) работает в режиме анодного детектирования. Анод лампы заземлен по переменному току через конденсатор C29, а нагрузка детектора включена в цепь катода. Рабочая точка лампы устанавливается подбором сопротивления нагрузки R29, которое одновременно служит сопротивлением смещения.

В результате детектирования импульсов промежуточной частоты, снимаемых с контурной катушки L19, появляется постоянная составляющая анодного тока, замыкающаяся по цепи анод—катод, L20, R29, корпус (минус источника питания), +320 в, R30. Составляющие высших частот минуют нагрузку детектора R29 благодаря конденсатору C30 и дополнительному фильтру L20, C31.

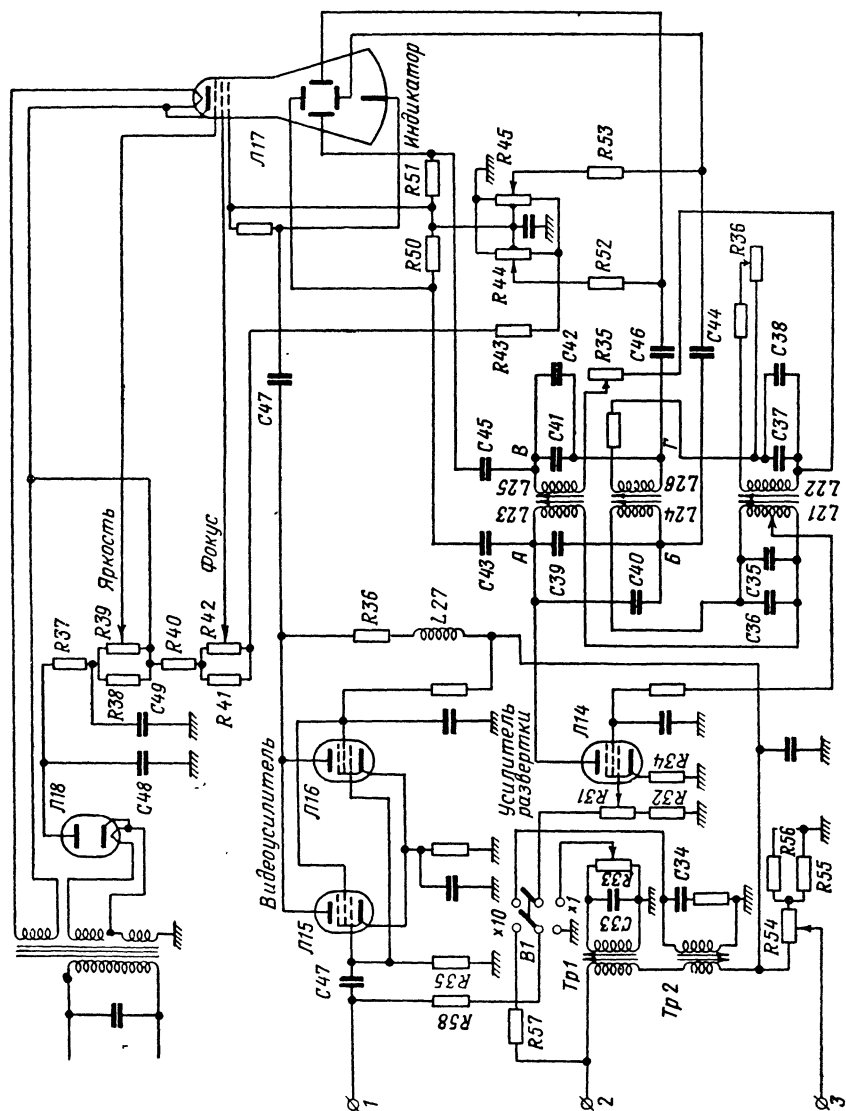
Видеоимпульсы с нагрузки детектора передаются через конденсатор C32 в блок индикатора.

## **В. Блок индикатора**

В этот блок (фиг. 177) входят: усилитель развертки, выполненный на пентоде Л14 (6AG5), видеоусилитель на двух пентодах Л15, Л16 (6AG5), электронно-лучевая трубка Л17 (3DP1S2) и высоковольтный выпрямитель для питания трубки с кенотроном Л18 (2X2/879).

**Усилитель развертки.** Синусоидальное напряжение генератора времени вызывает ток в первичных обмотках трансформаторов Tr1 и Tr2. Вторичные обмотки этих трансформаторов в совокупности с конденсаторами C33, C34 образуют контуры, из которых один настроен на частоты  $F_0 \approx 100$  кГц, а другой — на  $F_0 \approx 10$  кГц. Если переключатель диапазонов В1 поставлен в «X1», то вход усилителя развертки через потенциометр R31 и сопротивление R32 оказывается подключенным к контуру, настроенному на





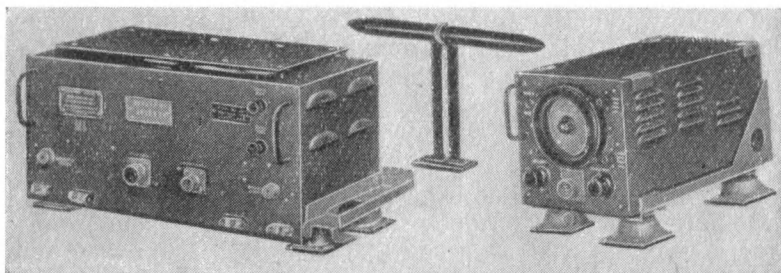
Фиг. 177. Принципиальная электрическая схема блока индикатора радиовысотмера больших высот.

же цели, то оно достигается регулировкой с помощью переменных сопротивлений R35, R36.

**Видеоусилитель.** Видеоимпульсы положительной полярности с нагрузки видеодетектора через цепь C47, R35 подаются на параллельно включенные лампы Л15, Л16. Параллельное включение ламп позволяет удвоить крутизну характеристики и коэффициент усиления каскада. Благодаря этому в видеоусилителе можно использовать лампы типа 6AG5, которые широко применяются в других каскадах высотомера.

Нагрузкой усилителя служат сопротивление R36 и индуктивность L27, включенная для коррекции частотной характеристики на высших частотах. На аноде видеоусилителя получаются отрицательные импульсы, которые через конденсатор C47 передаются на центральный электрод трубки, вызывая этим всплеск от линии развертки к наружному краю экрана.

**Высоковольтный выпрямитель** выполнен по однополупериодной схеме на кенотроне Л18. Фильтр выпрямителя состоит из сопротивления R37 и конденсаторов C48, C49. Выпрямленное напряжение приложено к делителю R38, R39, R40, R41, R42,



Фиг. 178. Внешний вид радиовысотомера больших высот.

R43, R44, R45: плюс этого напряжения подключается к заземленным концам сопротивлений R44, R45, а минус — к сопротивлению R38.

Катод трубки соединяется с общей точкой сопротивлений R38, R39, R40. Следовательно, с потенциометра R39, регулирующего яркость, снимается отрицательное напряжение на управляющий электрод, а с сопротивлений R40, R42, из которых R42 — переменное и используется для регулирования фокусировки, снимается положительное напряжение на первый анод трубки.

Второй анод находится под потенциалом, близким к потенциалу корпуса. Отклоняющие пластины должны иметь средний потенциал, близкий к потенциалу второго анода. Для этого одну из пластин каждой пары через сопротивления R50 или R51 соединяют со вторым анодом, а другие две пластины через равные сопротивления R52, R53 подключают к потенциометрам R44, R45, с которых можно снять напряжение, равное или близкое к напряжению второго анода.

частоту порядка 100 кГц, если же переключатель В1 поставлен в положение « $\times 10$ », то на вход усилителя синусоидальное напряжение подается с контура, настроенного на частоту порядка 10 кГц.

Потенциометр R31 позволяет изменять амплитуду напряжения на входе усилителя и этим регулировать радиус окружности развертки. Для того чтобы длину линии развертки для каждого диапазона дальности можно было регулировать независимо, предусмотрен второй потенциометр R33, подключенный к контуру первого диапазона.

В усилителе применена отрицательная обратная связь по току. Для этого сопротивление R34, включенное в катодную цепь лампы, не блокировано конденсатором.

Нагрузкой усилителя являются две связанные системы контуров. Одна из них L21, C35, C36; L22, C37, C38 настроена на частоту  $F_0 \approx 10$  кГц и включена внутри другой системы L23, L24, C39, C40; L25, L26, C41, C42, настроенной на частоту  $F_0 \approx 100$  кГц. Поэтому когда высотомер работает на первом диапазоне и усиливаются колебания с частотой  $F_0 \approx 100$  кГц, индуктивные сопротивления ветвей L23, L24, L25, L26 равны емкостным сопротивлениям ветвей C39, C40, C41, C42, а в целом эти контуры имеют максимальное чисто активное эквивалентное сопротивление. В то же время вследствие большой расстройки внутренних контуров емкостные сопротивления ветвей C35, C36, C37, C38 ничтожно малы по сравнению с индуктивными сопротивлениями ветвей L21, L22, т. е. внутренние контуры практически замкнуты накоротко через конденсаторы C35, C36, C37, C38 и в усилении колебаний не участвуют.

Если же радиовысоотомер работает на втором диапазоне и колебания усиливаются с частотой  $F_0 \approx 10$  кГц, то вследствие большой расстройки внешних контуров последние почти накоротко замыкаются через индуктивные ветви L23, L24, L25, L26, и вся нагрузка лампы сконцентрирована во внутренних контурах, имеющих в данном случае максимальное активное эквивалентное сопротивление.

Крайние точки А, Б первичных контуров через конденсаторы C43, C44 соединяются с вертикально отклоняющими пластинами трубки, а крайние точки В, Г вторичных контуров через конденсаторы C45, C46 подключаются к горизонтально отклоняющим пластинам. Так как первичный и вторичный контуры, действующие на данном диапазоне, настроены в резонанс, то напряжения на них сдвинуты по фазе на  $90^\circ$ . Напомним, что если к первичному контуру приложено напряжение  $U_I$ , то в индуктивной ветви этого контура ток  $I_I$  отстает по фазе на  $90^\circ$  от  $U_I$  (см. фиг. 92). Ток  $I_I$  индуцирует во вторичном контуре э. д. с.  $E_{II}$ , которая возбуждает в нем ток  $I_{II}$ , совпадающий по фазе с  $E_{II}$ . Напряжение на индуктивности вторичного контура  $U_{II}$  опережает ток  $I_{II}$  на фазовый угол  $90^\circ$ . Таким образом, между напряжениями  $U_I$  и  $U_{II}$  на вертикально и горизонтально отклоняющих пластинах имеется сдвиг по фазе на  $90^\circ$ , который необходим для создания кольцевой развертки. Что касается равенства амплитуд этих напряжений, требуемого для той

же цели, то оно достигается регулировкой с помощью переменных сопротивлений R35, R36.

**Видеоусилитель.** Видеоимпульсы положительной полярности с нагрузки видеодетектора через цепь C47, R35 подаются на параллельно включенные лампы Л15, Л16. Параллельное включение ламп позволяет удвоить крутизну характеристики и коэффициент усиления каскада. Благодаря этому в видеоусилителе можно использовать лампы типа 6AG5, которые широко применяются в других каскадах высотомера.

Нагрузкой усилителя служат сопротивление R36 и индуктивность L27, включенная для коррекции частотной характеристики на высших частотах. На аноде видеоусилителя получают отрицательные импульсы, которые через конденсатор C47 передаются на центральный электрод трубки, вызывая этим всплеск от линии развертки к наружному краю экрана.

**Высоковольтный выпрямитель** выполнен по однополупериодной схеме на кенотроне Л18. Фильтр выпрямителя состоит из сопротивления R37 и конденсаторов C48, C49. Выпрямленное напряжение приложено к делителю R38, R39, R40, R41, R42,

Фиг. 178. Внешний вид радиовысотомера больших высот.

R43, R44, R45: плюс этого напряжения подключается к заземленным концам сопротивлений R44, R45, а минус — к сопротивлению R38.

Катод трубки соединяется с общей точкой сопротивлений R38, R39, R40. Следовательно, с потенциометра R39, регулирующего яркость, снимается отрицательное напряжение на управляющий электрод, а с сопротивлений R40, R42, из которых R42 — переменное и используется для регулирования фокусировки, снимается положительное напряжение на первый анод трубки.

Второй анод находится под потенциалом, близким к потенциалу корпуса. Отклоняющие пластины должны иметь средний потенциал, близкий к потенциалу второго анода. Для этого одну из пластин каждой пары через сопротивления R50 или R51 соединяют со вторым анодом, а другие две пластины через равные сопротивления R52, R53 подключают к потенциометрам R44, R45, с которых можно снять напряжение, равное или близкое к напряжению второго анода.

Следовательно, этими потенциометрами можно производить центровку электронного луча по горизонтали и вертикали.

**Дополнительные цепи высотомера.** Схема и конструкция высотомера отражают некоторые особенности самолетных радиолокационных приборов. Выше уже отмечалось, что все элементы управления высотомером сосредоточены на передней панели индикатора, а основная часть схемы находится в приеме-передатчике. В связи с этим, имея в виду требования предельного повышения надежности радиовысотомера и уменьшения его габаритов, следует стремиться к уменьшению числа проводов в кабеле, соединяющем блоки приема-передатчика и индикатора. Это достигается, например, следующим (см. фиг. 175, 177).

а) По проводу, соединяющему катушку связи L4 задающего генератора с усилителем развертки, кроме синусоидального напряжения генератора, подается постоянное напряжение от источника 320 в. В результате образуется следующая цепь постоянного тока: +320 в, R5, L4, контакт 2 разъема, первичные обмотки трансформаторов Tr1, Tr2, R54, R55—R56, корпус. Падение напряжения, которое получается на потенциометре R54, регулирующем усиление приемника, подается обратно в блок индикатора через контакт 3 разъема.

б) Импульс с выхода видеодетектора (приемо-передатчик) на вход видеоусилителя (индикатор) подается через контакт 1 разъема по проводу, который одновременно используется для коммутации реле P1. Когда переключатель диапазонов В1 находится в положении « $\times 10$ », постоянное напряжение, которое имеется на контакте 2 разъема, подается через сопротивления R57, R58, контакт 1 разъема, R59 на обмотку реле P1. При переводе переключателя диапазонов в положение « $\times 1$ » сопротивление R58 заземляется и реле обесточивается.

В блоке приема-передатчика каскады СВЧ смонтированы в отдельных экранированных коробках.

Внешний вид радиовысотомера больших высот показан на фиг. 178.

## Глава VI

### САМОЛЕТНЫЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ ДАЛЬНОМЕРЫ<sup>1</sup>

#### § 1. ОСОБЕННОСТИ САМОЛЕТНЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ДАЛЬНОМЕРОВ

1. Радиолокационный дальномер, устанавливаемый на истребителе, предназначен для автоматического и точного определения

<sup>1</sup> Схемы и тактико-технические данные дальномеров приведены по данным следующих работ:

1. Ламповые схемы для измерения времени, ч. I, II. Перев. с англ. под редакцией А. Я. Брейтбарта. «Советское радио», 1951.

2. Airborne Radar Specifications. «Electronics», 1947, vol. 20, No. 2.

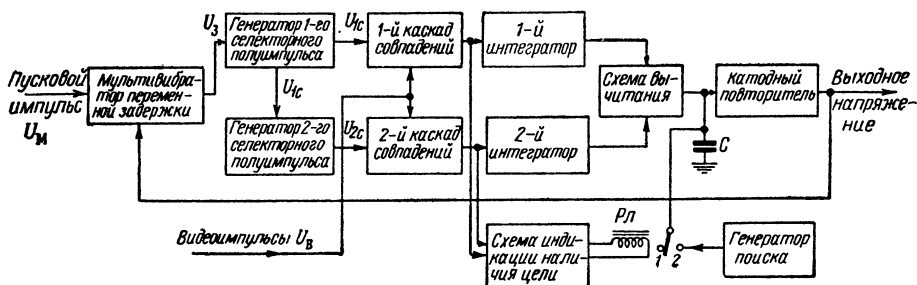
3. А. Г. Сайбель. Основы радиодальнометрии. Оборонгиз, 1960.

дальности воздушной цели с индикацией этой координаты на оптическом прицеле.

Для успешной атаки на воздушный объект противника летчик-истребитель с большой точностью должен направить свой самолет на цель и своевременно открыть по ней огонь. При оптической видимости первую часть задачи можно разрешить, пользуясь оптическим прицелом, а для своевременного открытия огня оптического прицела уже недостаточно, так как последний устанавливает расстояние до цели со значительной погрешностью.

Эту задачу выполняют радиолокационные дальномеры, которые не только с большой точностью определяют дальность до воздушной цели, но и производят автоматический поиск и сопровождение ее по дальности.

Всякий иной способ поиска и сопровождения цели, как ручной или полуавтоматический, в данном случае полностью исключен, поскольку летчик лишен возможности заниматься настройкой и управлением какими бы то ни было приборами. К тому же точность автоматического сопровождения по дальности очень высока. Подобные системы дают погрешность в пределах 0,1—2% всего диапазона измеряемой дальности.



Фиг. 179. Блок-схема автоматического поиска и сопровождения объекта по дальности.

Выходные данные дальномера вводятся в счетно-решающее устройство. В нем производятся расчеты, необходимые для ведения эффективного огня, и результаты этих расчетов поступают в виде отметки на оптический прицел. Таким образом, летчик имеет возможность на всех этапах воздушного боя руководствоваться показаниями оптического прицела и отпадает необходимость в громоздкой электронно-лучевой трубке и в каскадах, дополняющих эту трубку. В некоторых иностранных дальномерах используется сопровождение цели в соответствии с ее скоростью, если цель потеряна из-за ослабления отраженного от нее сигнала или появления сильных помех. Для этого в дальномер вводится схема запоминания скорости цели, т. е. такая схема, которая вырабатывает напряжение, пропорциональное скорости цели.

2. Для рассмотрения принципа автоматического поиска и сопровождения объекта по дальности обратимся к блок-схеме, показанной на фиг. 179, и эюграм, изображенным на фиг. 180.

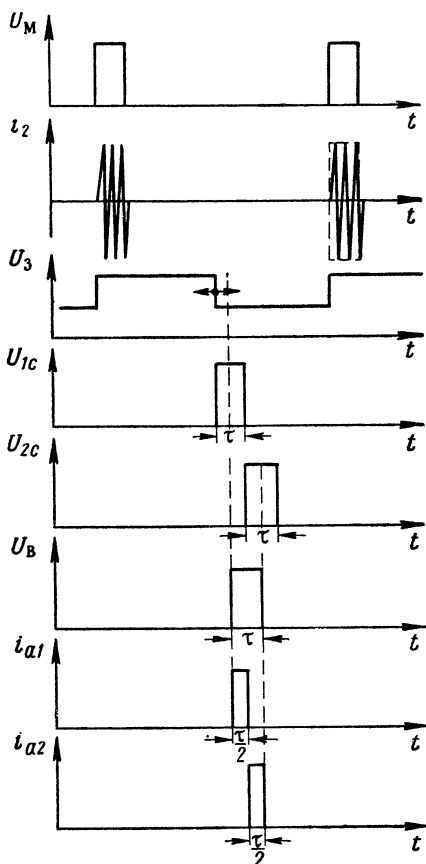
На вход устройства подаются пусковой импульс и видеоимпульс. На выходе получается постоянное напряжение, пропорциональное интервалу времени между пусковым импульсом и видеоимпульсом объекта. Выходное напряжение, очевидно, пропорционально расстоянию от объекта и автоматически следует за его координатой дальности. Выход дальномера связан с конденсатором  $C$  катодным повторителем. Поэтому изменения выходного напряжения полностью определяются изменениями напряжения на конденсаторе  $C$ .

В схеме возможны два режима: поиска и автоматического сопровождения. Переход от поиска объекта к его сопровождению называется режимом захвата. При поиске реле переключения режимов Рл обесточено и через контакт реле 2 генератор поиска подключается к конденсатору  $C$ . Если возникает импульс цели и схема работает в режиме сопровождения, то в реле Рл появляется ток, его якорь занимает положение 1, генератор поиска отключается от конденсатора  $C$  и напряжение на конденсаторе изменяется пропорционально расстоянию до объекта.

3. Это происходит следующим образом. Пусковые импульсы  $U_m$ , имеющие частоту следования импульсов передатчика  $t_r$ , запускают ждущий мультивибратор переменной задержки. Длительность импульсов мультивибратора пропорциональна управляющему напряжению, поступающему с выхода схемы.

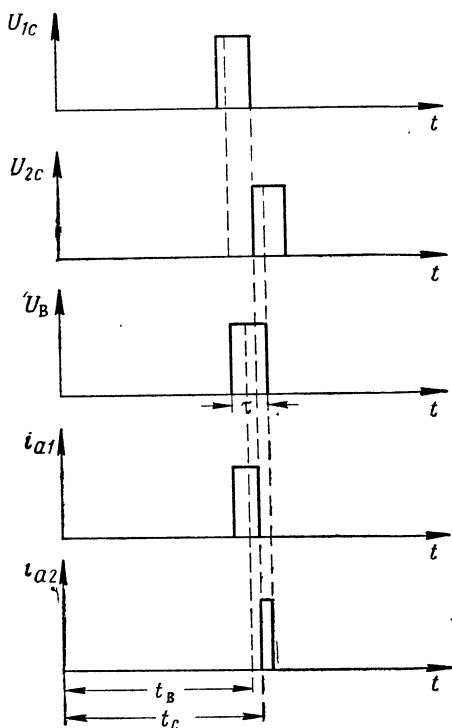
Задним фронтом импульса ждущего мультивибратора  $U_3$  приводится в действие генератор первого селекторного полуимпульса. Этот полуимпульс  $U_{1c}$  в свою очередь запускает генератор второго селекторного полуимпульса ( $U_{2c}$ ). Оба полуимпульса равной длительности  $\tau$  подаются на соответствующие каскады совпадений. Кроме того, на каскады совпадений подаются видеоимпульсы  $U_v$ .

Если в зоне обзора дальномера нет никаких объектов, то видеоимпульсы отсутствуют, на выходе каскадов совпадений нет импульсов, вследствие чего схема индикации наличия цели не вы-



Фиг. 180. Временные диаграммы напряжений и токов в схеме автоматического сопровождения по дальности объекта.

зывает тока в реле Рл. В таком случае совершается поиск цели: генератор поиска изменяет напряжение на конденсаторе  $C$  по пилообразному закону. Это напряжение, пройдя катодный повторитель, подается на ждущий мультивибратор переменной задержки для управления длительностью его импульсов. Так как частота



Фиг. 181. Временные диаграммы напряжений и токов в схеме автоматического сопровождения по дальности в момент уменьшения дальности объекта.

импульсов мультивибратора в сотни-тысячи раз больше частоты напряжения поиска (единицы герц), то при поиске длительность импульсов ждущего мультивибратора увеличивается сравнительно медленно и так же плавно увеличивается задержка селекторных полуимпульсов.

4. Если эта задержка оказалась достаточной, чтобы селекторные полуимпульсы в какой-то мере совпали с видеоимпульсом цели, то схема индикации наличия цели вызывает в реле Рл ток, в связи с чем генератор поиска отключается от конденсатора  $C$ . На выходе каскадов совпадений получаются импульсы, которые усредняются в соответствующих интеграторах, после чего они следуют в схему вычитания. Разностное напряжение проинтегрированных импульсов изменяет напряжение на конденсаторе  $C$ , и благодаря катодному повторителю это напряжение повторяется на выходе схемы и на ждущем мультивибраторе переменной задержки.

Допустим, что селекторные полуимпульсы  $U_{1c}$ ,  $U_{2c}$  задержаны настолько, что каждый из них в равной мере совпадает во времени с видеоимпульсом  $U_B$  объекта и все три импульса имеют равную длительность  $\tau$  (см. фиг. 180). Тогда каждый импульс  $i_{a1}$ ,  $i_{a2}$ , полученный на выходе любого каскада совпадений, имеет длительность  $\tau/2$ , с каждого интегратора снимаются равные напряжения, а схема вычитания не изменяет напряжения на конденсаторе  $C$  и на выходе дальномера.

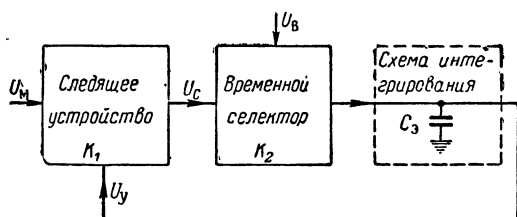
Если же расстояние до цели уменьшится (фиг. 181), то видеоимпульс  $U_B$  более длительное время будет совпадать с первым селекторным полуимпульсом ( $U_{1c}$ ), чем со вторым ( $U_{2c}$ ), анодный



ток первого каскада совпадений  $i_{a1}$  будет иметь большую длительность, чем анодный ток второго каскада совпадений  $i_{a2}$ , и соответственно усредненное напряжение первого интегратора будет больше усредненного напряжения второго интегратора. На выходе схемы вычитания получится напряжение такой полярности, что оно уменьшит напряжение на конденсаторе  $C$  и на выходе дальномера. Вместе с тем оно уменьшит длительность импульсов ждущего мультивибратора и задержку селекторных полуимпульсов, благодаря чему через некоторое время селекторные полуимпульсы в равной мере будут совпадать с видеоимпульсом.

Аналогично доказывается, что в случае увеличения дальности до цели задержка селекторных полуимпульсов и выходное напряжение дальномера автоматически увеличиваются.

5. Выведем основные соотношения, характеризующие работу радиодальномера в режиме сопровождения. Для этого прежде всего упростим блок-схему радиодальномера (фиг. 182).



Фиг. 182. Упрощенная блок-схема радиовысотомера.

Ждущий мультивибратор в совокупности с генераторами селекторных полуимпульсов можно назвать следящим устройством, так как селекторные полуимпульсы «следят» за видеоимпульсами объекта. В каскадах совпадения происходит временное сравнение селекторных импульсов  $U_c$  и видеоимпульсов цели  $U_b$ , а поэтому их можно назвать временным селектором (различителем). Оба интегратора и схему вычитания представляем как единую схему интегрирования в виде эквивалентного конденсатора  $C_a$ . Катодный повторитель, поскольку его коэффициент усиления близок к единице, в данном случае не учитываем. С интегрирующей схемы напряжение  $U_y$  подается обратно на следящее устройство для управления задержкой селекторных полуимпульсов. Таким образом, радиодальномер можно представить блок-схемой следящей системы.

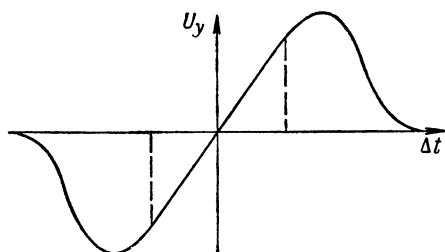
Желательно, чтобы в процессе слежения соблюдалась прямая пропорциональность между задержкой селекторного импульса  $t_c$  (фиг. 183) и управляющим напряжением  $U_y$ :

$$t_c = k_1 U_y, \quad (33)$$

где  $k_1$  — коэффициент, характеризующий следящее устройство, в сек/в.

Временной селектор реагирует на время рассогласования между задержкой селекторного импульса  $t_c$  и видеосигналом  $t_b$ :

$$\Delta t = t_c - t_b. \quad (34)$$



Фиг. 183. Характеристика временного селектора.

Приращение напряжения, снимаемого с интегрирующего конденсатора  $C_0$ , а следовательно, и с выхода селектора, пропорционально времени рассогласования:

$$\Delta U_y = k_2 \Delta t. \quad (35)$$

Коэффициент  $k_2$  (в в/сек) характеризует временной селектор и схему интегрирования.

Рабочий участок характеристики временного различителя (см. фиг. 183) во время слежения должен быть прямолинейным. Тогда  $k_2 = \frac{\Delta U_y}{\Delta t}$  имеет постоянную величину. Если же рассогласование слишком велико или происходит поиск объекта, то временной селектор работает за пределами прямолинейного участка характеристики.

Допустим, что дальномером принят один импульс, отраженный от неподвижного объекта; тогда согласно формулам (33) — (35)

$$\left. \begin{aligned} U_y &= U_y^{(1)}; \quad t_c = t_c^{(1)} = k_1 U_y^{(1)}; \quad t_b = t_b^{(1)}; \\ \Delta t^{(1)} &= t_c^{(1)} - t_b^{(1)}; \quad \Delta U_y^{(1)} = k_2 \Delta t^{(1)}. \end{aligned} \right\} \quad (36)$$

Так как имеет место рассогласование  $\Delta t^{(1)}$ , то управляющее напряжение изменяется от  $U_y^{(1)}$  до

$$U_y^{(2)} = U_y^{(1)} - \Delta U_y^{(1)} = U_y^{(1)} - k_2 \Delta t^{(1)}. \quad (37)$$

Знак минус во втором слагаемом указывает на то, что при  $\Delta t > 0$ , т. е. когда  $t_c > t_b$ , управляющее напряжение должно уменьшаться в целях уменьшения  $t_b$  и  $\Delta t = t_c - t_b$ . В соответствии с новым значением  $U_y^{(2)}$  согласно формулам (33) — (37) задержка селекторного импульса становится равной

$$t_c^{(2)} = k_1 U_y^{(2)} = k_1 U_y^{(1)} - k_1 k_2 \Delta t^{(1)} = t_c^{(1)} - k \Delta t^{(1)},$$

где  $k = k_1 k_2$  — общий безразмерный коэффициент передачи всей системы.

С приходом второго импульса, отраженного от объекта, рассогласование изменяется до величины

$$\Delta t^{(2)} = t_c^{(2)} - t_b^{(1)} = t_c^{(1)} - k \Delta t^{(1)} - t_b^{(1)} = \Delta t^{(1)} - k \Delta t^{(1)} = \Delta t^{(1)} (1 - k). \quad (38)$$

Таким образом, рассогласование за один период следования импульсов изменилось в  $(1-k)$  раз. Рассуждая аналогично, можно доказать, что с приходом третьего, четвертого и последующих видеоимпульсов цели рассогласование изменяется в геометрической прогрессии:

$$\Delta t^{(3)} = \Delta t^{(1)} (1-k)^2;$$

$$\Delta t^{(4)} = \Delta t^{(1)} (1-k)^3;$$

$$\Delta t^{(5)} = \Delta t^{(1)} (1-k)^4$$

$$\begin{array}{c} \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \\ \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \end{array}$$

Следовательно, в  $n$ -й период следования импульсов время рассогласования становится равным

$$\Delta t^{(n)} = \Delta t^{(1)} (1-k)^{n-1}. \quad (39)$$

Для того чтобы обеспечить полное согласование ( $\Delta t^{(n)} \rightarrow 0$ ), необходимо, чтобы выполнялось условие  $|1-k| < 1$ , а следовательно,  $k < 2$ , т. е. равновесие в системе сопровождения по дальности может соблюдаться, если общий коэффициент усиления (передачи по напряжению) меньше 2.

Из формулы (39) видно также, что быстрее всего за один период следования импульсов согласование произойдет, если  $k=1$ . Это и понятно: при  $k=1$  управляющее напряжение изменяется так, что задержка селекторного импульса изменяется на величину, численно равную и противоположную по знаку его рассогласованию с видеоимпульсом. Если же  $k < 1$ , то приращение управляющего напряжения недостаточно для полной компенсации рассогласования при появлении одного очередного видеоимпульса цели. Поэтому рассогласование постепенно уменьшается. При  $1 < k < 2$  управляющее напряжение по абсолютной величине превышает требуемое для полного согласования, а поэтому в следящей системе имеют место колебания относительно состояния равновесия, но амплитуда этих колебаний постепенно уменьшается, и, наконец, наступает равновесие. Если же  $k > 2$ , то приращение управляющего напряжения оказывается настолько большим, что процесс слежения выходит за пределы линейной части характеристики временного селектора, рассогласование еще более увеличивается, и это приводит к потере цели.

Теперь рассмотрим случай, когда цель движется с постоянной скоростью  $v_{ц}$ . Очевидно, что в установившемся режиме задержка селекторного импульса должна изменяться с такой же скоростью и на такую же величину, что и время задержки импульсов цели. Поэтому если к моменту поступления очередного видеоимпульса цели на временной селектор существует рассогласование на время  $\Delta t_{уст}$ , то оно вызывает приращение управляющего напряжения:

$$(\Delta U_{\dot{y}})_{уст} = k_1 \Delta t_{уст}.$$

Последнее изменяет задержку селекторного импульса на время

$$(\Delta t_c)_{\text{уст}} = k_2 (\Delta U)_{\text{уст}} = k_1 k_2 \Delta t_{\text{уст}} = k \Delta t_{\text{уст}}.$$

Это время, как было сказано, должно быть равно изменению времени задержки импульсов цели  $\Delta t_{\text{ц}}$  за один период следования импульсов  $T_0 = \frac{1}{F_0}$ :

$$\Delta t_{\text{ц}} = \frac{2(v_{\text{ц}} T_0)}{C} = \frac{2v_{\text{ц}}}{CF_0}.$$

Так как  $(\Delta t_c)_{\text{уст}} = \Delta t_{\text{ц}}$ , то

$$k \Delta t_{\text{уст}} = \frac{2v_{\text{ц}}}{CF_0},$$

откуда

$$\Delta t_{\text{уст}} = \frac{2v_{\text{ц}}}{kCF_0}.$$

Ясно, что так как за прошедший период времени  $T_0$  видеоимпульс цели и селекторные полуимпульсы получили одинаковую задержку, время рассогласования осталось тем же ( $\Delta t_{\text{уст}}$ ). Этому времени соответствует постоянная погрешность в измерении дальности, называемая *скоростной ошибкой*:

$$\Delta D_{\text{уст}} = \frac{C \Delta t_{\text{уст}}}{2} = \frac{v_{\text{ц}}}{kF_0}, \quad (40)$$

где  $\Delta D_{\text{уст}}$  выражено в метрах, а скорость  $v_{\text{ц}}$  — в м/сек.

Полученная формула позволяет сделать вывод, что *при автоматическом сопровождении объекта, движущегося с постоянной скоростью, дальномер дает постоянную скоростную ошибку в измерении дальности, которая тем больше, чем больше скорость объекта, меньше коэффициент передачи всей следящей системы и меньше частота следования импульсов*<sup>1</sup>.

Необходимо иметь в виду, что коэффициент передачи  $k$  нельзя увеличивать свыше 2 во избежание потери цели.

## § 2. ОСНОВНЫЕ ДАННЫЕ САМОЛЕТНЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ДАЛЬНОМЕРОВ

1. Ниже приводится описание самолетных радиодальномеров, которые входят в комплект станций AN/APG-5 и AN/APG-15. Эти дальномеры имеют следующие основные данные.

Длина волны  $\lambda = 12$  см. Длительность радиоимпульса  $\tau = 0,7$  мксек. Селекторные полуимпульсы имеют длительность  $\tau = 0,7$  мксек. Частота следования импульсов  $F_0 = 1200$  имп/сек.

В качестве антенны используется 18-элементный излучатель типа «волновой канал» или параболическая антенна диаметром 30 см, закрепленные неподвижно. Антенна облучает переднюю полусферу в пределах угла  $\pm 25^\circ \div 30^\circ$ .

<sup>1</sup> А. Г. С а й б е л ь. Основы радиодальнометрии. Оборонгиз, 1960.

Импульсная мощность передатчика  $P_n=0,5$  квт. Чувствительность приемника  $P_{с\ min}=10^{-11}$  вт.

Поиск цели совершается со скоростью 3600 м/сек в пределах дальности 1600 м. Частота поиска более 2 гц. Разрешающая способность дальномера 300 м.

2. Эти данные требуют некоторых пояснений и обоснований.

Дальность действия самолетного радиолокационного дальномера (в данном случае 1600 м) устанавливается в несколько километров в соответствии с дальностью действия стрелково-пушечного вооружения истребителя.

Что касается минимальной дальности действия дальномера, то она ограничивается опасностью захвата зондирующего импульса. Скоростная ошибка дальномера при  $v_{ц}=2000$  км/час  $=560$  м/сек и  $k=0,5$  согласно формуле (40) равна

$$\Delta D_{уст} = \frac{v_{ц}}{kF_0} = \frac{560}{0,5 \cdot 1200} \approx 1 \text{ м.}$$

Допуская, что погрешность в измерении дальности достигает 2%, получаем, что в данном случае она не превышает  $1600 \times 0,02 = 32$  м.

Длина волны дальномера выбрана из тех соображений, что радиолокационная аппаратура, устанавливаемая на истребителе, должна иметь минимальные габариты, в связи с чем для радиолокационных дальномеров наиболее пригодны сантиметровые волны.

Так как поиск цели по направлению производится при помощи оптического прицела, то антенна дальномера и ее диаграмма направленности могут быть неподвижными относительно самолета. Летчик, обнаружив цель по оптическому прицелу, направляет на нее самолет и тем самым облучает цель электромагнитными волнами, возбуждаемыми неподвижной антенной. В таком случае неразумно излучать электромагнитные волны во всех направлениях. Антенна должна облучать только переднюю полусферу самолета.

3. Форма диаграммы направленности, естественно, должна быть симметричной относительно продольной оси самолета. Что касается ее ширины, то она должна быть выбрана из компромиссных соображений.

Если диаграмма направленности очень широка, то: а) получается проигрыш в усилении антенны, который может быть компенсирован увеличением мощности передатчика, а это связано с ухудшением важнейшего показателя любой самолетной станции и тем более станции истребителя — увеличением габаритов и веса установок; б) автоматическое сопровождение по дальности может быть затруднено облучением нескольких целей, расположенных под различными углами к продольной оси самолета, но с небольшим интервалом по дальности; поскольку одновременная атака истребителя на несколько целей невозможна, следует создать наиболее благоприятные условия для атаки одной какой-либо цели, выбранной летчиком по оптическому прицелу, а для этого желательно освободиться от излишних сигналов и помех на входе дальномера.

С другой стороны, создание весьма острой диаграммы направленности антенны нецелесообразно по следующим соображениям: а) остронаправленное излучение в радиолокационном дальномере не используется по основному его назначению — для точного определения направления на цель; б) даже на сантиметровых волнах остронаправленное излучение требует применения антенн больших габаритов; в) остронаправленное излучение может затруднить поиск и автоматическое сопровождение цели, так как при малой ширине диаграммы направленности небольшое отклонение самолета от направления на цель сопровождается значительным изменением интенсивности сигнала.

Отсюда следует компромиссное решение: излучение и прием электромагнитных волн производят в пределах  $\pm 25^\circ$ .

4. Такую диаграмму направленности при помощи простейшей антенны — полуволнового вибратора — получить нельзя. Требуемая направленность может быть получена при помощи многовибраторной синфазной антенны, антенны типа «волновой канал», диэлектрической штыревой антенны или антенны поверхностного типа, излучающая поверхность которой значительно больше квадрата длины волны.

Синфазные антенны применяются только на метровых и коротких волнах, так как фазирование вибраторов на дециметровых, а тем более на сантиметровых волнах чрезвычайно трудно. Такие антенны громоздки и в настоящее время не используются на самолетах.

Радиодальномер станции AN/APG-5, как было сказано, работает на волне  $\lambda = 12$  см и рассчитан на применение 18-элементного излучателя типа «волновой канал» или на параболическую антенну диаметром 30 см. Первое решение следует считать неудачным, поскольку директорные антенны неудобны для монтажа на самолете. Выбор параболической антенны более удачный, но и ее можно заменить антенной меньших габаритов.

Принимая коэффициент использования поверхности параболической антенны  $\gamma = 0,6$ , определяем коэффициент усиления:

$$G = \frac{4\pi}{\lambda^2} \gamma S_A = \frac{4\pi}{12^2} 0,6 \frac{\pi \cdot 30^2}{4} \approx 37.$$

В той же станции AN/APG-5 передатчик имеет импульсную мощность  $P_n = 0,5$  кВт, а приемник — чувствительность  $P_{c \min} = 10^{-11}$  вт. Согласно этим данным по формуле (11') устанавливаем, что дальность действия дальномера по бомбардировщику, имеющему эффективную поверхность рассеяния  $\sigma = 25$  м<sup>2</sup>, равна

$$D_{\max} = \sqrt[4]{\frac{P_n (\gamma S_A)^2 \sigma}{4\pi P_{c \min} \lambda^2}} = \sqrt[4]{\frac{5 \cdot 10^2 \left(0,6 \frac{\pi \cdot 0,3^2}{4}\right) 25}{4\pi \cdot 10^{-11} \cdot 0,12^2}} = 1880 \text{ м.}$$

Как видно, дальномер обеспечивает требуемую дальность 1600 м.

5. Длительность радиопульса  $\tau$  выбирают с учетом следующих обстоятельств. Чем меньше  $\tau$ , тем больше точность определения дальности. С другой стороны, увеличение длительности импульса способствует уменьшению полосы пропускания и тем самым увеличению чувствительности приемника. Кроме того, с увеличением длительности импульса повышается средняя мощность передатчика при той же импульсной мощности. И то и другое увеличивает дальность действия станции, но так как в данном случае нет необходимости повышать ее сверх заданной, то можно за счет увеличения длительности импульса уменьшить мощность передатчика, а следовательно, и габариты дальномера.

Для самолетных радиолокационных дальномеров обычно рекомендуют  $\tau = (0,5 \div 1)$  мксек. В описанном радиодальномере  $\tau = 0,7$  мксек.

На точность измерения дальности и разрешающую способность дальномера большое влияние оказывают длительность селекторных полуимпульсов и интервал между ними. Длительность этих импульсов должна быть достаточно большой, чтобы они полнее совпадали с видеоимпульсами цели и легче осуществлялся захват цели. Верхним пределом длительности селекторных импульсов  $\tau_0$  следует считать длительность видеоимпульсов  $\tau$ , так как дальнейшее увеличение  $\tau_0$  не увеличивает выходное напряжение временного селектора при максимальном рассогласовании, а только создает опасность срабатывания селектора от помехи. Кроме того, с увеличением  $\tau_0$  понижается разрешающая способность станции, поскольку в данном случае она определяется крайними границами селекторных полуимпульсов.

В радиодальномере AN/APG-15 селекторные полуимпульсы имеют такую же длительность, как видеоимпульс (0,7 мксек). Если учесть некоторый интервал между ними, то окажется, что начало первого и конец второго селекторных полуимпульсов разделены примерно на 2 мксек. Этому соответствует разрешающая способность дальномера 300 м.

6. Поскольку дальность действия самолетного радиолокационного дальномера невелика, частота следования импульсов может быть установлена высокой. Это способствует также уменьшению скоростной ошибки дальности. Выбранная частота следования должна быть согласована со скважностью импульсов, на которую рассчитан генератор СВЧ. В радиодальномере AN/APG-15 частота следования импульсов установлена равной  $F_0 = 1200$  имп/сек, что

$$\text{соответствует скважности } Q = \frac{T_0}{\tau} = \frac{1}{F_0 \tau} = \frac{10^6}{1200 \cdot 0,7} \approx 1190.$$

Частоту пилообразных колебаний генератора поиска выбирают исходя из дальности и допустимой скорости поиска цели. Для того чтобы ускорить процесс обнаружения цели, частоту поиска желательно установить большой, но тогда возникает опасность пропуска цели при переходе с режима поиска на режим автоматического сопровождения, так как этот переход совершается при помощи

электромагнитного реле, обладающего значительной инерцией (поядка 0,01 сек.).

В описываемых радиодальномерах частота поиска равна 2 гц. Стало быть, за 1 сек. производится обзор по дальности на  $1600 \times 2 = 3200$  м. Учитывая время обратного хода генератора поиска, скорость поиска увеличили до 3600 м/сек. При такой скорости за время срабатывания реле захвата 0,01 сек. селекторные полуимпульсы перемещаются на 36 м. Так как длительность каждого из них соответствует дальности  $150 \times 0,7 = 105$  м, то это составляет  $\frac{36}{105} = 34\%$  от длительности одного селекторного полуимпульса.

Очевидно, что дальнейшее сколько-нибудь значительное увеличение частоты и скорости поиска создает реальную опасность потери цели.

Приведенные параметры не дают полного представления о качестве дальномера. Необходимо еще установить качественные показатели ряда каскадов дальномерного устройства, как-то: временного модулятора, временного селектора и др. (см. § 4 настоящей главы).

### § 3. ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА ДАЛЬНОМЕРНОГО БЛОКА АРО-1

#### А. Схема автоматического сопровождения объекта по дальности.

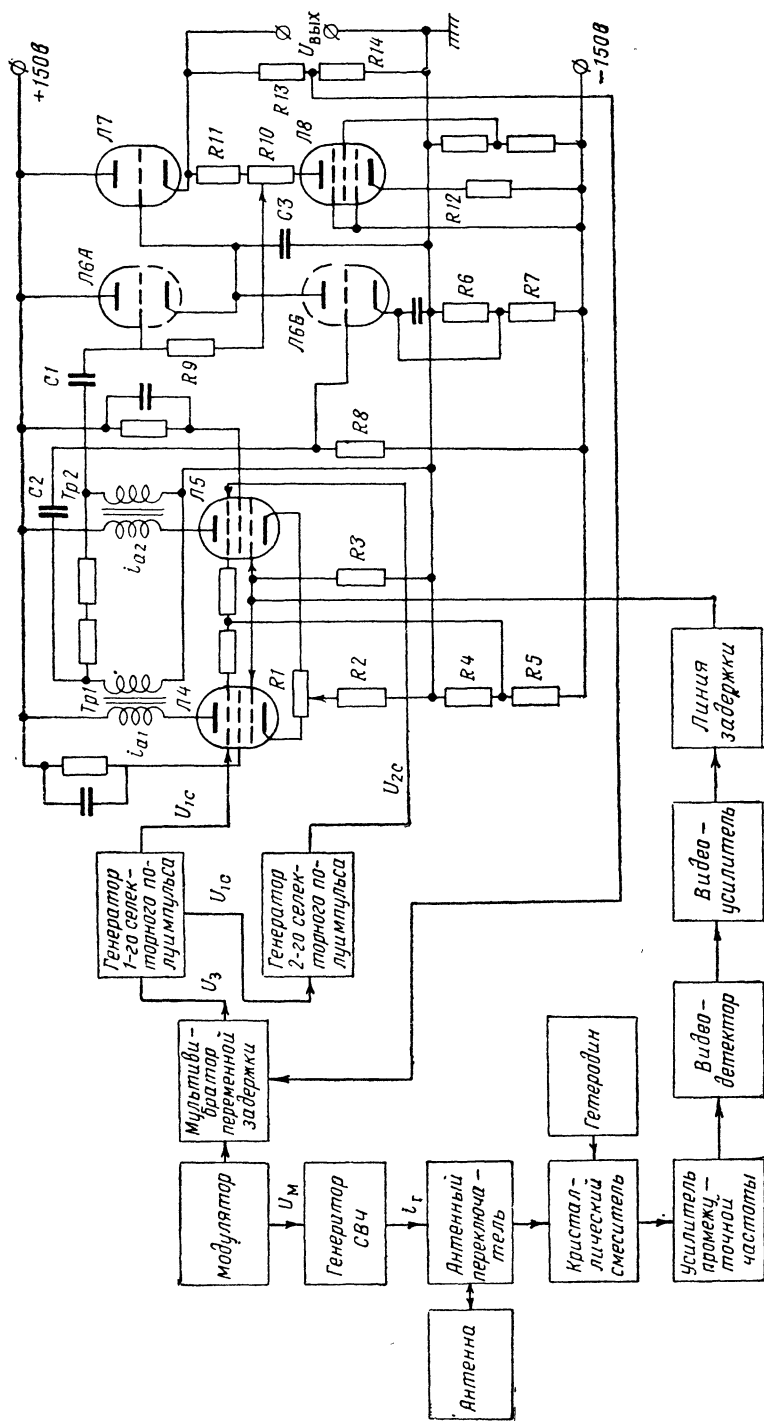
1. Для того чтобы облегчить усвоение принципиальной электрической схемы дальномера, рассмотрим ее в такой последовательности: сначала каскады автоматического сопровождения по дальности, затем каскады автоматического поиска и остальные каскады дальномерного блока.

Обратимся к схеме, показанной на фиг. 184, и к временным диаграммам, изображенным на фиг. 180.

Импульсом модулятора  $U_m$  запускается генератор СВЧ, колебания которого  $i_r$  через антенный переключатель поступают в антенну. Одновременно модулятор запускает ждущий мультивибратор переменной задержки. На выходе мультивибратора получаются прямоугольные импульсы  $U_z$ , длительность которых регулируется выходным напряжением  $U_{вых}$  всей схемы дальномера. Задним фронтом импульса мультивибратора запускается генератор первого селекторного полуимпульса  $U_{1с}$ , который в свою очередь своим задним фронтом запускает второй селекторный полуимпульс  $U_{2с}$ . Оба селекторных полуимпульса в положительной полярности подаются на пентодные сетки ламп Л4, Л5 (6АС7) временного селектора.

Параллельно происходит другой процесс. Радиоимпульсы, отраженные от объекта, принимаются общей антенной и через антенный переключатель проходят в кристаллический смеситель. Сюда же непрерывно поступают колебания гетеродина. В дальнейшем полученные в результате преобразования импульсы промежуточной частоты подвергаются обычным изменениям: усиливаются





Фиг. 184. Схема автоматического сопровождения объекта по дальности, составленная применительно к дальномеру АРО-I,

в УПЧ, в детекторе преобразуются в видеоимпульсы, проходят видеоусилитель и линию задержки, после чего видеоимпульсы в положительной полярности поступают на управляющие сетки временного селектора.

Обе лампы селектора в исходном состоянии заперты по анодному току отрицательными напряжениями на управляющей и пентодной сетках. Запирающее напряжение на управляющую сетку снимается с катодных сопротивлений R1, R2 и подается через сопротивление утечки R3, а на пентодную сетку запирающее напряжение снимается с делителя R4, R5, подключенного к источнику —150 в. Каждая лампа селектора открывается при условии, что на обе сетки ее — управляющую и пентодную — одновременно подаются положительные импульсы, т. е. при условии, что видеоимпульс совпадет по времени с селекторным полуимпульсом, поданным на данную лампу.

2. Анодные токи селекторных ламп индуцируют на вторичных обмотках трансформаторов Tr1 и Tr2 положительные импульсы, которые через конденсаторы C1, C2 подаются на сетки триодов Л6А, Л6Б первого и второго интеграторов. На катоде триода Л6Б имеется отрицательное напряжение относительно корпуса, которое снято с делителя R6, R7, подключенного к источнику —150 в. На сетку этого триода через сопротивление утечки R8 подается полное напряжение (—150 в) того же источника. Следовательно, в триоде Л6Б напряжение на сетке относительно катода отрицательное, причем величина его достаточна для запирания лампы.

Второй триод интегратора Л6А также заперт до поступления на него положительного импульса с выхода временного селектора. В этом можно убедиться, рассуждая следующим образом. Катод лампы Л6А соединяется с сеткой катодного повторителя Л7, а сетка лампы Л6А через сопротивление утечки R9 подключается к нагрузке R11, R10 того же катодного повторителя. Поскольку коэффициент усиления каскада с катодной нагрузкой близок к единице, катоды ламп Л6А и Л7 имеют примерно равные потенциалы, а потенциал сетки триода Л6А меньше потенциала его катода на величину падения напряжения на сопротивлениях R11 (полностью) и R10 (частично, от верхней точки до движка).

Когда лампа первого интегратора Л6А открыта импульсом временного селектора, то происходит заряд интегрирующего конденсатора C3 по цепи +150 в, участок анод—катод лампы Л6А, C3, корпус. Если же открыта лампа второго интегратора, то конденсатор C3 разряжается по цепи анод—катод лампы Л6Б, R6, корпус. Так как заряд конденсатора C3 происходит через триод Л6А с большим внутренним сопротивлением, то ток заряда поддерживается примерно одинаковым независимо от амплитуды поступающих импульсов и пропорциональным среднему значению напряжения интегрируемых импульсов, которое в свою очередь пропорционально их длительности.

При помощи потенциометра R10 в схеме устанавливается такой режим, что если отсутствует отраженный сигнал или на входе при-

емника имеются только шумы, то напряжение на конденсаторе СЗ равно нулю. Следовательно, и на выходе катодного повторителя нет напряжения ( $U_{\text{вых}}=0$ ).

В момент захвата цели, как будет доказано, на интегрирующем конденсаторе и на выходе схемы имеется определенное положительное напряжение, пропорциональное дальности цели.

Допустим, что в данный момент селекторные полуимпульсы задержаны настолько, что задний фронт первого и передний фронт второго селекторного полуимпульсов совпадают по времени с серединой видеоимпульса. Тогда анодные токи в каждой из ламп ( $i_{a1}$ ,  $i_{a2}$ ) проходят в течение одинакового времени  $\tau/2$ , заряд и разряд интегрирующего конденсатора длятся равное время и напряжение на выходе схемы не изменяется.

3. Если расстояние до объекта уменьшается (см. фиг. 181), то видеоимпульс  $U_{\text{в}}$  в большей мере совпадает с первым селекторным полуимпульсом  $U_{1c}$ , чем со вторым  $U_{2c}$ . В связи с этим во временном селекторе лампа Л4 будет открыта более длительное время, чем лампа Л5. Соответственно длительность заряда конденсатора СЗ через открытую лампу Л6А будет меньше длительности его разряда через открытую лампу Л6Б. На конденсаторе СЗ установится меньшее напряжение, которое будет воспроизведено на нагрузке катодного повторителя.

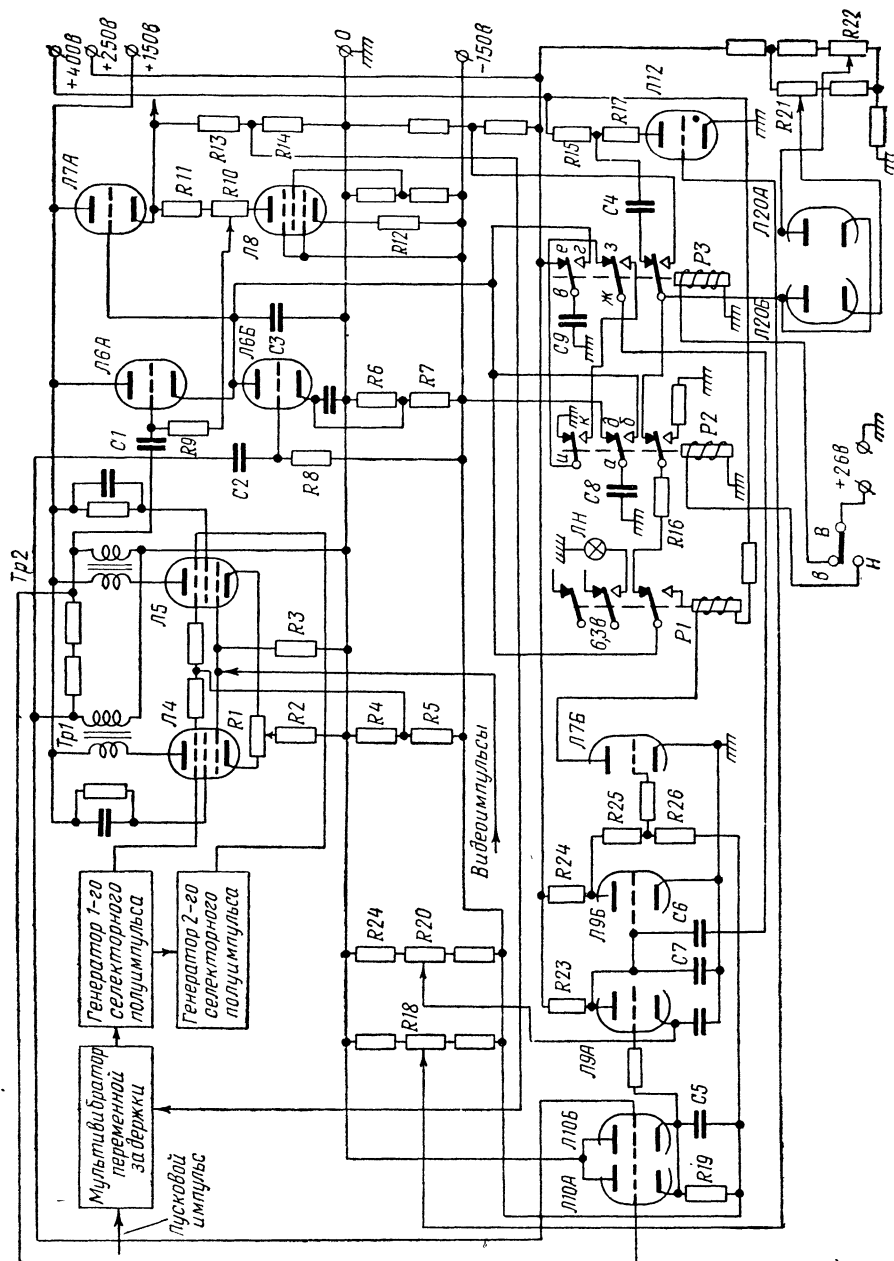
Часть этого напряжения снимается с делителя R13, R14 (см. фиг. 184) и подается на ждущий мультивибратор переменной задержки. Длительность импульса мультивибратора уменьшается, селекторные полуимпульсы появляются с меньшей задержкой по отношению к пусковым импульсам, в результате чего через некоторое время видеоимпульс будет в равной мере совпадать во времени с обоими полуимпульсами.

Аналогично доказывается, что с увеличением расстояния до объекта на выходе схемы увеличивается напряжение, которое, воздействуя на мультивибратор переменной задержки, увеличивает длительность его импульсов и этим устанавливает требуемый баланс.

Заметим, что на выходе катодного повторителя напряжение может быть равно нулю потому, что в нагрузку катодного повторителя Л7 входит пентод Л8 (6SJ7), катод которого через сопротивление R12 подключается к  $-150$  в.

Так как внутреннее сопротивление пентода велико, то его анодный ток в процессе автоматического сопровождения не изменяется. Следовательно, падение напряжения на сопротивлениях R11, R10 и смещение на сетке триода Л6А поддерживаются постоянными. Что касается смещения на сетке второго интегратора, то оно также постоянно, так как непосредственно снимается с источника  $-150$  в. Все это способствует повышению точности автоматического сопровождения и измерения дальности.

Итак, выходное напряжение  $U_{\text{вых}}$  тем больше, чем больше рас-



Фиг. 185. Схема автоматического поиска и захвата объекта дальномером АРО-1.

стояние до облучаемого объекта. Это напряжение подается в счетно-решающее устройство оптического прицела.

## **Б. Схема автоматического поиска по дальности**

1. Для автоматического поиска и захвата объекта по дальности описанная схема дополняется (фиг. 185) тиратронным генератором поиска Л12 с ограничивающими диодами Л20А, Л20Б (6SN7), каскадом с катодной нагрузкой Л10А, Л10Б (6SN7), каскадами выключения поиска Л9А, Л9Б, Л7Б (6SN7) с реле захвата Р1 и реле переброса по минимуму Р2 и максимуму Р3.

Во время плавного поиска все три реле обесточены, и их контакты занимают такое положение, как показано на схеме. В этом случае интегрирующий конденсатор С3 заряжается по экспоненциальному закону током, направленным от источника +400 в через детали R15, С4, R16, С3 на корпус. По мере увеличения напряжения на конденсаторе С3 увеличиваются выходное напряжение дальности и длительность импульса ждущего мультивибратора переменной задержки, в связи с чем селекторные полуимпульсы генерируются с возрастающей задержкой относительно пускового импульса. Иными словами, селекторные полуимпульсы «пробегают» дистанцию поиска.

Анодное напряжение тиратрона Л12 равно сумме напряжений на конденсаторах С4, С3 и сопротивлении R16. Поэтому, установив потенциометром R18 соответствующее напряжение на сетке тиратрона, можно добиться того, чтобы тиратрон зажигался в момент задержки селекторных полуимпульсов на величину, соответствующую максимальной дальности поиска. Тогда конденсаторы С3 и С4 быстро разряжаются через небольшие сопротивления R17 и участка анод—катод тиратрона, в результате чего схема возвращается в исходное состояние. Затем возобновляется поиск объекта с минимальной дальности. Параметры генератора поиска подобраны так, что генерируемое им пилообразное напряжение имеет частоту порядка 2 гц и более.

Пределы максимальной и минимальной дальности поиска устанавливаются соответственно потенциометрами R21 и R22. Если напряжение на конденсаторе С3 превысит напряжение, установленное потенциометром R21, то диод Л20Б откроется и через него конденсатор С3 быстро разрядится до максимально допустимого напряжения. Если же напряжение на том же конденсаторе окажется меньше снимаемого с потенциометра R22, то откроется другой диод Л20А, через который конденсатор подзарядится напряжением потенциометра.

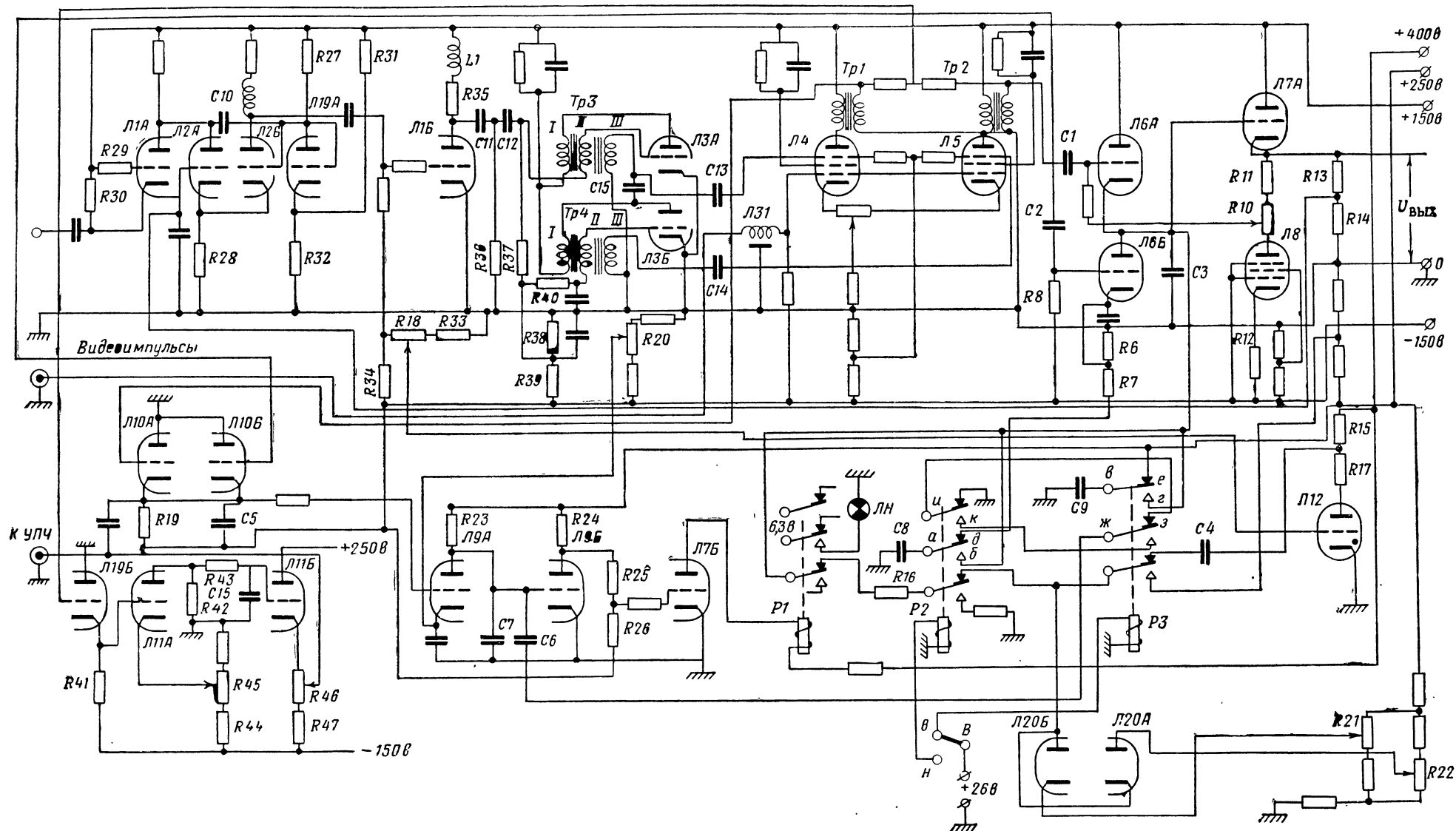
2. Поиск прерывается, как только на управляющих сетках временного селектора появляются видеоимпульсы, совпадающие хотя бы с одним селекторным полуимпульсом. Тогда на вторичных обмотках трансформаторов Тр1, Тр2 возникают положительные импульсы, которые поступают на сетки ламп Л10А, Л10Б. С катодной нагрузки R19, блокированной конденсатором С5, импульсы по-

даются на сетку триода Л9А, работающего в режиме детектора. Последний открывается при условии, что поданное напряжение превышает то, которое снимается на катод с потенциометра R20, входящего в делитель напряжения —150 в.

Когда триод Л9А был заперт, параллельно включенные конденсаторы большой емкости С6 (0,25 мкф) и малой емкости С7 (1500 пф) заряжались по цепи +250 в, R23, С6, С7, корпус. Теперь с появлением положительного импульса на сетке лампа Л9А открывается и конденсаторы С6, С7 разряжаются через нее, потенциометр R20 и сопротивление R24. Когда через каскад совпадения проходит определенное количество видеоимпульсов, конденсаторы С6, С7 разряжаются настолько, что уменьшение напряжения на сетке и увеличение напряжения на аноде триода Л9Б оказываются достаточными, чтобы открыть лампу Л7Б, ранее запертую напряжением, которое снимается с делителя R24, R25, R26, включенного между +250 в и —150 в. Через 300 мксек после этого анодный ток лампы Л7Б вызывает срабатывание реле Р1, в результате чего интегрирующий конденсатор С3 отключается от сопротивления R16, а следовательно, и от генератора поиска. Через другую пару контактов реле Р1 включается лампа ЛН, сигнализирующая о захвате цели. С этого момента начинается автоматическое сопровождение цели по дальности.

3. В боевых условиях может возникнуть необходимость в сопровождении какой-нибудь другой цели. В таких случаях летчик нажимает переключатель В вниз (н) или вверх (в). В нижнем положении переключателя замыкается цепь реле Р2 и производится селекция более близкой цели, а в верхнем положении замыкается цепь реле Р3 и производится селекция более дальней цели. В первом случае параллельно интегрирующему конденсатору через контакты *аб* подключается конденсатор С8, а во втором случае через контакты *вг* подключается конденсатор С9. Первый из них при отключенном реле Р2 через контакты *ад* зарядился напряжением —150 в, а второй при отключенном реле Р3 через контакты *ве* зарядился напряжением +250 в. Благодаря этому нажим переключателя вниз сопровождается резким уменьшением напряжения на интегрирующем конденсаторе и быстрым перебросом селекторных полуимпульсов в сторону опережения. В верхнем положении переключателя происходит обратное явление: напряжение на интегрирующем конденсаторе увеличивается скачком и селекторные полуимпульсы перебрасываются в сторону отставания.

Независимо от того, какую цель селектируют переключателем — ближнюю или дальнюю, — конденсатор С6 отключается от конденсатора С7: в первом случае это происходит из-за разрыва цепи в точках *ж з*, а во втором — из-за разрыва цепи в точках *и к*. Так как емкость конденсатора С6 значительно больше емкости конденсатора С7, то постоянная времени цепи, с которой снимается напряжение на участок сетка—катод триода Л9Б, резко уменьшается, благодаря чему ускоряется заряд конденсатора на этом участке и схема быстро готовится к режиму поиска.



Фиг. 186. Принципиальная электрическая схема дальномерного устройства самолетного радиодальмера АРО-І.

## В. Остальные каскады дальномерного блока

В принципиальной схеме дальномерного блока радиодальномера АРО-I, показанной на фиг. 186, остается рассмотреть разделительные (буферные) каскады (Л1А, Л1Б), ждущий мультивибратор переменной задержки (Л2) с фиксирующей лампой (Л19А), генераторы селекторных полуимпульсов (Л3) и схему АРУ (Л19Б, Л11).

Ждущий мультивибратор переменной задержки выполнен на двойном триоде Л2 (6SN7) по схеме скатодной связи. Сетка триода Л2Б через сопротивление R27 присоединяется к зажиму +150 в. Поэтому в состоянии устойчивого равновесия мультивибратора триод Л2Б открыт, а триод Л2А заперт отрицательным смещением, которое подается на его сетку с катодного сопротивления R28 через сопротивление R14.

Лампа разделительного каскада Л1А (6SN7) в исходном состоянии заперта, так как катод и сетка лампы подключены через сопротивления R29, R30 к источнику +150 в. Отрицательный пусковой импульс, поступающий на вход дальномерной схемы, приложен к катоду лампы Л1А. Этим импульсом лампа открывается, вследствие чего напряжение на аноде запертого триода Л2А и на сетке открытого триода Л2Б резко понижается и схема мультивибратора опрокидывается. В ней начинается формирование импульса.

Длительность импульса ждущего мультивибратора определяется не только постоянной времени цепи разряда конденсатора C10 ( $\tau_p = R27 \times C10$ ), но и напряжением, которое поступает с выходного делителя схемы сопровождения R13, R14 на сетку триода Л2А. Чем больше это напряжение, тем больше анодный ток левой лампы мультивибратора, тем больше напряжение на общем катоде лампы и тем больше времени должен длиться разряд конденсатора C10, чтобы открыть триод Л2Б и запереть триод Л2А.

Для стабилизации режима мультивибратора половина лампы Л19А включена как фиксирующий диод. Если напряжение на сетке триода Л2Б окажется выше напряжения на катоде лампы Л19А, снимаемого с делителя R31, R32, то диод станет проводящим, напряжение на сопротивлении R27 увеличится, а на сетке триода Л2Б уменьшится.

Следующий каскад — разделительный (Л1Б) — до прихода импульса ждущего мультивибратора заперт отрицательным смещением, поданным на сетку с делителя R33, R18, R34. Импульсом мультивибратора положительной полярности лампа Л1Б открывается, в результате чего на ее аноде получается отрицательный импульс напряжения. Для увеличения крутизны фронта полученного импульса последовательно с сопротивлением нагрузки R35 включена индуктивность L1, осуществляющая коррекцию на высших частотах.

Разделительные каскады Л1А и Л1Б позволяют по окончании действия соответствующих импульсов отключить от мультивибратора источник пусковых импульсов и мультивибратор от следую-



щего каскада. Это способствует повышению стабильности работы схемы дальномера.

Отрицательный импульс, выделяющийся на аноде триода Л1Б, дважды дифференцируется в цепях С11—R36 и С12—R37. Повторное дифференцирование производится с целью уменьшения длительности и обострения импульсов, запускающих следующий каскад.

Этим каскадом является генератор первого селекторного полупериода, который в свою очередь запускает генератор второго селекторного полупериода. Оба каскада — ждущие блокинг-генераторы, выполненные на триодах Л2А, Л2Б (6SN7). Блокинг-генераторы в исходном состоянии заперты отрицательным смещением, которое снимается с делителя R38, R39 и подается через сопротивления R37, R40 и обмотки II импульсных трансформаторов Тр3 и Тр4 на сетки ламп.

Генератор первого селекторного полупериода запускается положительным импульсом, полученным в результате дифференцирования заднего фронта импульса ждущего мультивибратора. За счет обратной связи через анодную (I) и сеточную (II) обмотки трансформатора Тр3 развивается блокинг-процесс. Генерируемый при этом первый селекторный полупериод снимается с обмотки III трансформатора Тр3 и в положительной полярности через конденсатор С13 действует на антидинаatronную сетку пентода Л4, а через конденсатор С15 поступает на анод триода Л3Б.

Для того чтобы открыть второй блокинг-генератор, на его сетку должно быть подано положительное напряжение, а на анод — отрицательное. Так как выходной импульс блокинг-генератора на заднем фронте изменяет свою полярность на обратную, то в данном случае отрицательным всплеском первого селекторного полупериода запускается генератор второго селекторного полупериода. Последний импульс имеет такую же длительность, как и первый, и снимается аналогичным способом: с обмотки III трансформатора Тр4 на антидинаatronную сетку лампы Л5.

На управляющие сетки временного селектора видеоимпульсы подаются через линию задержки Лз1. Это необходимо для того, чтобы избежать измерения дальности в начале формирования импульса ждущего мультивибратора, когда еще отсутствует прямая пропорциональность между его длительностью и величиной управляющего напряжения, поступающего на ждущий мультивибратор с выхода дальномера.

В результате дальнейших преобразований, как известно, происходит автоматическое сопровождение видеоимпульса цели и получается выходное напряжение постоянного тока, прямо пропорциональное дальности цели.

Схемы АРУ также необходимы в станциях автоматического сопровождения по дальности, как и в станциях автоматического сопровождения по направлению. Здесь следует лишь добавить, что при автоматическом сопровождении объектов по дальности особенно важно с помощью АРУ ослабить флуктуации отраженных

сигналов, так как они нарушают симметрию видеоимпульсов относительно опорных импульсов, а это вызывает приращение напряжения, управляющего временным модулятором, даже при полном согласовании опорных видеоимпульсов. Во-вторых, непостоянство амплитуды видеоимпульсов влечет за собой изменение коэффициента передачи (преобразования)  $k_2$  временного селектора.

В данном случае используется инерционная схема АРУ, которая работает следующим образом. На вход схемы подается напряжение со вторичных обмоток импульсных трансформаторов Тр1, Тр2. Первым каскадом канала АРУ является катодный повторитель, работающий на триоде Л19Б (6SL7). На его нагрузке R41 выделяются импульсы такого же характера, как на выходе временного селектора. Затем следует детектор АРУ, выполненный на триоде Л11А (6SL7). Нагрузкой детектора служат сопротивления R42, R43 и конденсатор С15. Параметры этих деталей подобраны так, что выходное напряжение детектора пропорционально амплитуде импульсов на входе схемы АРУ, а следовательно, и амплитуде видеоимпульсов, поступающих на временной селектор. Судя по направлению анодного тока детектора, постоянное напряжение, выделяемое на конденсаторе С15, имеет отрицательную полярность относительно корпуса. Величина этого напряжения зависит от отрицательного смещения на сетке, снимаемого с сопротивлений R45, R44 делителя, и регулируется потенциометром R45.

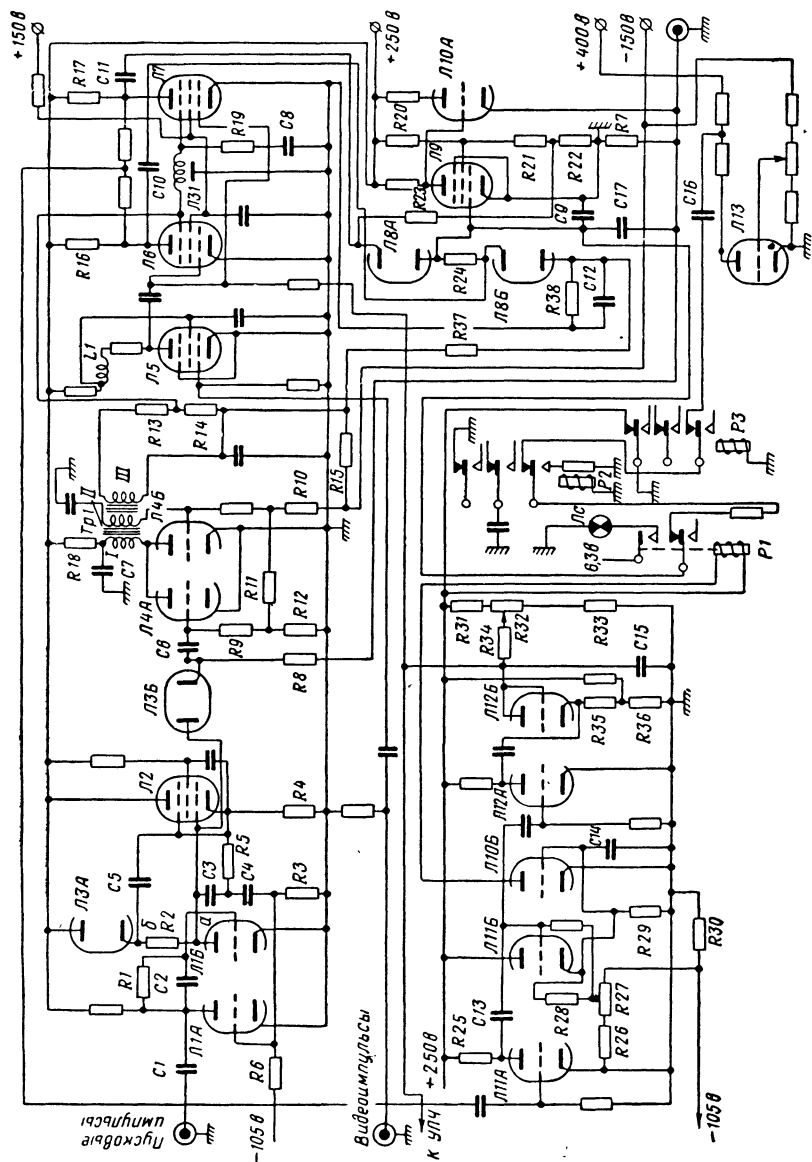
Выходным каскадом схемы АРУ является катодный повторитель (Л11Б). На нагрузке его R46, R47 получается отрицательное напряжение, которое вводится в качестве дополнительного смещения на усилитель промежуточной частоты приемника. Чем сильнее принимаемый сигнал, тем больше амплитуда видеоимпульсов и импульсов, поступающих с временного селектора на схему АРУ, тем больше (по абсолютной величине) отрицательное напряжение на нагрузке детектора АРУ и на выходе всей схемы АРУ и тем меньше коэффициент усиления каскадов УПЧ.

Постоянная времени нагрузки детектора подобрана так, что она значительно меньше длительности одного цикла поиска по дальности. Благодаря этому можно не выключать автоматическую регулировку усиления при переходе с режима автоматического сопровождения на режим автопоиска.

Каскады с катодной нагрузкой в схеме АРУ предназначены для того, чтобы ослабить нежелательную взаимную реакцию детектора АРУ, с одной стороны, и предшествующих и последующих за ним каскадов, с другой.

#### **§ 4. УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ САМОЛЕТНЫЙ РАДИОДАЛЬНОМЕР**

1. Из описания самолетного радиолокационного дальномера можно видеть, что основными элементами его дальномерной части являются: временной модулятор в виде ждущего мультивибратора, длительность которого изменяется в зависимости от управляющего напряжения; генератор селекторных полуимпульсов в виде двух блокинг-генераторов; временной селектор, выполненный на двух пен-



Фиг. 187. Принципиальная электрическая схема дальнометрического устройства самолета радиодальнометра АРО-II.

тодах; интегратор, включенный по схеме дифференциального детектора; схема получения управляющего напряжения в виде катодного повторителя со стабилизирующим пентодом; схема индикации наличия цели; тиратронный генератор поиска и схема АРУ.

Рассмотрим требования, предъявляемые к каждому из перечисленных элементов, и способы удовлетворения этих требований на примере описанного и усовершенствованного вариантов самолетного радиолокационного дальномера. Первый вариант обозначается АРО-I, а второй—АРО-II. Принципиальная электрическая схема усовершенствованного варианта показана на фиг. 187.

2. Временной модулятор самолетного радиодальномера предназначен для того, чтобы создавать напряжение определенной формы, которое по длительности (в случае прямоугольной формы) или амплитуде (в случае пилообразной формы) изменяется прямо пропорционально управляющему напряжению дальности. Переменный параметр (длительность или амплитуда) импульса временного модулятора определяет собой временную задержку селекторных полуимпульсов относительно пускового импульса.

К временному модулятору в соответствии с его назначением предъявляются два основных требования: а) модуляционная характеристика, выражающая зависимость между переменным параметром импульса временного модулятора и управляющим напряжением дальности, должна быть прямолинейной на рабочем участке; только при этом условии коэффициент передачи  $k_1$  следящего устройства будет постоянным, что необходимо для точного измерения дальности; б) временной модулятор должен работать стабильно; это значит, что влияние на переменный параметр импульса модулятора различных дестабилизирующих факторов (изменения температуры, влажности среды, напряжений источников питания, тряска, вибрации и т. д.) должно быть сведено к минимуму.

Ждущий мультивибратор с катодной связью как временной модулятор имеет преимущество в простоте схемы. Основным недостатком его является нарушение линейности модуляционной характеристики при малой длительности генерируемых импульсов. К тому же желательно повысить линейность модуляционной характеристики и на остальных ее участках и добиться более высокой стабильности работы мультивибратора.

Длительность импульсов ждущего мультивибратора с катодной связью в основном зависит от параметров разрядной цепи R27, C10 (см. фиг. 186), от напряжения запирающей лампы, напряжения источника анодного питания, падения напряжения на катодном сопротивлении, а следовательно, и от режима работы лампы мультивибратора. В схеме радиодальномера для стабилизации длительности импульса мультивибратора приняты некоторые меры. Анодное питание мультивибратора производится от стабилизированного выпрямителя с выходным напряжением 150 в. Для ослабления влияния непостоянства напряжения запирающей лампы сетка правого триода мультивибратора Л2Б подключается через сопротивление R27 не к минусу, а к плюсу источника анодного напряжения.

Максимальное напряжение на сетке того же триода фиксируется лампой Л19А. Наконец, для ослабления реакции источника пусковых импульсов и генератора селекторных полуимпульсов на ждущий мультивибратор последний отделен от них двумя разделительными каскадами Л1А, Л1Б. Все перечисленные меры позволяют снизить погрешность в линейности модуляционной характеристики до 0,1—0,2%, но при смене ламп эта погрешность может достигнуть 10%.

Фантастроны, а тем более санатроны дают меньшую погрешность.

3. Более совершенным также является метод амплитудного сравнения пилообразного напряжения с управляющим напряжением, примененный в радиодальномере АРО-II (см. фиг. 187).

Генератор пилообразного напряжения выполнен по схеме с катодно-следящим каскадом на двойном триоде Л1А, Л1Б (6J6), пентоде Л2 (6AK5) и диоде Л3А (6H6). Отрицательный пусковой импульс через конденсаторы С1, С2 и сопротивление R1 подается на анод триода Л1А и сетку триода Л1Б, вследствие чего запирается разрядная лампа Л1Б. В связи с этим конденсаторы С3, С4 заряжаются по цепи +250 в, анод—катод диода Л3А, сопротивление R2, конденсаторы С3, С4, сопротивление R3, корпус. Возрастающее напряжение на элементах схемы С3, С4, R3 воспроизводится на нагрузке катодного повторителя R4, выполненного на пентоде Л2. Так как каскад с катодной нагрузкой имеет коэффициент усиления, близкий к единице, то приращение напряжения в точке а почти полностью передается в точку б схемы. В результате падение напряжения на сопротивлении R2 не изменяется, а следовательно, ток заряда конденсаторов С3, С4, который, в частности, проходит через сопротивление R2, остается постоянным. Таким образом, соблюдается неперменное условие линейного увеличения пилообразного напряжения.

Следует внести поправку, что поскольку коэффициент усиления каскада с катодной нагрузкой (даже если он выполнен на пентоде, как в данном случае) несколько меньше единицы, полного постоянства зарядного тока не удалось бы достичь, если бы в схему не были введены два зарядных конденсатора и сопротивление R5. Благодаря тому, что напряжение на сопротивлении R4 больше, чем на последовательно включенных конденсаторе С4 и сопротивлении R3, с включением сопротивления R5 создается цепь для подзаряда конденсатора С4 с нагрузки катодного повторителя. Дополнительный ток заряда этого конденсатора увеличивается по мере увеличения напряжения на сопротивлении R4. Таким образом, уменьшение тока, происходящее по мере экспоненциального заряда конденсаторов, дополнительно компенсируется и этим повышается линейность пилообразного напряжения, снимаемого с генератора.

Во время рабочего хода генератора лампа Л1А открыта, так как навстречу отрицательному напряжению, снимаемому с делителя R6, R3 на сетку лампы, приложено положительное напряжение,

которое создается на сопротивлении R3 при замыкании через него тока заряда конденсаторов C3, C4.

4. За генератором пилообразного напряжения следует диод сравнения ЛЗБ (6Н6). На катод его с выхода схемы дальномера, т. е. с сопротивления R7, являющегося катодной нагрузкой лампы Л10А, поступает управляющее напряжение. Когда напряжение на аноде диода, увеличиваясь по пилообразному закону, оказывается равным управляющему напряжению, диод становится проводящим и сильно шунтирует выход генератора. В связи с этим напряжение на сопротивлении R3, а следовательно, и на сетке триода Л1А понижается, а на его аноде и сетке триода Л1Б увеличивается. Через открывающийся триод Л1Б начинается разряд конденсаторов C3, C4, благодаря чему полярность напряжения на сопротивлении R3 изменяется на обратную, а это приводит к резкому запираанию лампы Л1А и полному открыванию лампы Л1Б вплоть до поступления следующего пускового импульса.

Второй вариант модулятора имеет преимущества перед первым в более высокой линейности модуляционной характеристики, особенно на начальном участке пилообразного напряжения, в уменьшении погрешности, вызванной сменой ламп и изменением ламповых характеристик, до 0,5%. Это позволяет увеличить точность определения дальности, снизить минимальный предел диапазона измеряемой дальности с 350 до 45 м и исключить линию задержки видеосигнала. Кроме того, благодаря тому, что во время рабочего хода пилообразного напряжения лампы Л1Б, Л3А и ЛЗБ заперты, а в открытых лампах Л1А, Л2 анодный ток невелик, получилась экономия в токе питания временного модулятора на 15 ма.

5. Длительность селекторных полуимпульсов невелика и обычно не превышает длительность видеоимпульсов. Вместе с тем в целях увеличения точности измерения дальности селекторные полуимпульсы должны иметь большую крутизну фронта и среза. Эти требования могут быть наиболее полно удовлетворены, если для получения селекторных полуимпульсов используются блокинг-генераторы, которые отличаются способностью генерировать импульсы малой длительности, большой скважности при высокой крутизне фронта и среза.

Во втором варианте радиодальномера селекторные полуимпульсы получают следующим образом. В момент, когда открывается диод сравнения, на сопротивлении R8 образуется положительный импульс напряжения, который через дифференцирующую цепь C6, R9 открывает лампу усилителя Л4А, ранее запертую отрицательным смещением на сетке, созданным благодаря делителю R10, R11, R12. С сопротивлений R11, R12 того же делителя снимается отрицательное смещение для записывающего ждущего блокинг-генератора, работающего на второй половине триода Л4Б (6J6).

Усилитель и блокинг-генератор имеют общую нагрузку — импульсный трансформатор Тр1. Поэтому отпирание триода Л4Б сопровождается появлением усиленного импульса, которым возбуждается блокинг-генератор. В результате на нагрузочной обмотке III

трансформатора  $Tr1$  получается селекторный полуимпульс, поступающий на делитель  $R13, R14$ , а с него — на антидинаatronную сетку лампы временного селектора  $Л6$ . Второй селекторный полуимпульс получается из первого после прохождения им линии задержки  $Лз1$ . Сопротивление  $R18$  и конденсатор  $C7$  образуют развязывающий фильтр, способствующий повышению устойчивости режима блокинг-генератора.

Таким образом, во втором варианте дальномера два блокинг-генератора селекторных полуимпульсов заменены одним блокинг-генератором и линией задержки. Это позволило сократить размеры соответствующей монтажной панели.

6. Временной селектор второго варианта дальномера отличается следующим. Видеосигналы до поступления на управляющие сетки ламп временного селектора  $Л6, Л7$  ( $6AS6$ ) усиливаются в каскаде, выполненном на пентоде  $Л5$  ( $6AK5$ ). Для коррекции частотной характеристики видеоусилителя на высших частотах в его нагрузку последовательно включена индуктивность  $L1$ . Временной селектор запирается только по антидинаatronной сетке. Запирание производится отрицательным напряжением, которое снимается с делителя  $R15, R37, R38$ . Благодаря тому, что в дифференциальном детекторе второго варианта дальномера триоды заменены диодами, с выхода селектора можно снимать импульсы отрицательной полярности. Поэтому в качестве нагрузки ламп селектора вместо импульсных трансформаторов используются активные сопротивления  $R16, R17$ .

Для того чтобы от конца линии задержки  $Лз1$  не было отражений, линия замкнута на активное сопротивление  $R19$ , равное ее волновому сопротивлению. Конденсатор  $C8$  для селекторного полуимпульса практически представляет короткое замыкание, а поэтому на режим работы линии задержки он не оказывает влияния. Назначение конденсатора заключается в том, чтобы исключить шунтирование пентодной сетки на катод по постоянному току через сопротивление  $R19$ .

Основным требованием, предъявляемым к временному селектору, является постоянство его коэффициента передачи  $k_2$  (в совокупности с интегратором) во всем диапазоне измеряемой дальности. Этот коэффициент должен быть независим от различных дестабилизирующих факторов.

7. Интегратор в совокупности с управляющим каскадом предназначен для преобразования выходных импульсов временного селектора в постоянное напряжение, пропорциональное дальности сопровождаемого объекта. Для этого интегратор составлен из двух детекторов и интегрирующей емкости. Каждый из детекторов создает постоянный ток, пропорциональный длительности одного из импульсов, снимаемых с временного селектора.

В описанном выше интеграторе детекторы включены по дифференциальной схеме, т. е. так, что выпрямленный ток одного детектора заряжает конденсатор, а выпрямленным током другого детектора тот же конденсатор разряжается. В результате напряжение

интегратора, снимаемое с конденсатора, получает приращение, пропорциональное разности токов детекторов. Следовательно, всякое рассогласование видеоимпульса и селекторных полуимпульсов вызывает изменение выходного напряжения интегратора, благодаря чему оно изменяется прямо пропорционально измеряемой дальности. Приращение напряжения на выходе детекторов за каждый период следования невелико, но так как конденсатор способен суммировать (интегрировать) эти приращения, то напряжение интегратора становится достаточно большим для управления временным модулятором.

8. Перечислим требования, предъявляемые к интегратору радиолокационного дальномера: интегратор должен вносить минимальную ошибку в измерение дальности; интегратор должен обеспечивать высокую помехозащищенность дальномера; интегратор должен обладать памятью.

Различают память по дальности и память по скорости. При наличии первой выходное напряжение дальномера соответствует дальности объекта в момент поступления от него последнего отраженного импульса. Это позволяет продолжить сопровождение объекта в случае кратковременного перерыва в отражении импульсов от данного объекта или в подавлении их помехами. Более совершенной является память по скорости, так как она означает, что на выходе интегратора напряжение пропорционально скорости объекта, и если временно отсутствует отраженный сигнал, то временной модулятор под действием этого напряжения изменяет задержку селекторных полуимпульсов согласно скорости объекта в момент появления от него последнего сигнала; тем самым еще более уменьшается рассогласование к моменту появления импульсов сопровождаемого объекта.

Существуют схемы дальномеров с одним и двумя интеграторами. Для схем с одним интегратором характерно наличие скоростной ошибки, которая определяется по формуле (40)

$$\Delta D = \frac{v_{\Pi}}{kF_0} = \frac{v_{\Pi}}{k_1 k_2 F_0}.$$

Для того чтобы уменьшить эту ошибку, коэффициент передачи временного селектора и интегратора  $k_2$  должен быть достаточно большим. Коэффициент  $k_2$  можно увеличить путем уменьшения емкости интегрирующего конденсатора  $C$  (чем меньше емкость  $C$ , тем больше приращение напряжения на ней при одном и том же выходном токе селектора). Это понижает постоянную времени интегратора и повышает вероятность срабатывания интегратора от помех. Таким образом, в дальномере с одним интегратором неизбежна скоростная ошибка в измерении дальности.

Если в какой-то момент времени исчезли импульсы объекта, то с временного селектора на интегратор не поступают импульсы и напряжение на интеграторе остается без изменения. Следовательно, дальномер с одним интегратором обладает памятью по дальности.



В дальномере с двумя последовательно включенными интеграторами выходное напряжение первого интегратора пропорционально скорости, а второго интегратора — дальности объекта. Поэтому, если импульсы, отраженные от объекта, не поступают на вход дальномера или подавляются помехами, то напряжение на первом интеграторе остается постоянным, а на втором интеграторе возрастает прямо пропорционально первому напряжению, т. е. скорости объекта. Благодаря этому система обладает памятью по скорости. Можно также доказать, что дальномер с двумя интеграторами не дает скоростной ошибки. Единственным недостатком данной схемы по сравнению со схемой, содержащей один интегратор, является меньшая устойчивость в работе. Этот недостаток может быть устранен.

9. В обоих вариантах радиодальномеров имеется только один интегратор, и это является их недостатком.

Для стабилизации работы интегратора радиодальномера АРО-1 (см. фиг. 186) приняты некоторые меры. Заряд интегрирующего конденсатора СЗ производится через лампу с большим внутренним сопротивлением, благодаря чему ток детектора сравнительно постоянный, а следовательно, напряжение на конденсаторе СЗ в основном зависит от длительности выходного сигнала селектора и почти не зависит от его амплитуды.

Независимость баланса схемы от уровня сигнала достигается постоянством смещения на сетках детектора, которое обусловлено применением стабилизированного источника смещения и катодного повторителя со стабилизирующим пентодом.

Во втором варианте дальномера (см. фиг. 187) детектирование и интегрирование производят при помощи двух диодных детекторов Л8А, Л8Б (6Н6), интегрирующего конденсатора С9, усилителя на пентоде Л9 (6АК5) и катодного повторителя Л10А.

Процесс изменения напряжения на интегрирующем конденсаторе неразрывно связан с зарядом и разрядом конденсаторов С10, С11. Как обычно в подобных схемах, когда лампа заперта, конденсатор, подключенный к ее аноду, заряжается, а когда лампа открыта, — разряжается. Заряд конденсатора С10 происходит по цепи +250 в, R16, С10, R24, С9, корпус (минус источника). Обратим внимание на то, что при этом напряжение на интегрирующем конденсаторе С9 относительно корпуса повышается. Цепь заряда конденсатора С11 минует интегрирующий конденсатор: +250 в, R17, С11, R23, R22, корпус. Так как лампы временного селектора заперты почти весь период следования импульсов, то в любом случае конденсаторы С10, С11 к началу следующего периода заряжены до определенной, одинаковой (для каждого из них) величины.

Во время заряда этих конденсаторов диоды Л8А и Л8Б заперты. Это объясняется тем, что на катод диода Л8А через сопротивление R23 подается положительное напряжение с делителя R20, R21, R22, а к аноду диода Л8Б приложено отрицательное напряжение, снимаемое с делителя R15, R37, R38, тогда как анод лампы

Л8А и катод диода Л8Б находятся под меньшим (по абсолютной величине) напряжением интегрирующего конденсатора С9.

Если видеоимпульс совпадает во времени с первым селекторным полуимпульсом, то лампа Л6 открывается, отрицательный импульс с ее анода подается на катод диода Л8Б, диод также открывается и конденсатор С10 разряжается по цепи анод—катод пентода Л6, С12, анод—катод диода Л8Б, С10.

Если же видеоимпульс совпадает во времени со вторым селекторным полуимпульсом, то открывается лампа Л7; отрицательным импульсом, снятым с ее анода, открывается диод Л8А и происходит разряд конденсатора С11 по цепи анод—катод пентода Л7, корпус, конденсатор С9, анод—катод диода Л8А, С11. При этом напряжение на интегрирующем конденсаторе уменьшается или точнее увеличивается с отрицательным знаком относительно корпуса.

Таким образом, через интегрирующий конденсатор проходит ток одного направления при заряде конденсатора С10 и ток обратного направления — при разряде конденсатора С11. Поскольку оба конденсатора всегда восстанавливают свой первоначальный заряд до появления следующего импульса селектора, можно сказать, что приращение заряда интегрирующего конденсатора в первом случае зависит от длительности разряда конденсатора С10, а обратное приращение, происходящее во втором случае, — от длительности разряда конденсатора С11.

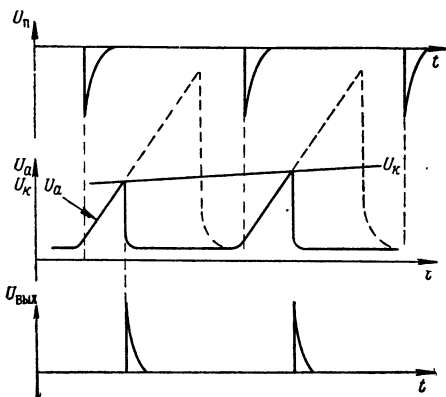
Если схема сбалансирована и видеоимпульс в равной мере перекрывается селекторными полуимпульсами, то обе лампы селектора открыты равное время, конденсаторы С10, С11 разряжаются одинаково и результирующее напряжение на интегрирующем конденсаторе не изменяется. По мере удаления цели увеличивается длительность отпирания второго селектора Л7, разряд конденсатора С11 становится более продолжительным и напряжение на интегрирующем конденсаторе увеличивается с отрицательным знаком.

Интегрирующий конденсатор С9 подключен к участку управляющая сетка—катод пентода Л9, благодаря чему на аноде пентода и сетке катодного повторителя Л10А получается положительное приращение напряжения, которое воспроизводится на сопротивлении R7. В связи с этим увеличивается напряжение на катоде диода сравнения ЛЗБ, последний открывается с большей задержкой относительно пускового импульса, селекторные полуимпульсы дополнительно задерживаются и восстанавливается баланс между ними и видеоимпульсом.

Сравнивая схемы интегрирования обоих вариантов дальнометров, можно отметить следующие преимущества второго варианта: замена триодных детекторов диодными позволила заменить во временных селекторах импульсные трансформаторы сопротивлениями; благодаря включению пентода Л9 в интегратор пределы изменения управляющего напряжения расширяются и вместе с тем увеличивается точность интегрирования.

10. Генератор поиска предназначен для получения пилообразного напряжения небольшой частоты (от десятых долей герца до нескольких герц) с целью непрерывного управления временным модулятором в режиме поиска. Частота пилообразных колебаний генератора поиска значительно меньше частоты пилообразных импульсов временного модулятора. Поэтому первые колебания называют медленной пилой, а вторые — быстрой.

Для равномерного поиска, т. е. для равномерного увеличения задержки селекторных полуимпульсов, медленная пила должна иметь линейный рабочий ход, но требования к генератору пилы в этом отношении менее жесткие, чем к временному модулятору, так как незначительная нелинейность медленной пилы не оказывает влияния на точность измерения и сопровождения по дальности.



Фиг. 188. Напряжение в схеме диода сравнения при работе дальномера в режиме поиска.

Весьма важно, чтобы обратный ход медленной пилы имел малую длительность; если это условие не будет выполнено, то произойдет захват цели во время обратного хода пилы. Это полностью исключается благодаря тому, что в качестве разрядных ламп в генераторах поиска используются газонаполненные приборы со свойственным им весьма малым внутренним сопротивлением.

Генератор поиска второго варианта дальномера (Л13) отличается только тем, что в нем отсутствуют диоды ограничения пределов поиска.

Процесс поиска иллюстрируется фиг. 188. Пусковые импульсы  $U_n$ , воздействуя на временной модулятор, определяют начало рабочего хода быстрой пилы. Пилообразное напряжение временного модулятора приложено к аноду диода сравнения, а на его катод подано напряжение медленной пилы, снимаемое с генератора поиска. Когда напряжения на аноде ( $U_a$ ) и катоде ( $U_k$ ) оказываются равными, диод открывается, генерирование быстрой пилы прекращается и на нагрузке диода R8 (см. фиг. 187) образуется положительный импульс  $U_{вых}$ , которым открывается блокинг-генератор селекторных импульсов. Поскольку напряжение медленной пилы постепенно увеличивается, равенство  $U_a = U_k$  в дальнейшем наступает при все большей задержке относительно пускового импульса и таким образом совершается поиск цели.

11. Схема индикации наличия цели предназначена для: а) переключения схемы дальномера в случае обнаружения цели с автоматического поиска на автоматическое сопровождение; б) получения светового или звукового сигнала о появлении цели и в) об-

ратного переключения схемы на автопоиск в случае потери цели. Если возникнет необходимость в выборе цели для сопровождения, схема должна обеспечить быстрое селективное более близкой или дальней цели. Эта схема должна обеспечивать автоматическое переключение с поиска цели на ее сопровождение при минимальном отношении сигнала к шумам. Разрешающая способность схемы в выборе цели для сопровождения должна быть высокой. Переключение дальногомера с одного режима работы на другой должно производиться с максимально возможной быстротой; это позволяет ускорить автоматический поиск цели.

Основными элементами любой схемы индикации цели являются пик-детектор, на который подается суммарный или максимальный из двух имеющихся выходных сигналов временного селектора, и конденсатор, заряжаемый током пик-детектора. Постоянное напряжение, которое получается на конденсаторе, используется для включения реле, переключающего дальномер с режима поиска на режим сопровождения.

Между детектированием в схемах интегрирования и индикации цели имеются существенные различия. Если детектор интегратора является разностным, т. е. его выходное напряжение определяется разностью импульсов временного селектора, то детектор схемы индикации реагирует на суммарный сигнал временного селектора. В то время как в интеграторе детектирование производится по длительности, в схеме индикации используется пик-детектор, т. е. детектирование производится по амплитуде.

В первом варианте дальногомера (см. фиг. 186) пик-детектору (Л9А) предшествовал каскад (Л10) с катодной нагрузкой, разделявший временной селектор и пик-детектор. Пик-детектор открывался при условии, что напряжение сигнала превышает постоянное опорное напряжение. Затем следовал усилитель постоянного тока (Л9Б) и выходной каскад с нагрузкой в виде реле выключения поиска Р1.

Во втором варианте (см. фиг. 187) пик-детектору, выполненному на триоде Л11Б (6С4), предшествует усилитель импульсов, работающий на триоде Л11А. На вход усилителя подаются суммарные отрицательные импульсы временного селектора, а с сопротивления R25, являющегося нагрузкой усилителя, снимаются усиленные положительные импульсы. Ими открывается лампа пик-детектора, запертая в режиме поиска отрицательным напряжением, полученным на сопротивлении R28, которое совместно с сопротивлением R29 образует делитель. Этот делитель в свою очередь подключен к другому делителю напряжения — 150 в, составленному из сопротивлений R26, R27. Та часть напряжения, которая приходится на сопротивление R29, с отрицательным знаком подается на сетку следующей лампы Л10Б и этим запирает ее в режиме поиска. Следовательно, потенциометром R27 можно регулировать напряжение запирания на сетках ламп Л11Б, Л10Б.

Когда усиленным сигналом селектора открывается пик-детектор, наступает заряд конденсатора С14 по цепи +250 в, участок

анод—катод триода Л11Б, С14, корпус. При этом увеличивается напряжение на сетке триода Л10Б, и через некоторое время в нем появляется достаточно большой анодный ток, чтобы вызвать срабатывание реле Р1. В результате дальномер переключается в режим автоматического сопровождения.

В интервале между импульсами конденсатор С14 разряжается на сопротивление R29, а также через сопротивления R28, R27, R30. Так как эти сопротивления велики, а внутреннее сопротивление триода Л10Б мало, то постоянная цепи заряда конденсатора С14 оказывается малой, а постоянная времени цепи разряда того же конденсатора — весьма значительной. В результате конденсатор за время поступления импульса с селектора успевает зарядиться до его амплитуды, а в интервале — разрядиться лишь в такой мере, чтобы быстро зарядиться до амплитуды следующего импульса. Это характерно для пик-детекторов.

Преимущества второго варианта схемы индикации перед первым вариантом выражаются в следующем: а) число триодов, применяемых в схеме, сокращено с пяти до трех (без учета сдваивания триодов в одном баллоне); б) усиление до детектора дает больший эффект, чем после детектора, так как это позволяет увеличить точность сравнения с опорным напряжением в детекторе.

Схемы коммутации при переключении с автопоиска на автоматическое сопровождение и при ручном селектировании целей совершенно одинаковые в обоих вариантах дальномеров и дополнительных пояснений не требуют.

12. К схеме АРУ самолетного радиолокационного дальмера предъявляются требования: а) обеспечить постоянство амплитуды видеоимпульсов на входе временного селектора с целью уменьшения ошибок в определении дальности; б) постоянная времени выходной цепи АРУ должна быть значительно меньше длительности поиска по дальности, для того чтобы можно было не выключать схемы АРУ в режиме поиска и не усложнять этим эксплуатацию дальмера; в) схема АРУ должна обеспечивать максимальное подавление помех.

Во втором варианте дальмера схема АРУ содержит двухкаскадный узкополосный усилитель (Л11А, Л12А), в котором первый каскад является общим для схем АРУ и индикации цели, и детектор. Этот детектор выполнен на триоде Л12Б (6С4) в диодном включении. Нагрузкой детектора АРУ служат сопротивление R34 и конденсатор С15.

Отрицательные выходные импульсы временного селектора после усиления в двух каскадах снимаются с анода триода Л12А и в той же полярности подаются на катод диодного детектора. В анодной цепи детектора появляется ток, который идет по цепи анод—катод диода, R35, R36, С15 и заряжает конденсатор С15 с отрицательной полярностью относительно корпуса. Частичный разряд этого конденсатора происходит в интервале между импульсами через сопротивление R34. В результате напряжение на нагрузке детектора получается пропорциональным амплитуде видео-

импульсов. С выхода детектора напряжение в отрицательной полярности снимается в качестве дополнительного смещения на управляющие сетки ламп УПЧ.

Второй вариант схемы АРУ дает экономию на один триод по сравнению с первым вариантом.

Описанные усовершенствования дальномерного блока позволили уменьшить потребляемый ток от источника положительного напряжения с 65 до 30 *ма* и от источника отрицательного напряжения — с 30 до 10 *ма*. Благодаря применению ламп пальчиковой серии и упрощению схемы удалось сократить размеры панели, на которой смонтирован блок, с 0,4 м×0,25 м до 0,3 м×0,165 м.

---

## Глава VII

# САМОЛЕТНЫЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ СТАНЦИИ ДЛЯ НАВИГАЦИИ И СЛЕПОГО БОМБОМЕТАНИЯ

## § 1. ОСОБЕННОСТИ ПАНОРАМНЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ

Самолетные радиолокационные станции типа Н<sub>2</sub>Х для навигации и слепого бомбометания предназначены для самолетовождения при помощи наземных ориентиров и импульсных радиомаяков, а также для прицельного бомбометания в отсутствии видимости.

Эти станции определяют две координаты наземных и надводных объектов: дальность и азимут. Основным индикатором служит электронно-лучевая трубка с радиально-круговой разверткой и яркостной отметкой — индикатор кругового обзора (ИКО). Благодаря тому, что земная и водная поверхности, а также объекты, расположенные на них, обладают различной способностью отражать электромагнитные волны, яркость отметок в различных точках экрана получается неодинаковой. Это при наличии радиально-круговой развертки создает на экране трубки своеобразную панораму местности. Отсюда появилось название таких систем — панорамные радиолокаторы.

Панорамными радиолокаторами оборудуются самолеты гражданской авиации, а также бомбардировщики. Панорамные радиолокационные станции значительно облегчают решение навигационных задач.

Панорамные радиолокационные станции являются приборами автономного самолетовождения. Этим они выгодно отличаются от навигационных систем с ответным излучением, так как не нуждаются в наземном оборудовании, устанавливаемом по трассе полета. Выход из строя наземных маяков не лишает экипаж самолета, имеющего панорамный радиолокатор, средств радионавигации.

Вместе с тем в панорамных радиолокационных станциях имеется возможность осуществлять самолетовождение не только при помощи наземных и надводных ориентиров, но и по сигналам импульсных радиомаяков. В таких случаях на каждый радиоим-

Навигация по радиомаякам дает больший выигрыш в дальности действия по сравнению с навигацией по обычным радиолокационным ориентирам, так как мощность ответного сигнала маяка намного превосходит мощность отраженных радиоимпульсов.

В момент совпадения перекрестия с отметкой цели производится сбрасывание бомбы. Оборудованные таким образом станции называются *радиолокационными бомбардировочными прицелами*.

Диаграмма направленности антенны. Для определения местоположения воздушных объектов, кроме координаты дальности, необходимо знать две угловые координаты объекта — азимут и угол места, тогда как положение наземных и надводных объектов определяется только дальностью и азимутом. Это обстоятельство является исходным при проектировании антенной системы панорамной радиолокационной станции.

Для точного определения азимута достаточно, чтобы диаграмма направленности антенны была узкой только в горизонтальной плоскости, а в вертикальной плоскости эта диаграмма должна быть достаточно широкой, чтобы за один оборот антенны полностью об-

лучалась вся поверхность земли, изображаемая на экране индикатора.

Вторая особенность диаграммы направленности антенны панорамного радиолокатора заключается в том, что плотность потока мощности, излучаемой такой антенной, по мере увеличения угла визирования  $\beta$  или уменьшения угла места  $\delta=90-\beta$  (фиг. 189) должна увеличиваться в такой мере, чтобы при неизменной высоте полета самолета  $H$  мощность сигнала на входе приемника оставалась постоянной. Если эту мощность обозначить  $P_c$ , а наклонную дальность облучаемого участка земли  $D_n$ , то согласно формуле (11'')

$$P_c = \frac{P_n G^2 \lambda^2 \sigma_n}{(4\pi)^3 D_n^4}.$$

Эффективная отражающая поверхность цели  $\sigma_n$  в данном случае определяется отражающими свойствами площадки земной поверхности  $ADFE$ , которая облучается антенной за время излучения одного радиопульса длительностью  $\tau$ . Стороны площадки

$$AD \approx EF = D_n \cdot 2\varphi',$$

где  $2\varphi'$  — ширина диаграммы направленности антенны в горизонтальной плоскости.

Так как  $BE = CF = \frac{C\tau}{2}$ , то две другие стороны площадки

$$AE = DF \approx \frac{BE}{\cos \delta} = \frac{C\tau}{2 \cos \delta}.$$

Следовательно, эффективная отражающая поверхность

$$\sigma_n = AD \cdot AE \cdot k(\delta) = D_n \cdot 2\varphi' \cdot \frac{C\tau}{2} \cdot k(\delta) \frac{1}{\cos \delta},$$

где  $k(\delta)$  — коэффициент рассеяния, зависящий, строго говоря, от угла  $\delta$ ; с некоторым приближением можно полагать  $k(\delta) = \sin \delta$ .

Подставив выражение  $\sigma_n$  в формулу (11''), получим

$$P_c = \frac{P_n G^2 \lambda^2 D_n 2\varphi' \cdot \frac{C\tau}{2} k(\delta)}{(4\pi)^3 D_n^4 \cos \delta} = \frac{P_n G^2 \lambda^2 2\varphi' \cdot \frac{C\tau}{2} \sin \delta}{(4\pi)^3 D_n^3 \cos \delta}.$$

Характерно, что при отражении от объектов, имеющих большую протяженность, в данном случае — от земли, мощность принимаемого сигнала обратно пропорциональна третьей степени наклонной дальности, а не четвертой, как при отражении от точечных целей.

Если наклонную дальность выразить через высоту полета самолета

$$D_n = \frac{H}{\sin \delta} = H \operatorname{cosec} \delta,$$



то формула мощности сигнала на входе приемника принимает вид

$$P_c = \frac{P_n G^2 \lambda^2 2\varphi' \frac{C\tau}{2} \sin \delta}{(4\pi)^3 H^3 \operatorname{cosec}^3 \delta \cos \delta} = \frac{P_n G^2 \lambda^2 2\varphi' \frac{C\tau}{2}}{(4\pi)^3 H^3 \operatorname{cosec}^3 \delta \operatorname{ctg} \delta}.$$

В этой формуле  $P_n$ ,  $\lambda$ ,  $2\varphi'$ ,  $\tau$  и  $H$  — постоянные величины. Следовательно, мощность  $P_c$  не зависит от угла  $\delta$  при условии, что

$$\frac{G^2}{\operatorname{cosec}^3 \delta \operatorname{ctg} \delta} = \text{const.}$$

При наименьшем угле места  $\delta = \delta_0$  (наибольшем угле визирования  $\beta_0$ ) усиление антенны максимально:  $G = G_{\max}$ . Значит,

$$\frac{G^2}{\operatorname{cosec}^3 \delta \operatorname{ctg} \delta} = \frac{G_{\max}^2}{\operatorname{cosec}^3 \delta_0 \operatorname{ctg} \delta_0},$$

откуда

$$G = G_{\max} \frac{\operatorname{cosec}^{3/2} \delta \sqrt{\operatorname{ctg} \delta}}{\operatorname{cosec}^{3/2} \delta_0 \sqrt{\operatorname{ctg} \delta_0}},$$

где  $\delta_0 \leq \delta \leq \frac{\pi}{2}$ .

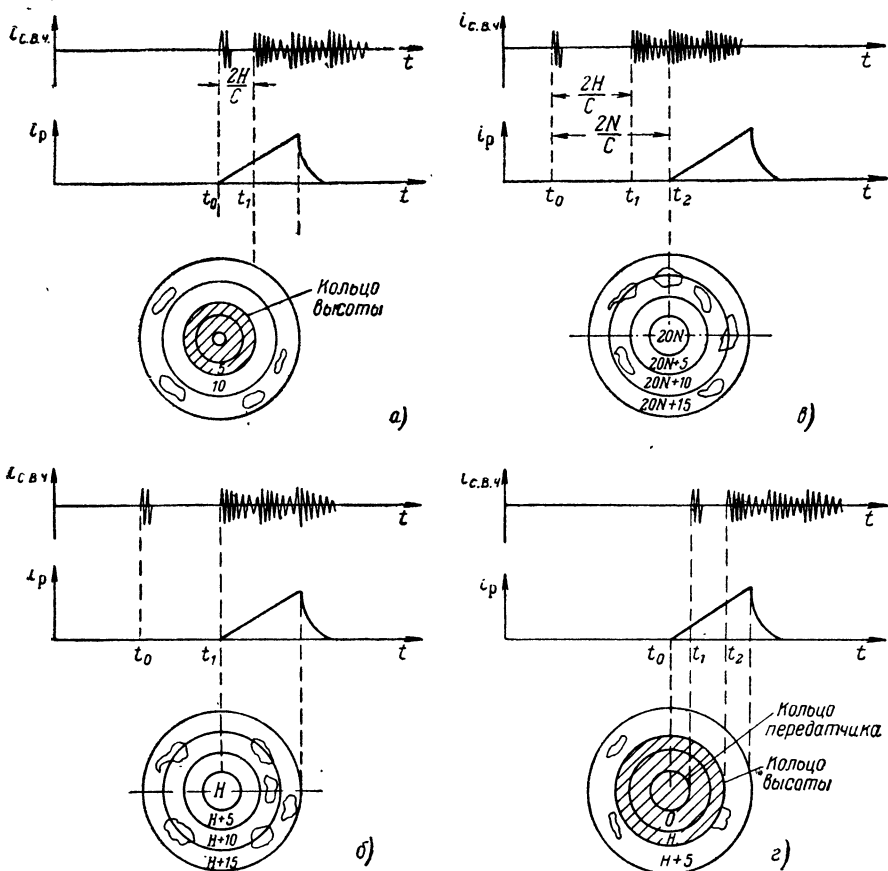
Диаграмму направленности, выраженную этим уравнением, иногда называют «косеканс-квадратной», так как в данном случае плотность потока излучаемой мощности приблизительно пропорциональна косеканс-квадрату угла места в направлении потока.

Конструктивные особенности антенны. При продольном и поперечном кренах самолета лучи электромагнитных волн, излучаемых антенной, наклоняются. Область облучения антенны перемещается с одного участка земной поверхности на другой. В результате изображение на экране трубки искажается, и так как диаграмма направленности панорамного радиолокатора узкая в горизонтальной плоскости, то появляется дополнительная ошибка в измерении азимута объекта. По этой причине за рубежом в некоторых самолетных панорамных радиолокаторах ось вращения антенны стабилизируют в определенном вертикальном положении.

К числу особенностей антенной системы панорамного радиолокатора относится также трудность размещения антенны на самолете из-за ее больших размеров (например, горизонтальный размер самолетной панорамной станции APQ-13 равен 75 см). К тому же антенна должна быть расположена так, чтобы обеспечить максимальный обзор пространства под самолетом, а для этого часть антенны должна выступать за пределы фюзеляжа или крыла самолета. Отсюда неизбежно появление дополнительного аэродинамического сопротивления самолета. В целях его уменьшения выступающую часть антенны закрывают антенным обтекателем, а объем этой части стремятся сократить до предела.

## Б. Особенности индикации в самолетных панорамных радиолокационных станциях

1. Индикаторы кругового обзора самолетных панорамных радиолокационных станций могут работать в некоторых характерных для них режимах. К этим режимам относятся: индикация при наличии кольца высоты, индикация с открытым центром, с закрытым центром, со ступенчатой и плавной задержкой развертки и т. д.



Фиг. 190. Режим работы индикатора кругового обзора самолетной панорамной радиолокационной станции при:

а—совпадении начала развертки с излучением зондирующего импульса, б—задержке развертки, необходимой для стягивания высотного кольца к центру, в—задержке развертки на  $N$  км, г—опережении развертки относительно зондирующего импульса.

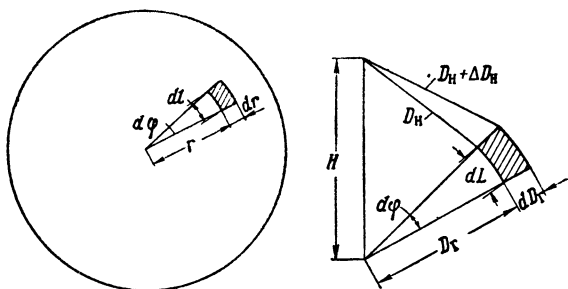
Если радиальная развертка ( $i_p$ ) начинается в момент  $t_0$ , т. е. одновременно с излучением импульса передатчика (фиг. 190, а), то первый импульс, отраженный от земли, приходит в момент  $t_1$ , через интервал времени  $\frac{2H}{C}$ , необходимый для распространения электромагнитной волны на удвоенную высоту полета самолета.

Поэтому на экране индикатора образуется темное пятно, называемое высотным кольцом. Радиус кольца пропорционален высоте полета самолета.

За счет кольца высоты уменьшается площадь использования экрана. Если есть необходимость в более полном использовании экрана, то используются так называемым *закрытием центра*, когда развертка задерживается относительно зондирующего импульса на время  $\frac{2H}{C}$ , в результате чего кольцо высоты стягивается к центру экрана (фиг. 190, б).

Если требуется более тщательно рассмотреть какой-то участок общего диапазона дальности станции, то используют дополнительную задержку развертки. На фиг. 190, в показан такой случай, когда развертка задерживается на время, соответствующее дальности  $N \text{ км} > H \text{ км}$ . Очевидно, что в этом случае отсчет дальности по экрану трубки должен производиться, начиная с  $N \text{ км}$ . Задержка развертки изменяется ступенями или плавно.

В панорамных радиолокаторах иногда используют режим индикаций с открытием центра, когда начало развертки ( $t_0$ ) не только не отстает от зондирующего импульса ( $t_1$ ), но даже опережает этот импульс (фиг. 190, г). На экране трубки в этом случае образуется кольцо передатчика, соответствующее дальности  $0 \text{ км}$ , за-



Фиг. 191. К определению радиального и азимутального масштабов изображения на индикаторе кругового обзора самолетной панорамной радиолокационной станции.

тем — кольцо высоты, соответствующее наклонной дальности  $H \text{ км}$ , и только за пределами этого кольца наблюдаются импульсы, полученные в результате отражения от наземных и надводных объектов. Открытие центра применяется в том случае, когда наблюдение ведется за объектами, расположенными на небольших дальностях или непосредственно под самолетом, и требуется вынести их изображение из центра экрана для более тщательного рассмотрения.

2. Линейный закон развертки дальности и азимута не всегда является достаточным условием получения неискаженного изображения на экране ИКО самолетного панорамного радиолокатора. Для того чтобы убедиться в этом, рассмотрим зависимость масшта-

бов изображения на экране индикатора от высоты полета самолета и от наличия задержки развертки.

В ИКО различают два масштаба изображения: радиальный  $m_r$  и азимутальный  $m_\varphi$  (фиг. 191). *Радиальный масштаб* выражает отношение приращения радиуса развертки  $dr$  к приращению соответствующей дальности на местности. Здесь необходимо уточнить, о какой дальности идет речь — о наклонной  $D_n$  или горизонтальной  $D_r$ . Изображение на экране трубки получается наиболее наглядным и удобным для навигационных целей, если оно полностью отражает расположение объектов на местности, а для этого необходимо иметь постоянным радиальный масштаб по горизонтальной дальности  $m_r$ . Вместе с тем следует иметь в виду, что время распространения электромагнитных волн прямо пропорционально наклонной дальности, и, следовательно, *при линейной временной развертке постоянным является радиальный масштаб по наклонной дальности  $m_n$* . Соотношение между этими масштабами

$$m_r = \frac{dr}{dD_r} \quad \text{и} \quad m_n = \frac{dr}{dD_n}$$

можно установить, исходя из известной зависимости

$$D_r = \sqrt{D_n^2 - H^2}.$$

Под *азимутальным масштабом* будем понимать отношение элементарной длины дуги  $dl$  на экране трубки к соответствующему участку дуги  $dL$  на изображаемой местности:

$$m_\varphi = \frac{dl}{dL}.$$

Линейность азимутальной развертки в ИКО означает равенство углов поворота антенны и радиальной развертки. Допустим, что антенна и радиальная развертка на экране повернулись на один и тот же элементарный угол  $d\varphi$ , высота  $H=0$ , т. е.  $D_n=D_r$ , и отсутствует задержка развертки. При этих условиях азимутальный масштаб

$$m_\varphi = \frac{dl}{dL} = \frac{r d\varphi}{D_r d\varphi} = \frac{r}{D_r},$$

но так как в данном случае развертка начинается одновременно с облучением точки, имеющей  $D_r=0$ , то  $dr=r-0=r$ , а  $dD_r=D_r-0=$   
 $=D_r$  и

$$m_\varphi = \frac{r}{D_r} = \frac{dr}{dD_r} = \frac{dr}{dD_n} = m_n.$$

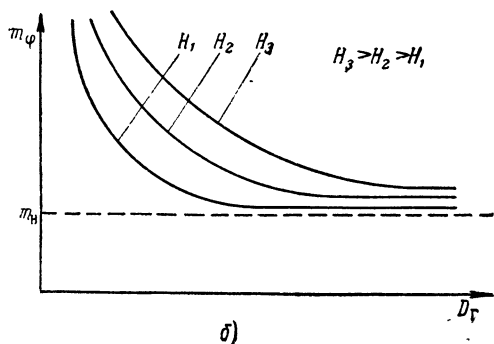
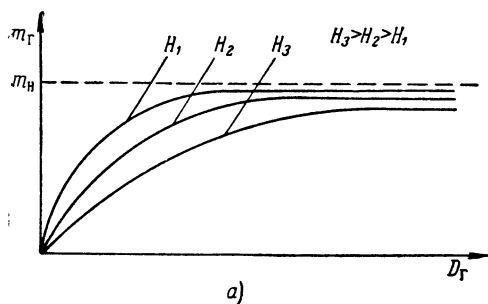
Таким образом, при линейной развертке и высоте  $H=0$  азимутальный масштаб, так же как и радиальный, является постоянной величиной и изображение на экране трубки получается неискаженным.

3. Учтем теперь высоту полета самолета, полагая по-прежнему, что развертка линейная и начинается одновременно с излучением зондирующего импульса. Тогда радиальный масштаб по наклонной дальности сохраняется постоянным, а радиальный масштаб по горизонтальной дальности изменяется.

В области малых значений горизонтальной дальности  $D_r$  величина ее оказывается незначительной по сравнению с высотой  $H$ , в связи с чем согласно формуле

$$D_n = \sqrt{D_r^2 + H^2} \quad (41)$$

наклонная дальность почти не изменяется и движение электронного луча по радиусу происходит весьма незначительно. По мере увеличения горизонтальной дальности влияние высоты в формуле (41) сказывается все меньше, постепенно устанавливается равенство  $D_n \approx D_r$  и масштаб радиальной развертки по горизонтальной дальности  $m_r$  приближается к постоянной величине, равной масштабу радиальной развертки по наклонной дальности. Как видно из



Фиг. 192. Зависимость радиального  $m_r$  и азимутального  $m_\phi$  масштабов изображения от горизонтальной дальности с учетом высоты полета самолета.

фиг. 192, а, чем больше высота полета самолета, тем больше радиальный масштаб уменьшается по мере приближения к центру экрана.

Влияние высоты на азимутальный масштаб выражается в следующем. Точка земной поверхности, расположенная непосредственно под самолетом, на экране трубки изображается в виде кольца высоты. Отсюда следует, что при  $D_r = 0$  азимутальный масштаб  $m_\phi$  равен бесконечности (фиг. 192, б). С увеличением горизонтальной дальности несоответствие между длиной дуги на экране индикатора и на местности уменьшается, благодаря чему азимутальный масштаб приближается к радиальному  $m_n$ .

Таким образом, под влиянием высоты изображение, полученное на экране трубки, все более искажается в направлении к ее центру:

отметки объектов сжимаются по радиусу ( $m_r$  уменьшается) и растягиваются по азимуту ( $m_\phi$  увеличивается).

Если ввести задержку на высоту  $D_z$ , то кольцо высоты уменьшается, вследствие чего вокруг него уменьшается азимутальный масштаб  $m_\phi$  и увеличивается радиальный масштаб  $m_r$ . Когда задержка развертки становится равной  $H$ , то кольцо высоты сжимается в точку, т. е. кольцо на местности радиусом  $D_z = H$  соответствует точке на экране. В связи с этим при  $D_r = 0$  не только ради-

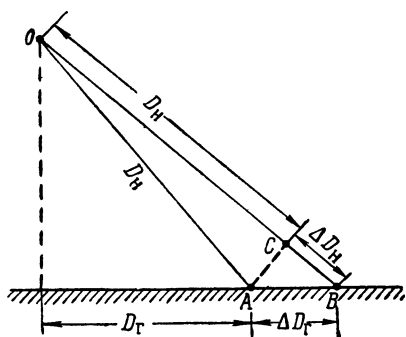
альный масштаб по горизонтальной дальности, но и азимутальный масштаб принимают нулевое значение.

Следовательно, введенная задержка не устранила полностью уменьшение радиального масштаба, обусловленное высотой самолета. Что касается азимутального масштаба, то в отсутствии задержки на высоту этот масштаб при  $D_r=0$  был равен бесконечности, а при задержке  $D_z=H$  уменьшился до нуля. Это позволяет ожидать наименьших искажений изображения при каком-то промежуточном значении задержки. Оптимальная задержка приблизительно равна  $1/2 H$ . Кольцо высоты, соответствующее этой задержке, имеет небольшие размеры и не может служить препятствием для ее применения.

Итак, доказано, что в панорамных радиолокаторах целесообразно применять задержку развертки для полного или частичного устранения кольца высоты, для более тщательного рассмотрения отдельных участков диапазона дальности и в ряде случаев для уменьшения искажений на экране индикатора.

4. Постоянство радиального масштаба по горизонтальной дальности и азимутального масштаба не является достаточным условием для получения качественного изображения на экране трубки. Изображение должно быть контрастным и содержать наибольшее число элементов, воспроизводящих поверхность земли и объекты, расположенные на ней. Следовательно, качество изображения на экране ИКО панорамного радиолокатора в большей мере, чем на каком-либо индикаторе станции другого типа, зависит от разрешающей способности станции по дальности и азимуту.

Обозначим разрешающую способность панорамной радиолокационной станции по наклонной дальности  $\Delta D_n$  и по горизонтальной дальности  $\Delta D_r$ . Пользуясь этими обозначениями, можно сказать, что два близлежащих элемента  $A, B$  земной поверхности с одинаковым азимутом наблюдаются на экране индикатора раздельно, если один из этих элементов имеет наклонную дальность  $D_n$  и горизонтальную дальность  $D_r$ , а второй элемент — соответственно координаты  $D_n+\Delta D_n$  и  $D_r+\Delta D_r$  (фиг. 193). Так как стороны треугольника  $OA$  и  $OC$  равны, то  $\angle OCA < 90^\circ$ , а  $\angle ACB > 90^\circ$ . Это позволяет сказать, что  $\angle BAC = 180^\circ - \angle ACB < 90^\circ$ . Поскольку в треугольнике против большего угла расположена большая сторона, то  $\Delta D_r$  больше, чем  $\Delta D_n$ . Отсюда следует, что разрешающая способность панорамной радиолокационной станции по горизонтальной дальности ниже, чем по наклонной ( $\Delta D_r > \Delta D_n$ ), причем разность  $\Delta D_r - \Delta D_n$  тем больше, чем меньше горизонтальная даль-



Фиг. 193. Сравнение разрешающей способности самолетной радиолокационной станции по наклонной и горизонтальной дальности.

ность  $D_r$  по сравнению с высотой  $H$ . Для того чтобы улучшить разрешающую способность по горизонтальной дальности, необходимо в первую очередь улучшить разрешающую способность по наклонной дальности, а для этого следует уменьшить длительность импульса и диаметр светового пятна на экране трубки.

Разрешающая способность по азимуту тем выше, чем меньше ширина диаграммы направленности в горизонтальной плоскости и меньше диаметр светового пятна.

5. Все перечисленные меры по улучшению изображения на экране трубки ИКО все же не позволяют получить постоянный радиальный масштаб по горизонтальной дальности. Это становится возможным, если осуществить радиальную развертку по гиперболическому закону.

Действительно, длина радиальной развертки выражается через масштаб по горизонтальной дальности следующей зависимостью:

$$r_r = m_r D_r = m_r \sqrt{D_n^2 - H^2} = m_r D_n \sqrt{1 - \frac{H^2}{D_n^2}}.$$

Так как наклонная дальность и высота соответственно равны

$$D_n = \frac{ct}{2} \quad \text{и} \quad H = \frac{ct_0}{2},$$

где  $t$  — время распространения электромагнитной волны со скоростью  $c$  на расстояние  $2D$ , а

$t_0$  — время распространения волны на удвоенную высоту  $2H$ , то

$$r = m_r \frac{ct}{2} \sqrt{1 - \frac{t_0^2}{t^2}}.$$

По условию масштаб  $m_r$  должен быть постоянным, так же как постоянны  $t_0$  (при данной высоте  $H$ ) и  $c$ . Поэтому, обозначив

$$\frac{m_r c}{2} = A,$$

находим, что движение луча по радиусу экрана с течением времени должно происходить по гиперболическому закону:

$$r = At \sqrt{1 - \frac{t_0^2}{t^2}}. \quad (42)$$

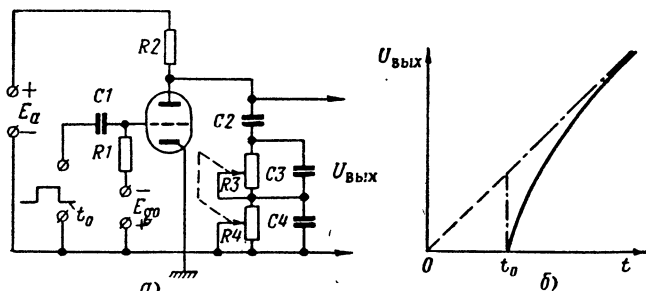
Эта зависимость иллюстрируется фиг. 194. Если бы высота  $H$  была равна нулю, то движение луча должно было бы происходить по ли-

Фиг. 194. Закон изменения радиальной развертки при постоянном радиальном масштабе по горизонтальной дальности.

нейному закону. Действительно, согласно формуле (42) при  $t_0 = \frac{2H}{c}$  отклонение луча по линии развертки  $r = At$ .

Когда самолет находится на высоте  $H \neq 0$ , развертка должна начинаться в момент  $t=t_0$ . Такой вывод следует из того, что при  $t < t_0$  в формуле (42) подкоренное выражение становится отрицательным, а  $r$  — мнимым. Затем с течением времени  $t$  отношение  $t_0/t$  постепенно уменьшается, движение электронного луча замедляется и зависимость отклонения луча от времени по формуле (42) приближается к линейной  $r=At$ . Заметим, что чем больше высота  $H$ , тем больше должно быть время задержки начала развертки  $t_0$  и тем больше скорость радиальной развертки в ее начале.

6. На фиг. 195, а изображена схема простейшего генератора гиперболической развертки. Одновременно с запуском передатчика



Фиг. 195. Генератор гиперболической развертки.

а—принципиальная электрическая схема, б—изменение выходного напряжения генератора с течением времени.

( $t=0$ ) лампа генератора развертки открывается положительным импульсом, который получается в специальной схеме и подается на сетку лампы через цепь  $C1, R1$ . Длительность этого импульса должна быть равна времени задержки начала гиперболической развертки  $t_0$ . Ранее заряженные конденсаторы  $C2, C3, C4$  разряжаются с приходом пускового импульса через открытую лампу. При этом выходное напряжение  $U_{\text{вых}}$  можно практически считать равным нулю (полагаем, что внутреннее сопротивление лампы очень мало).

В момент  $t=t_0$  импульс на входе генератора развертки прекращается и лампа генератора запирается отрицательным смещением  $E_{g0}$ . Начинается заряд конденсаторов  $C2, C3, C4$  через сопротивление  $R2$ .

Если бы не было конденсаторов  $C3, C4$ , то в момент  $t=t_0$  на выходе генератора появился бы скачок напряжения, обусловленный током, проходящим через сопротивления  $R3, R4$  (см. штрихпунктирную линию на фиг. 195, б). Поскольку конденсаторы  $C3, C4$  не могут мгновенно зарядиться, этот скачок в действительности не наблюдается; тем не менее имеет место быстрый рост выходного напряжения благодаря заряду небольших емкостей  $C3, C4$ . В дальнейшем этот рост замедляется, так как становится более существенным заряд сравнительно большой емкости  $C2$ . Если приняты меры для сохранения постоянным тока заряда конденсато-



ров (в схеме, показанной на фиг. 195, а, для этого по крайней мере сопротивление  $R_2$  должно быть большим), то через некоторое время установится линейный закон изменения выходного напряжения с течением времени.

Сопротивления  $R_3$  и  $R_4$  — переменные. Их движки соединяются общей осью с потенциометром, регулирующим длительность импульсов на входе генератора. Величину сопротивлений корректируют для каждой высоты полета самолета с целью максимального приближения закона изменения напряжения развертки к гиперболическому.

## **В. Измерение дальности и азимута в самолетных панорамных радиолокационных станциях**

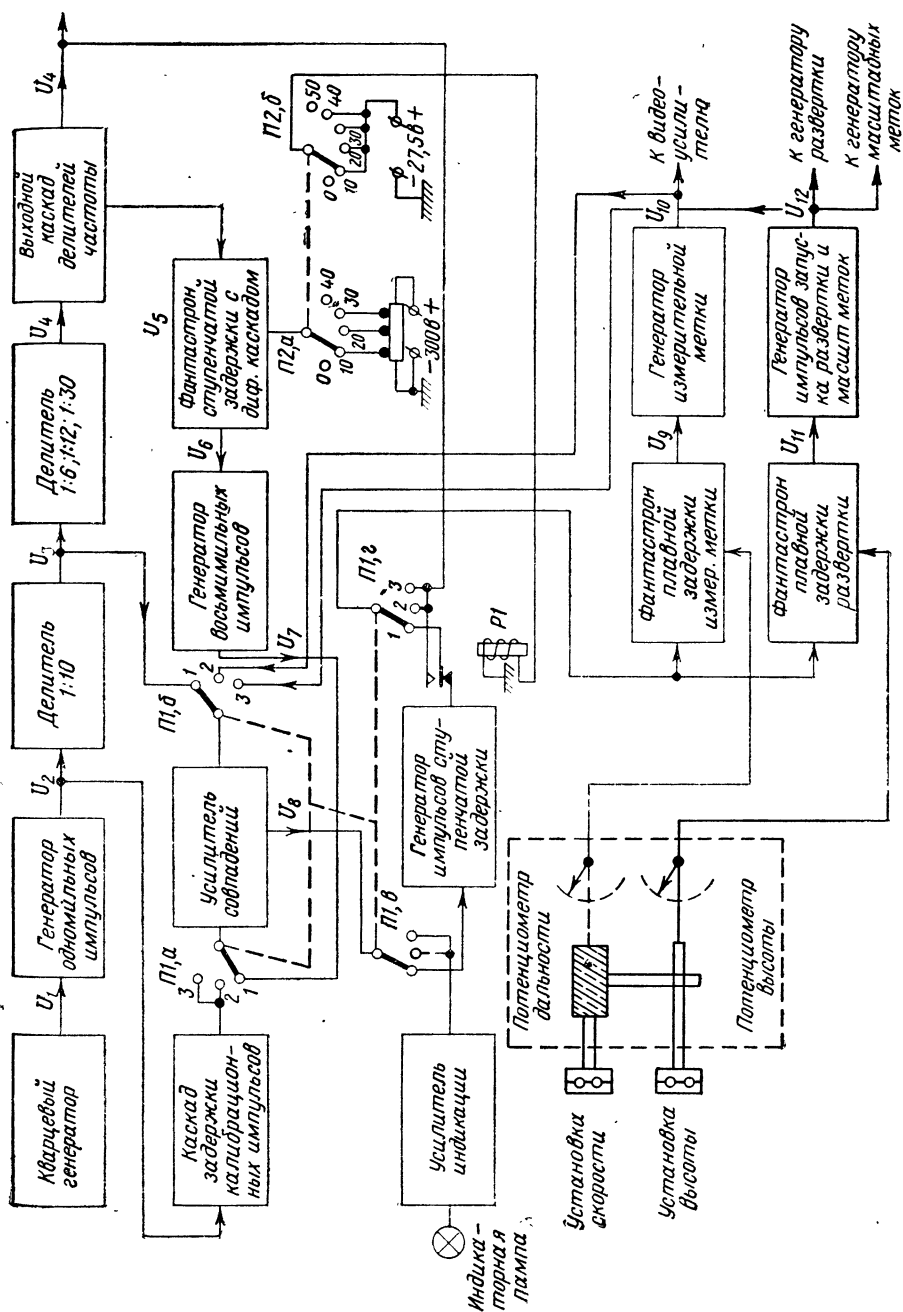
1. В наземных радиолокационных станциях индикатор кругового обзора используют только для того, чтобы получить общее представление о наличии и расположении объектов в зоне видимости станции. Если же требуется точное определение дальности объектов, то в таких станциях применяют дополнительные индикаторы другого типа.

В самолетных панорамных радиолокаторах ИКО является обязательным, а подчас и единственным индикатором. Вместе с тем если панорамная станция используется в качестве бомбоприцела, то требуется высокая точность в определении дальности и азимута. Для того чтобы не увеличивать вес и габариты станции дополнительными индикаторами, точное определение дальности в радиолокационных бомбоприцелах производят по имеющемуся индикатору кругового обзора, но одновременно используют соответствующую дальномерную схему и счетно-решающее устройство.

2. На точность измерения координат большое влияние оказывает способ получения меток на экране трубки. Имея в виду преимущества электронных меток по сравнению с механическими, в данном случае применяют масштабные (неподвижные) и измерительные (подвижные) метки, полученные только электрическим способом. Импульсы этих меток вводятся в видеоканал, в результате чего на экране ИКО образуются яркие кольца.

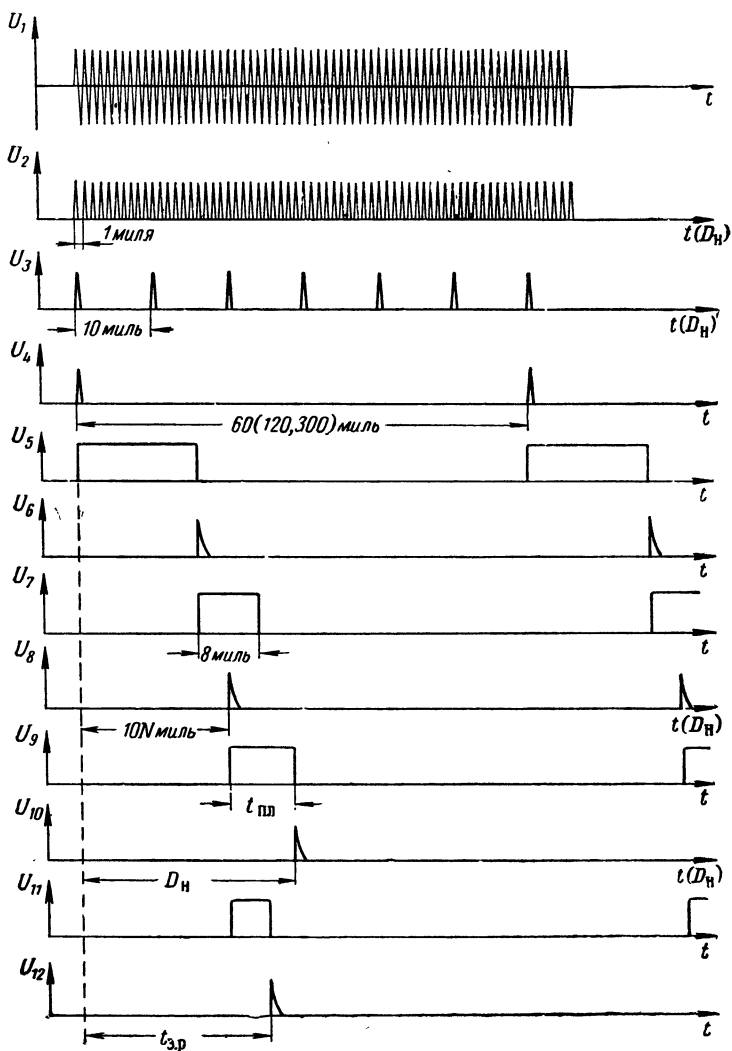
Способ получения масштабных и измерительных меток определяется схемой синхронизации всей станции, которая в свою очередь зависит от требуемой точности определения координат и типа коммутирующего прибора, применяемого в модуляторе передатчика.

Если бы коммутирующим прибором являлась какая-нибудь газоразрядная лампа или вращающийся разрядник, то применение кварцевого генератора в синхронизаторе не имело бы смысла, так как газоразрядные приборы отличаются большой инерционностью и не обеспечивают жесткой связи между импульсами запуска модулятора и выработанными в нем модулирующими импульсами. В данном случае мощность передатчика позволяет применить в качестве коммутирующего прибора такой безынерционный прибор, как электронную лампу. Следовательно, для синхронизации



Фиг. 196. Функциональная схема блока дальности панорамной радиолокационной станции типа АРQ-13.

станции целесообразно применить кварцевый генератор, поскольку в остальных звеньях станции возможно использовать его высокую стабильность.



Фиг. 197. Временные соотношения в блоке дальности панорамной радиолокационной станции.

Естественно, что, имея высокостабильный задающий каскад синхронизатора, его используют для формирования меток дальности. Так как в панорамной радиолокационной станции имеется несколько диапазонов дальности, то желательно, чтобы интервалы между масштабными метками можно было устанавливать различными. Для этого прибегают к многокаскадному делению частоты.

В радиолокационном бомбоприцеле АРQ-13 масштабные метки получаются несколько иным способом: метки генерируются отдельным каскадом с контуром ударного возбуждения, а импульсы, синхронизированные кварцевым генератором, используются для калибровки шкалы счетно-решающего устройства.

3. Рассмотрим подробнее особенности измерения дальности в самолетных панорамных радиолокационных станциях на примере функциональной схемы блока дальности типа АРQ-13 станции (фиг. 196). Временные соотношения в элементах блока показаны на фиг. 197.

Колебания кварцевого генератора  $U_1$ , имеющие частоту 80, 86 кГц, используются для синхронизации блокинг-генератора, создающего короткие импульсы  $U_2$  с периодом следования, соответствующим дальности в 1 милю (1852 м). Такие импульсы называются одномильными. Они подвергаются делению по частоте в отношении 1 : 10, в результате чего получают 10-мильные импульсы ( $U_3$ ). Так как частота следования импульсов передатчика ( $U_4$ ) значительно меньше частоты следования 10-мильных импульсов, то в зависимости от режима работы станции производится дополнительное деление частоты в отношении 1 : 6, 1 : 12 или 1 : 30. Эти 60-, 120- или 360-мильные импульсы  $U_4$  в дальнейшем запускают передатчик.

Для того чтобы интервалы между масштабными метками были стабильными, кратность деления частоты должна быть строго постоянной. В связи с этим в каскадах, предназначенных для калибровки по дальности, не применяют деление частоты с коэффициентом деления, большим 1 : 10. Стабильность частоты следования импульсов передатчика не столь важна, а потому в последнем каскаде деление частоты может происходить со значительно большим коэффициентом.

4. Импульсы, полученные в результате деления частоты, кроме запуска передатчика, производят запуск развертки и схем масштабных и измерительной меток. Для этого они проходят каналы ступенчатой и плавной задержки.

Схема ступенчатой задержки состоит из фантастрона ступенчатой задержки с каскадом дифференцирования импульсов, генератора 8-мильных импульсов, усилителя совпадений и генератора импульсов ступенчатой задержки. Для получения ступенчатой задержки переключатель П1 («калибровка») следует поставить в положение «1» («Нормально»), а переключатель ступенчатой задержки П2 должен находиться на любом контакте, кроме контакта «0». При этом фантастрон ступенчатой задержки создает импульс  $U_5$ , который своим задним фронтом благодаря дифференцирующему каскаду ( $U_6$ ) запускает генератор 8-мильных импульсов. Последние ( $U_7$ ) имеют прямоугольную форму и через плату переключателя П1,а подаются на вход усилителя совпадений. Одновременно на вход усилителя через плату переключателя П1,б поступают 10-мильные импульсы, снятые с соответствующего делителя частоты. В момент совпадения обоих импульсов лампа усилителя откры-

вается и через переключатель П1, производится запуск генератора, вырабатывающего импульс  $U_8$ , задержанный на  $10N$  миль относительно импульса запуска передатчика. Такая схема имеет преимущество в том, что она позволяет использовать стабилизирующие свойства кварцевого генератора и величину ступенчатой задержки сделать независимой от точности работы других каскадов этой схемы.

Множитель  $N$  в величине ступенчатой задержки  $10N$  миль зависит от того, на какой контакт поставлен переключатель П2,а, так как этим определяется напряжение, управляющее фантастроном, а следовательно, и длительность его импульсов.

Через переключатель ступенчатой задержки П2,б подается напряжение 27 в на обмотку реле Р1. При срабатывании реле импульс ступенчатой задержки запускает фантастроны плавной задержки измерительной метки и плавной задержки развертки. Длительность импульса первого фантастрона ( $U_9$ ) зависит от управляющего напряжения, которое снимается с потенциометра дальности, а длительность импульса второго фантастрона ( $U_{11}$ ) определяется управляющим напряжением, которое снимается с потенциометра высоты. Оба потенциометра находятся в счетно-решающем устройстве. Задним фронтом импульса первого фантастрона запускается генератор измерительной метки, а от заднего фронта импульса второго фантастрона запускается схема получения развертки и схема формирования масштабных меток.

Импульс измерительной метки ( $U_{10}$ ) запаздывает относительно импульса запуска передатчика на суммарную величину ступенчатой задержки, указанной на шкале переключателя П2, и плавной задержки, отсчитываемой по шкале потенциометра дальности счетно-решающего устройства. Отсюда следует, что наклонная дальность  $D_n$  объекта определяется суммированием показаний шкалы переключателя П2 и шкалы дальности счетно-решающего устройства в момент совмещения отметки объекта с измерительной меткой на экране трубки.

Такая система измерения дальности имеет существенные преимущества по сравнению с другими системами. Во-первых, точность измерения дальности повышается благодаря тому, что используются только электрические методы и не применяются механические визиры. Второе преимущество данной системы заключается в том, что управляющее напряжение плавной задержки вырабатывается в счетно-решающем устройстве, а это позволяет при бомбометании устанавливать измерительную метку с учетом высоты, скорости сноса и баллистических данных бомбы. Измерительная метка в таком случае называется меткой бомбометания.

5. Плавная задержка импульсов запуска развертки и генератора масштабных меток производится аналогично плавной задержке импульсов в канале измерительной метки. Время плавной задержки развертки  $t_{з.р}$  зависит от длительности импульса соответствующего фантастрона ( $U_{11}$ ).

На этом основан принцип измерения высоты при помощи самолетной панорамной радиолокационной станции. Измерение производят в такой последовательности. Сначала переключатель устанавливают на контакт «0», благодаря чему с обмотки реле Р1 снимается напряжение, и через его контакты фантастрон плавной задержки запускается непосредственно с выходного каскада делителя частоты, минуя каскады ступенчатой задержки. Затем ручкой потенциометра «Установка высоты», размещенной в счетно-решающем устройстве, задержку развертки подбирают такой, чтобы кольцо высоты было сжато в одну точку в центре экрана. В этот момент шкала потенциометра высоты счетно-решающего устройства указывает высоту полета самолета.

Характерно, что генератор масштабных меток запускается одновременно с запуском генератора развертки, а плавная задержка измерительной метки производится независимо от плавной задержки развертки. Благодаря этому масштабные кольца остаются неподвижными при изменении задержки, а точный отсчет дальности по измерительным меткам при любой задержке развертки осуществляется одинаково: суммированием показаний шкалы переключателя П2 и шкалы дальности в счетно-решающем устройстве. Следовательно, задержку развертки можно всегда устанавливать, исходя из создания наилучших условий наблюдения за объектами по экрану трубки, не опасаясь усложнения системы отсчета дальности в связи с введением задержки развертки.

6. Система измерения дальности требует калибровки шкал дальности с учетом задержки в прохождении электрических сигналов по цепям станции. Эти задержки обусловлены наличием реактивных элементов в схеме станции и тем, что импульсы, действующие на различные каскады схемы, имеют конечную крутизну и, следовательно, они не оказывают мгновенного действия.

В станции предусмотрен отдельный канал калибровки шкал дальности, который запускается одномоментными импульсами, снимаемыми с соответствующего делителя частоты. Канал состоит из каскада задержки калибрационных импульсов, усилителя совпадений, усилителя индикации и индикаторной (неоновой) лампы.

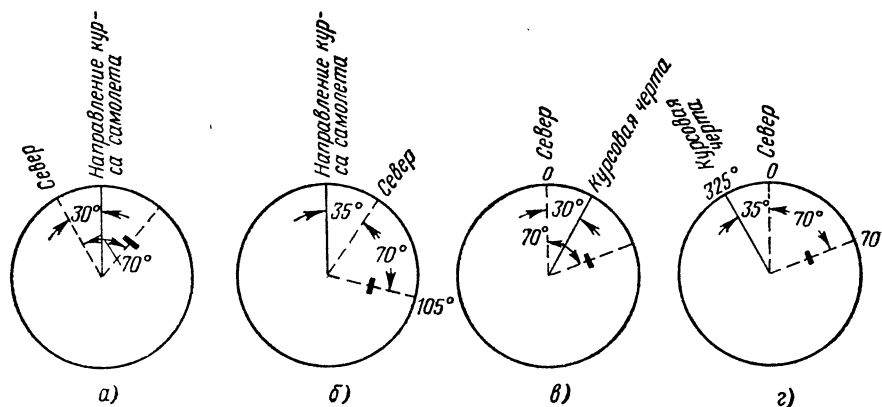
В каскаде калибрационных импульсов одномоментные импульсы задерживаются на такую же величину, как импульсы передатчика относительно начала развертки, когда в счетно-решающем устройстве установлена высота «0» и выключена ступенчатая задержка. Для этого сначала переключатель калибровки П1 ставят в положение «3» («высота»), и тогда на вход усилителя совпадений через плату переключателя П1,а подключается каскад задержки калибрационных импульсов, а через плату П1,б — генератор импульсов запуска развертки; выход усилителя совпадений через плату П1,в соединяется с усилителем индикации, и одновременно с помощью платы П1,г выход каскада делителя частоты соединяется непосредственно с фантастроном плавной задержки. Таким образом, независимо от положения переключателя П2 исключается ступенчатая задержка развертки. После этого ручкой «Установка высоты»

устанавливают высоту «0», т. е. снимается также плавная задержка развертки. Следовательно, если бы задержка в запуске передатчика была компенсирована калиброванной задержкой одноименного импульса, то отметка зондирующего импульса оказалась бы в центре экрана. Этого добиваются регулировкой задержки калиброванных импульсов.

Калибровка шкалы высоты в счетно-решающем устройстве производится на основании того, что при повороте ручки «Установка высоты» от начального положения на величину, кратную одной миле, импульсы запуска развертки и одноименные калибрационные импульсы должны совпадать во времени. В результате этого на выходе усилителя совпадений должны появляться импульсы, которые после усиления вызывают притухание индикаторной лампы. Если совпадение импульсов не происходит и индикаторная лампа не притухает, то этого добиваются соответствующей регулировкой схемы в счетно-решающем устройстве.

Фиг. 198. Экран индикатора панорамной радиолокационной станции.

Аналогично производят калибровку шкалы дальности. Переключатель калибровки П2 ставят в положение «2» («Дальность»). Этим вместо генератора импульсов запуска развертки к усилителю совпадений подключают генератор измерительной метки. Затем на шкале дальности устанавливают 0, 1, 2, 3... мили, доби-



Фиг. 199. Изображение на экране индикатора в отсутствии (а, б) и при наличии (в, г) азимутальной стабилизации.

ваясь соответствующими элементами регулировки счетно-решающего устройства притухания индикаторной лампы.

7. Измерение азимута в некоторых панорамных радиолокационных станциях производят при помощи поворотного прозрачного

диска с нанесенной на нем азимутальной линией, как показано на фиг. 198. Эту линию следует совместить с отметкой цели, а затем по шкале, опоясывающей экран, отсчитать азимут. Так как азимутальная шкала находится на некотором расстоянии от флуоресцирующего экрана, то такой способ измерения дальности связан с погрешностями за счет параллакса.

Более совершенным способом является применение электрических меток азимута.

По ИКО можно определить не только азимут цели, но и курс самолета, т. е. угол между направлением полета (продольной осью самолета) и направлением на север. Для этого в момент прохождения максимума диаграммы направленности антенны через продольную ось самолета на трубку индикатора подается импульс, который создает на экране отметки в виде яркой линии, называемой *курсовой чертой* (отметкой курса).

Положение курсовой черты на экране трубки зависит от того, применяется ли *схема азимутальной стабилизации*. Допустим, что эта схема не применяется. В таком случае курсовая черта неизменно располагается вертикально вверх от центра экрана, и если, скажем, самолет изменит курс с  $30^\circ$  на  $-35^\circ$  ( $+325^\circ$ ), то отметка объекта, имеющего абсолютный азимут  $70^\circ$ , повернется по часовой стрелке в положение  $+105^\circ$  относительно курсовой черты (фиг. 199, а, б).

При азимутальной стабилизации неизменным на экране поддерживается направление на север. Оно соответствует положению курсовой черты в отсутствии азимутальной стабилизации. Благодаря этому изменение курса, приведенное в данном примере, вызовет лишь вращение курсовой черты против часовой стрелки из положения  $30^\circ$  в положение  $325^\circ$  по азимутальной шкале, а отметка цели на экране не смещается (фиг. 199, в, г).

Таким образом, азимутальная стабилизация позволяет избежать смазывания изображения на экране трубки, которое получается при изменении курса самолета и рыскании его, и тем самым дает возможность в любых условиях измерять азимут и курс самолета.

## **Г. Передатчики самолетных панорамных радиолокационных станций**

Передатчикам самолетных панорамных радиолокаторов присущи следующие особенности:

а) Передатчик самолетной панорамной радиолокационной станции должен быть рассчитан на генерирование импульсов различной длительности, а поэтому модулирующее устройство должно быть гибким в формировании импульсов и содержать подмодулятор.

б) Модулятор в передатчиках панорамных радиолокаторов работает в режиме усиления по напряжению и мощности. Схема его должна быть подчинена получению высокого к. п. д. и жестким требованиям, предъявляемым к форме импульса, модулирующего магнетронный генератор. Сравнительно большая мощность передатчика повышает роль к. п. д. модулятора в уменьшении веса и габаритов источников питания, а следовательно, и всей станции.



в) Этим требованиям наиболее полно удовлетворяет схема модулятора с частичным разрядом накопительной емкости и электронной лампой в качестве коммутирующего прибора. При соответствующем импульсе подмодулятора импульс такого модулятора имеет большую крутизну фронта и среза и достаточно плоскую вершину. К. п. д. модулятора с частичным разрядом накопительной емкости высокий.

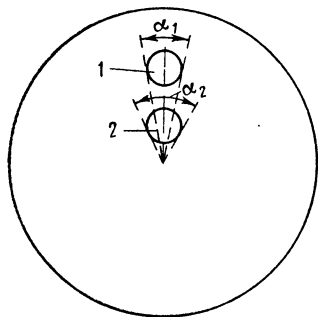
Применение модуляторов с импульсными трансформаторами нежелательно, так как они трудны в изготовлении (амплитуда импульса велика) и вносят искажения в модулирующий импульс.

В качестве лампы модулятора обычно используются тетроды. Они выгодно отличаются от триодов более слабой зависимостью анодного тока от анодного напряжения, благодаря чему удается сохранить постоянным ток модулятора во время формирования импульса, и большей крутизной характеристики, позволяющей уменьшить амплитуду возбуждения. Пентоды в данном случае не используются из-за их большого внутреннего сопротивления.

г) Существенным является выбор схемы высоковольтного выпрямителя. Благодаря тому, что самолетные радиолокационные станции питаются от сети переменного тока повышенной частоты ( $\geq 400$  гц), можно, не опасаясь значительных пульсаций выпрямленного напряжения, применить схему удвоения напряжения. Это дает возможность уменьшить габариты высоковольтного трансформатора и вдвое уменьшить напряжение на каждом конденсаторе фильтра.

#### Д. Автоматическая регулировка в самолетных панорамных радиолокационных станциях

Временная автоматическая регулировка усиления (ВАРУ). Косекансная диаграмма направленности антенны в лучшем случае обеспечивает независимость мощности сигнала на входе приемника от наклонной дальности объекта. Однако этого



Фиг. 200. Увеличение угловой ширины светового пятна с приближением к центру экрана от его периферии.

недостаточно для получения одинаковой яркости отметок объектов, которые имеют одинаковую отражающую поверхность, но различную координату дальности. Причину такого явления можно уяснить из фиг. 200: световое пятно 2 ближе к центру экрана, чем пятно 1, а потому при равном диаметре пятен их угловая ширина получается неодинаковой —  $\alpha_2 > \alpha_1$ ; в результате по мере удаления от центра экрана к его периферии линии радиальной развертки перекрывают друг друга все меньше и соответственно уменьшается яркость экрана.

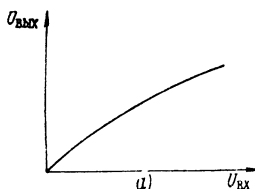
ВАРУ и предназначено для того, чтобы устранить это явление путем непрерывного увеличения усиления приемника

в течение всего периода следования, начиная с момента окончания импульса передатчика.

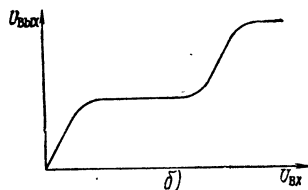
Схема ВАРУ представляет собой генератор экспоненциального напряжения. Запуск схемы происходит одновременно с запуском передатчика. Экспоненциально изменяющееся напряжение снимается с выхода генератора и в отрицательной полярности подается на управляющие сетки УПЧ. Во время действия пускового импульса конденсатор генератора заряжается, после чего следует экспоненциальный разряд конденсатора. Соответственно вслед за импульсом передатчика возрастает усиление приемника и можно установить одинаковые условия индикации на всем диапазоне дальности. Таким образом устраняется засвечивание в середине экрана.

**Тре́хтоновая индикация.** Пределы изменения яркости отметок на экране ИКО невелики (5—8 дб) и значительно меньше пределов изменения амплитуды отраженных сигналов, принимаемых радиолокационной станцией (60—70 дб). В связи с этим изображение на экране индикатора получается не контрастным. Для повышения контрастности изображения применяют трехтоновую индикацию, осуществляемую изменением амплитудной характеристики видеоусилителя.

Обычно стремятся к тому, чтобы видеоусилитель имел амплитудную характеристику  $U_{\text{вых}} = k(U_{\text{вх}})$  в виде прямой линии, проходящей через начало координат (фиг. 201, а). При такой характеристике во всем рабочем диапазоне изменений входного напряжения соблюдается прямая пропорциональность между амплитудами выходного и входного напряжений видеоусилителя.



Тре́хтоновую индикацию можно получить введением в схему видеоусилителя трех ограничителей: низкого, среднего и высокого уровней. При помощи этих ограничителей амплитудная характеристика видеоусилителя (фиг. 201, б) получается такой, что отметки на экране делятся по яркости на три градации: города и большие объекты изображаются с предельно большой яркостью, отражение от земли создает очень слабое свечение, а отметки остальных объектов имеют среднюю яркость. В результате получается весьма контрастное изображение на экране трубки.



Фиг. 201. Амплитудная характеристика видеоусилителя при обычной индикации (а) и при трехтоновой (б).

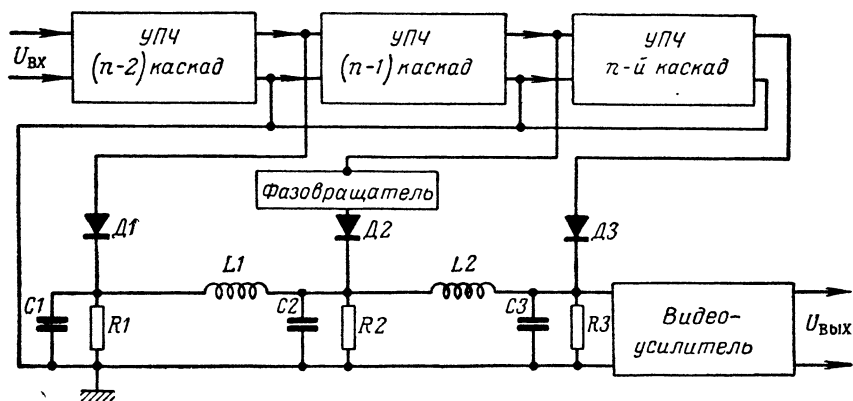
УПЧ с логарифмической амплитудной характеристикой. Диапазон изменения амплитуды сигналов, подводимых к индикатору, может быть значительно уменьшен другим способом — созданием такой амплитудной характеристики УПЧ, которая подчинялась бы логарифмическому закону (см. фиг. 64).

При логарифмической амплитудной характеристике усиление УПЧ не снижается до тех пор, пока принимаемый сигнал не превысил уровень собственных шумов приемника, а при более интенсивных сигналах коэффициент усиления УПЧ уменьшается по логарифмическому закону.

На фиг. 202 показан один из возможных вариантов схемы регулировки усиления УПЧ по логарифмическому закону.

Имеется  $n$  каскадов УПЧ. Выходное напряжение каждого каскада подается на детекторы Д1, Д2, Д3, ... На нагрузочных сопротивлениях детекторов R1, R2, R3, ... выделяются видеоимпульсы, которые суммируются на сопротивлении R3. Для того чтобы полученные видеоимпульсы одновременно поступали на видеоусилитель, предусмотрена искусственная линия C1, L1; C2, L2, C3, ..., каждое звено которой задерживает видеоимпульс на время прохождения сигнала в одном каскаде УПЧ; кроме того, между выходом  $n-1$ ,  $n-3$ , ... каскадов и соответствующими детекторами включены фазовращатели, каждый из которых компенсирует сдвиг по фазе на  $180^\circ$  между выходными импульсами данного и предыдущего каскадов УПЧ.

Схема действует в такой последовательности. Когда амплитуда входного сигнала меньше  $U'_{\text{твх}}$ , то все каскады УПЧ работают с максимальным усилением и выпрямленные напряжения на сопро-



Фиг. 202. Функциональная схема УПЧ с логарифмической амплитудной характеристикой.

тивлениях R1, R2, R3 возрастают прямо пропорционально амплитуде входного напряжения. Если эта амплитуда превышает  $U'_{\text{твх}}$ , то выходной ( $n$ -й) каскад УПЧ перегружается, ток детектора Д3 не увеличивается и рост напряжения на входе видеоусилителя замедляется.

Дальнейшее повышение входного напряжения сопровождается последовательной перегрузкой  $n-1$ ,  $n-2$  и т. д. каскадов. Соответственно уменьшается рост токов детекторов Д2, Д1 и выходного напряжения усилителя. Следовательно, по мере увеличения ампли-

туды входного напряжения общий коэффициент УПЧ уменьшается. Соответствующим подбором режимов отдельных каскадов УПЧ можно добиться требуемой логарифмической амплитудной характеристики.

**Автоматическая подстройка частоты.** Генераторы СВЧ передатчиков и гетеродины приемников радиолокационных станций не работают настолько стабильно, чтобы обеспечить постоянство промежуточной частоты. Это нарушает условия приема. Особенно велика нестабильность частоты магнетронного генератора, который, в частности, используется в передатчиках самолетных панорамных радиолокационных станций. Значительное изменение промежуточной частоты может быть вызвано изменением параметров колебательной цепи гетеродина вследствие непостоянства температуры и давления окружающей среды, механических вибраций и других дестабилизирующих факторов. Иногда отклонение частот колебаний генератора СВЧ и гетеродина настолько велико, что спектр импульсов промежуточной частоты оказывается вне полосы пропускания УПЧ приемника и тогда прием полностью прекращается. Поэтому во всех самолетных панорамных радиолокационных станциях применяется автоматическая подстройка частоты (АПЧ).

На вход схемы АПЧ подаются импульсы промежуточной частоты, полученные в результате преобразования импульсов передатчика, после значительного снижения их мощности. Если это снижение происходит в антенном переключателе, а преобразование в импульсы промежуточной частоты и их усиление осуществляются в тех же каскадах, которые входят в основной канал приемника, то такая система АПЧ называется совмещенной.

Совмещенная система АПЧ несовершенна. Дело в том, что начальный пик, возникающий при просачивании импульса передатчика через антенный переключатель, оказывает влияние на форму и спектр видеоимпульса, который получается в результате детектирования радиоимпульса в смесителе. Изменения спектра видеоимпульса при большой длительности пика получаются значительными, и это существенно влияет на величину управляющего напряжения схемы АПЧ, а следовательно, и на частоту колебаний гетеродина. К тому же мощность, просачивающаяся через антенный переключатель, может оказаться излишней для нормальной настройки гетеродина.

Более совершенной является несовмещенная система АПЧ, в которой канал АПЧ отделен от основного канала приема, и начинается с аттенюатора, понижающего мощность, подводимую к нему непосредственно от передатчика. Благодаря этому можно установить требуемую мощность радиоимпульса на входе канала АПЧ, и его работа не нарушается из-за начального пика, который наблюдался в импульсах, поступающих на вход приемника с совмещенной АПЧ.

В самолетных панорамных радиолокационных станциях, кроме автоподстройки частоты, происходящей во время приема сигналов,

отраженных от объектов, возможна автоподстройка для приема импульсных сигналов радиомаяков. Поскольку передатчики радиолокатора и маяка работают на разных частотах, гетеродины для сигналов маяка и радиолокатора настраиваются на разные частоты. Следовательно, требуются отдельные схемы АПЧ для воздействия на эти гетеродины.

Если схема АПЧ для приема сигналов радиолокатора имеется в любой самолетной панорамной станции, то схема АПЧ для приема сигналов маяка встречается реже. Это объясняется тем, что так как маяк находится на земле, то в его передатчике независимо от самолетного панорамного радиолокатора применяются достаточно совершенные методы стабилизации частоты, стало быть, остается лишь стабилизировать частоту гетеродина. Второй особенностью схем АПЧ для приема сигналов маяка является то, что в них невозможно применить принцип сопоставления частот колебаний гетеродина и передатчика, поскольку ответные сигналы маяка могут длительное время отсутствовать. Несмотря на это, гетеродин должен быть готов для их приема. Поэтому схема работает по системе абсолютной, а не разностной частоты, т. е. схема АПЧ подгоняет частоту гетеродина под резонансную частоту эталонного высокочастотного контура.

В самолетных радиолокационных станциях наряду с автоматической подстройкой частоты используется ручная регулировка.

### **Е. Навигация при помощи панорамных радиолокационных станций**

Изображение, получаемое на экране самолетной панорамной радиолокационной станции, имеет ряд особенностей, которые должны быть хорошо известны операторам панорамных радиолокаторов.

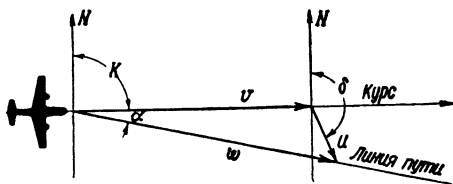
Наиболее отчетливо на экране индикатора видны границы между водой и сушей. Гладкая водная поверхность дает зеркальное отражение, а земная поверхность, поскольку она неровная и по характеру неоднородная, отражает падающие волны во всех направлениях.

Этим объясняется то, что энергия волн, облучающих водную поверхность, обратно в антенну обычно не возвращается, тогда как волны, рассеянные земной поверхностью, частично попадают в антенну во время приема. В результате водная поверхность изображается на экране в виде темных пятен, а земная поверхность — в виде более или менее ярких массивов. В этих массивах возможно распознавать отдельные ориентиры, так как отражение электромагнитной энергии происходит более интенсивно от возвышенных участков земной поверхности или от предметов, обладающих высокой электрической проводимостью. При достаточно высокой разрешающей способности станции ориентирами на индикаторе могут служить конфигурация светового пятна, характерная для того или иного города, деревни, взаимное расположение световых

пятен, изображение шоссейных и железных дорог, лесов, взлетно-посадочных полос аэродромов и т. д.

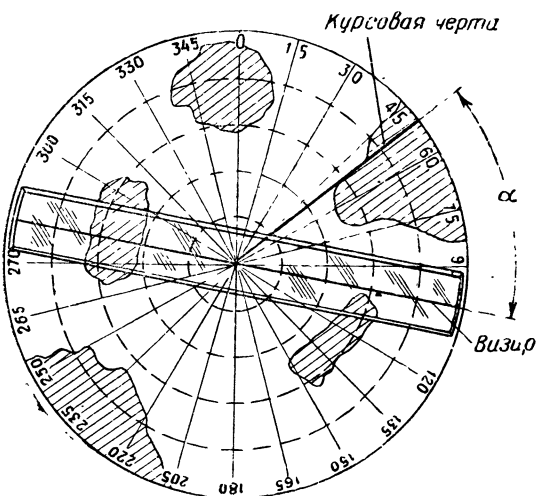
Большое влияние на характер изображения земных ориентиров имеет угол падения на них электромагнитных волн. Поэтому один и тот же участок земной поверхности изображается на экране индикатора по-разному, в зависимости от расположения самолета относительно этого участка.

При самолетовождении необходимо иметь в виду, что под влиянием ветра самолет отклоняется от своего курса. Познакомимся с важнейшими навигационными элементами полета самолета (фиг. 203):



Фиг. 203. Основные элементы движения самолета.

а) курс самолета  $K$  — угол между продольной осью самолета и направлением на север; б) воздушная скорость  $v$  — скорость движения самолета по курсу; в) направление ветра — угол  $\delta$  между вектором скорости ветра  $u$  и направлением на север; г) линия пути — траектория действительного движения самолета; д) путевая скорость  $w$  — скорость движения самолета по линии пути; эта скорость равна геометрической сумме скоростей воздушной и ветра ( $w = v + u$ ); е) угол сноса  $\alpha$  — угол между векторами путевой и воздушной скорости.



Фиг. 204. Определение угла сноса по изображению на экране индикатора панорамной радиолокационной станции.

Очевидно, что для самолетовождения необходимо знать, кроме координат самолета, его путевую скорость и угол сноса. Эти элементы можно определить по взаимному расположению линии курса и линии пути на экране панорамной радиолокационной станции (фиг. 204).

Линия курса, как известно, изображается на экране яркой линией, а линия пути совпадает с визирной линией при условии, что визир повернут вокруг центра экрана так,

что наземные ориентиры во время полета самолета перемещаются параллельно визирной линии. Угол сноса вычисляется по азимутальной шкале индикатора как угол между курсовой чертой и визирной линией. Так как на экране трубки имеются калибрационные



включением бомбосбрасывателя в момент совпадения метки с отметкой цели.

## § 2. ТАКТИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ СТАНЦИЙ Н<sub>2</sub>Х

Тактические данные. Станции Н<sub>2</sub>Х\* дают на экране индикатора кругового обзора радиолокационное изображение земной и водной поверхности и объектов, находящихся на них.

Дальность обнаружения крупных городов до 180 км, крупных кораблей до 130 км, непогруженных подводных лодок до 50 км.

Станции позволяют решать навигационные задачи по ответным сигналам импульсных радиомаяков. В этом случае дальность действия достигает 450 км.

Станции измеряют высоту, превышающую 3000 м. Обзор земной поверхности может быть круговым или секторным.

### Технические данные

Длина волны . . . . .	$\lambda = 3,2 \text{ см}$ ( $f = 9375 \text{ Мгц}$ )
Мощность передатчика в импульсе . . . . .	$P_{\text{и}} = 50 \text{ квт}$
Длительность импульса . . . . .	$\tau = 0,5; 1; 2 \text{ мксек}$ при частоте следования соответственно $F_0 = 1300; 650; 325 \text{ имп/сек}$

Антенна—с параболическим отражателем диаметром  $d \approx 75 \text{ см}$  и козырьком, предназначенным для получения косекансной диаграммы.

Диаграмма направленности антенны в горизонтальной плоскости имеет ширину  $2\varphi \approx 3^\circ$ , а в вертикальной плоскости подчиняется закону  $\cos \sec^2 \delta$ , где  $\delta$  — угол места.

Скорость вращения антенны при круговом обзоре 12 или 25 об/мин. Наклон антенны можно по желанию изменять в пределах  $\pm 20^\circ$ .

Имеются различные масштабы и задержки развертки; предусмотрена ступенчатая задержка развертки от 0 до 200 миль (360 км) через каждые 10 миль (18 км) и плавная в необходимых пределах.

Счетно-решающее устройство обеспечивает точное бомбометание с высоты более 4500 м.

Приемник имеет коэффициент шума  $N_{\text{ш}} = 15 \text{ дб}$  и полосу пропускания  $\Delta f = 2 \div 3 \text{ Мгц}$ .

В станциях предусмотрена азимутальная стабилизация изображения.

Питание станции производится непосредственно от бортовой сети постоянного тока 27 в и при помощи преобразователя этого тока в переменный ток повышенной частоты.

Перечисленные тактико-технические данные станций обобщены при общей характеристике самолетных панорамных радио-

---

\* Станции Н<sub>2</sub>Х были выпущены в двух вариантах — APQ-13 и APS-15. В дальнейшем описывается станция APS-15.



локаторов. Следует лишь остановиться на некоторых параметрах станций.

В связи с высокой скоростью современных бомбардировщиков и транспортных самолетов для решения навигационных задач и подготовки к бомбометанию необходимо получить на экране ИКО отчетливое радиолокационное изображение объектов, удаленных на максимально возможное расстояние. Для этого требуются большая импульсная мощность передатчика, высокая чувствительность приемника, большой коэффициент усиления антенны и большая длительность импульса.

Коэффициент усиления антенны в данном случае может увеличиваться только за счет сужения ее диаграммы направленности в горизонтальной плоскости, поскольку диаграмма направленности в вертикальной плоскости, как было доказано, должна быть широкой и подчиняться закону  $\cos^2 \delta$ . Уменьшение ширины диаграммы направленности антенны в горизонтальной плоскости, кроме того, желательно с точки зрения повышения разрешающей способности станции по азимуту.

Реализация этого требования определяется длиной волны радиоимпульсов  $\lambda$  и размерами антенны. Длина волны должна быть как можно короче для уменьшения ширины диаграммы направленности антенны при неизменных размерах ее. Минимальная граница применяемой длины волны определяется главным образом тем, что ее уменьшение при переходе к миллиметровым волнам связано со значительным возрастанием потерь электромагнитной энергии при ее распространении.

Длина волны  $\lambda = 3,2$  см и мощность в импульсе  $P_{\text{и}} = 50$  квт, установленные для станции Н<sub>2</sub>Х, явились предельными параметрами, достигнутыми в разработке многокамерных магнетронов к моменту проектирования станций.

Увеличение горизонтального размера антенны, необходимое для сужения диаграммы направленности в горизонтальной плоскости, ограничивается возможностями размещения антенны на самолете, усложнением ее конструкции и увеличением аэродинамического сопротивления части антенны, которая выступает за пределы фюзеляжа самолета. В станциях Н<sub>2</sub>Х антенна имеет рефлектор в виде параболоида вращения большого диаметра  $d = 73$  см. Это и определило при выбранной длине волны ширину диаграммы направленности антенны в горизонтальной плоскости:

$$2\varphi' = 70 \left( \frac{\lambda}{d} \right) = 70 \left( \frac{3,2}{73} \right) = 3^\circ.$$

Требуемая диаграмма направленности антенны в вертикальной плоскости ( $\cos^2 \delta$ ) в данном случае достигается посредством дополнительного козырька, смонтированного на параболоиде. Такое решение не следует считать удачным, так как большая ширина диаграммы направленности в вертикальной плоскости дает возможность уменьшить вертикальный размер антенны. Эта возможность, например, реализуется применением линейного облучателя и ци-

линдрического зеркала соответствующего профиля, вертикальный размер которого в несколько раз меньше горизонтального.

Частота следования импульсов должна быть выбрана в соответствии с максимальной измеряемой дальностью и скоростью вращения антенны.

В режиме «Маяк» установлена частота следования импульсов  $F_0 = 325$  имп/сек. Это ограничивает максимальную дальность величиной

$$D_{\max} = \frac{c}{2F_0} = \frac{3 \cdot 10^8}{2 \cdot 325} = 462 \text{ км};$$

частота следования в режиме «Поиск»  $F_0 = 650$  имп/сек определяет собой

$$D_{\max} = \frac{c}{2F_0} = \frac{3 \cdot 10^8}{2 \cdot 650} = 231 \text{ км},$$

а установленная для режима «Бомбометание»  $F_0 = 1300$  имп/сек ограничивает максимальную дальность величиной

$$D_{\max} = \frac{3 \cdot 10^8}{2 \cdot 1300} = 115,5 \text{ км}.$$

В действительности  $D_{\max}$  несколько меньше, так как расчет произведен по формуле, не учитывающей время обратного хода радиальной развертки.

Теперь проверим, обеспечивают ли выбранные значения частот следования импульсов необходимое число импульсов  $N$ , облучающих объект за один оборот антенны. Эту проверку следует произвести с учетом ширины диаграммы направленности антенны в горизонтальной плоскости  $2\varphi' = 3^\circ$  для максимальной скорости вращения антенны:

$$n = 24 \text{ об/мин} = \frac{24 \cdot 360}{60} = 144^\circ/\text{сек}.$$

Число импульсов  $N$ :  
для  $F_0 = 325$  имп/сек

$$N = \frac{F_0 \cdot 2\varphi'}{n} = \frac{325 \cdot 3}{144} \approx 7;$$

для  $F_0 = 650$  имп/сек

$$N = \frac{F_0 \cdot 2\varphi'}{n} = \frac{650 \cdot 3}{144} \approx 14$$

и для  $F_0 = 1300$  имп/сек

$$N = \frac{1300 \cdot 3}{144} = 27.$$

Как видно, минимально допустимое число импульсов, облучающих объект за один оборот антенны,  $N = 4 \div 10$  обеспечивается. Тем не менее желательно увеличить это число. Такая возможность имеется: в режиме «Маяк» и при поиске дальних объектов перехо-

дят к пониженной скорости вращения  $n=12$  об/мин, а в режиме бомбометания и при поиске ближних объектов используют секторный обзор.

Длительность импульсов при данной частоте их следования должна быть выбрана с учетом того, что магнетронный генератор рассчитан на получение требуемой импульсной мощности при определенной скважности  $Q$ . В случае приема сигналов «Маяка» длительность импульса  $\tau=2$  мксек, в режиме поиска  $\tau=1$  мксек, а в режиме бомбометания  $\tau=0,35$  мксек. Легко заметить, что при переходе с одного режима на другой частота следования импульсов изменяется обратно пропорционально длительности импульсов. Следовательно, скважность импульсов во всех режимах работы станции одна и та же:

$$Q = \frac{1}{F_0 \tau} = \frac{10^6}{325 \cdot 2} = \frac{10^6}{650 \cdot 1} = \frac{10^6}{1300 \cdot 0,5} = 1540.$$

Это и требуется для постоянства нагрузки магнетронного генератора и его импульсной мощности.

4. Проверим, в какой мере чувствительность приемника обеспечивает возможность получения заданной дальности действия станции. Исходными величинами являются коэффициент шума и полоса пропускания приемника. Согласно тактико-техническим данным станций коэффициент шума  $N_{ш}=15$  дб (32 раза). Что касается полосы пропускания  $\Delta f=2 \div 3$  Мгц, то она находится в соответствии с формулой, выведенной из расчета максимальной чувствительности приемника:

$$\Delta f = \frac{1}{\tau} + \Delta f_x,$$

где  $\tau$  — минимальная длительность импульса;

$\Delta f_x$  — запас полосы пропускания, равный удвоенной погрешности настройки АПЧ.

В данном случае  $\tau=0,5$  мксек,  $\Delta f=0,5$  Мгц, и полоса пропускания

$$\Delta f = \frac{1}{\tau} + \Delta f_x = \frac{1}{0,5} + 0,5 = 2,5 \text{ Мгц.}$$

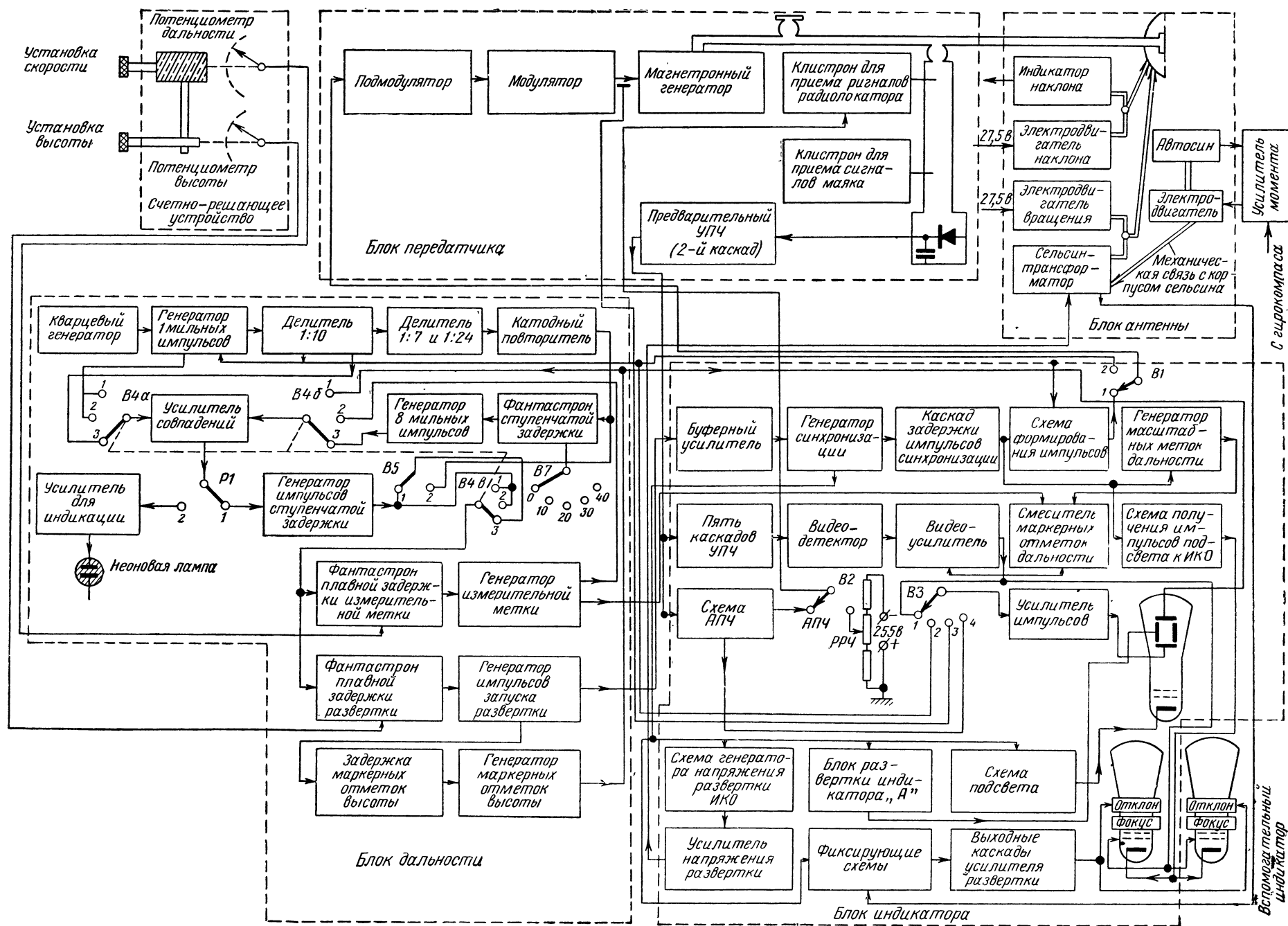
Чувствительность приемника при установленных значениях коэффициента шума  $N_{ш}=32$  и полосе пропускания  $\Delta f=3$  Мгц равна

$$P_{с \text{ min}} = 4 \cdot 10^{-21} \Delta f N_{ш} = 4 \cdot 10^{-21} \cdot 3 \cdot 10^6 \cdot 32 = 3,84 \cdot 10^{-13} \text{ вт.}$$

5. Наличие нескольких масштабов развертки позволяет повысить точность определения координат в диапазонах малых дальностей, а наличие ступенчатой и плавной задержки дает возможность установить наиболее приемлемый режим индикации.

Применение АПЧ и азимутальной стабилизации в панорамных радиолокаторах было обосновано выше.

В заключение отметим, что станции  $H_2X$  не удовлетворяют современным требованиям, предъявляемым к самолетным панорам-



Фиг. 206. Блок-схема самолетной панорамной радиолокационной станции APS-15.

ным радиолокационным станциям. В них не использованы возможности, которые предоставляет современная радиолокационная техника для борьбы с активными и пассивными помехами, не предусмотрены гиперболическая развертка, логарифмическая амплитудная характеристика УПЧ, отсутствует ВАРУ, применяется смещенная схема АПЧ вместо более совершенной — несмещенной, не использована возможность улучшения индикации с помощью секторных индикаторов и индикаторов типа В, не все возможности использованы для повышения чувствительности приемника, не применяются малогабаритные лампы и другие детали и т. д.

### **§ 3. БЛОК-СХЕМА САМОЛЕТНОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ APS-15**

Рассмотрим блок-схему станции, представленную на фиг. 206.

Основными блоками станции являются: передатчик, антенное устройство, блок дальности, счетно-решающее устройство и блок индикатора. Последний содержит в своем составе два отметчика: кругового обзора и типа А. Кроме того, на блок-схеме показаны вспомогательный индикатор кругового обзора, дублирующий основной индикатор того же типа, и усилитель момента, входящий в систему азимутальной стабилизации изображения на экране ИКО. Индикатор типа А предназначен для контроля работы станции и измерения высоты самолета.

Блок дальности используется только при бомбометании и точной навигации. Для того чтобы станция работала без блока дальности, переключатель В1, расположенный в блоке индикатора, ставится в положение «1». В таком случае задающим каскадом становится генератор синхронизации, включенный по схеме мульти-вibratorа, а буферный каскад изолирует мультивibrator от блока дальности.

Прямоугольные импульсы генератора синхронизации задерживаются в специальном каскаде на 12—25 мксек, после чего они поступают в схему формирования импульсов запуска передатчика. Схема передатчика начинается с подмодулятора, где импульсы постоянного тока формируются по длительности. Эти импульсы усиливаются по напряжению и мощности в модуляторе, после чего они запускают магнетронный генератор.

Генерируемые радиоимпульсы через волновод поступают в антенну и излучаются ею в виде электромагнитных волн. Антенна от соответствующих двигателей вращается по азимуту и в случае необходимости наклоняется по углу места. Наклон антенны контролируется индикатором наклона. Таким образом, земная поверхность под самолетом облучается электромагнитными волнами. Вместе с тем генератор синхронизации непосредственно запускает генератор напряжения развертки ИКО, блок развертки индикатора типа А и схему подсвета того же индикатора. Следовательно, развертка индикаторов начинается до запуска передатчика. Благодаря этому начальный нелинейный участок развертки не используется и индикатор станции работает в режиме с открытым центром.

В станции APS-15 радиально-круговая развертка получается с помощью сельсина-трансформатора при неподвижных отклоняющих катушках. Такой способ осуществления радиально-круговой развертки описан в гл. II, § 10. Полученные в генераторе напряжения развертки пилообразные импульсы имеют постоянную амплитуду. Они усиливаются в следующем каскаде, а затем подаются на роторные обмотки сельсина-трансформатора, благодаря чему на двух статорных обмотках сельсина получают пилообразные импульсы, амплитуды которых изменяются по законам синуса и косинуса угла поворота антенны. После этой модуляции импульсы развертки возвращаются в блок индикатора, где они проходят через фиксирующие схемы и выходные усилительные каскады, нагруженные на отклоняющие катушки ИКО. В результате в индикаторе кругового обзора получается радиально-круговая развертка.

Принятые антенной отраженные радиоимпульсы проходят волноводный канал и через разрядник защиты приемника РЗП поступают в кристаллический смеситель. Сюда же подаются непрерывные колебания от одного из двух клистронных гетеродинов. Один из них работает в режимах поиска и бомбометания, а другой — в режиме работы на маяк.

На выходе кристаллического смесителя получают импульсы промежуточной частоты  $f_{пр} = 30 \text{ Мгц}$ . Они усиливаются в предварительном УПЧ, а затем следуют в блок индикатора, усиливаются в пяти каскадах основного УПЧ, преобразуются в видеоимпульсы и из видеодетектора проходят в видеоусилитель. С выхода этого усилителя видеоимпульсы в положительной полярности подаются на управляющие электроды электронно-лучевых трубок ИКО, в результате чего появляются яркостные отметки.

Экраны трубок ИКО засвечиваются только на время прямого хода радиальной развертки. Для этого предназначена схема получения импульсов подсвета, с выхода которой отрицательные импульсы подаются на катоды трубок индикаторов. Схема запускается задержанными импульсами синхронизации.

Этими же импульсами запускается генератор масштабных меток дальности. Импульсы генератора вводятся в смеситель маркерных отметок дальности, а от него в видеоусилитель. Масштабные метки имеют на экране форму колец, расположенных на равных интервалах относительно кольца передатчика.

Изображение на экране ИКО стабилизируется по азимуту при помощи системы, состоящей из двигателя, механически связанного со статором сельсина-трансформатора, автосина, механически связанного с двигателем, а электрически — с усилителем момента, и усилителя момента, реагирующего на сигнал рассогласования между напряжениями автосина и гирокомпаса или нуль-магнесина. Система работает следующим образом.

Когда самолет изменяет свой курс, то изменяется напряжение, поступающее с гирокомпаса. Возникает сигнал рассогласования с напряжением, поданным с автосина. Этот сигнал усиливается и воздействует на двигатель, а последний поворачивает статор

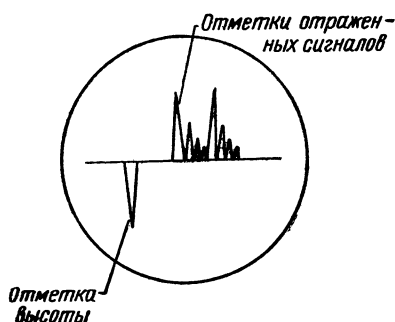
сельсина-трансформатора (в данном случае статор, как и ротор сельсина, может поворачиваться). Огибающая пилообразных импульсов смещается, и линии радиальной развертки поворачиваются до тех пор, пока напряжение автосина не согласуется с напряжением, поступающим с гирокомпас. Такое согласование наступает тогда, когда развертка сместилась на угол изменения курса самолета. В результате направление на север в изображении на экране трубки остается неизменным.

В станции имеется совмещенная схема АПЧ. На вход ее подаются импульсы промежуточной частоты, которые, так же как на основной УПЧ, поступают с общего предварительного УПЧ. Управляющее напряжение, полученное на выходе схемы АПЧ, через переключатель В2, поставленный на контакт «АПЧ», подается на отражатель клистрона приема отраженных сигналов. При ручной регулировке частоты переключатель В2 находится на контакте «РРЧ», и тогда напряжение на отражателе регулируется потенциометром, входящим в делитель напряжения —255 в.

Индикатор типа А имеет электростатическую систему отклонения. Пилообразное напряжение на горизонтально отклоняющие пластины трубки снимается с соответствующего блока развертки. Характер напряжения на одной из вертикально отклоняющих пластин зависит от положения переключателя В3. Если переключатель находится на контакте 1, то на экране индикатора наблюдаются видеоимпульсы, обусловленные отражающими объектами. Когда переключатель поставлен на контакт 2, то на экране индикатора просматриваются одномильные и 10-мильные импульсы. В положении 3 переключателя исследуются импульсы, снятые с модулятора через элемент емкостной связи с ним. Наконец, в положении 4 переключателя контролируются импульсы в схеме АПЧ. Все эти импульсы до поступления на отклоняющую пластину проходят дополнительный усилитель.

При использовании блока дальности переключатель В1 занимает положение 2. Тогда запуск передатчика производится с выхода схемы деления частоты, которая расположена в блоке дальности. Схема состоит из генератора одномильных импульсов, синхронизированного кварцевым генератором, делителей частоты 1 : 10, 1 : 7 (или 1 : 24) и катодного повторителя. Для того чтобы проследить дальнейшее движение импульсов в блоке дальности, следует иметь в виду назначение переключателей, имеющих в блоке. Переключатель В4 имеет три платы (В4а, В4б, В4в) и предназначен для перехода станции с режима калибровки по высоте (контакт 1) в режим калибровки по дальности (2) или нормальный режим работы (3). Переключатель В5 предназначен для подключения (1) или выключения (2) канала ступенчатой задержки перед входом каналов плавной задержки, измерительной метки и развертки. Реле Р1 соединяет выход усилителя совпадений либо с генератором импульсов ступенчатой задержки (1), либо с усилителем для индикации (2). Второе включение производится для калибровки станции.

Допустим, что в станции применяется как плавная, так и ступенчатая задержка. Тогда переключатель В4 находится на контакте 3, а переключатель В5 и реле Р1 — на контактах 1. В таком случае импульсы, снятые со схемы деления частоты, поступают на фантастрон ступенчатой задержки, причем величина этой задержки изменяется скачками переключателем В7. Затем задним фронтом импульсов фантастрона запускается генератор восьмимильных импульсов. Восьмимильные, так же как 10-мильные импульсы, снятые с делителя 1 : 10, подаются на вход усилителя совпадений. В момент их совпадения через контакты реле Р1 запускается генератор импульсов ступенчатой задержки. С этого генератора через переключатели В5 и В4в производится запуск фантастронов плавной задержки измерительной метки и развертки.



Фиг. 207. Изображение на экране трубки индикатора типа А при измерении высоты.

От обоих фантастронов срабатывают соответствующие генераторы. Плавная задержка измерительной метки регулируется потенциометром дальности, а плавная задержка запуска развертки — потенциометром высоты. Оба потенциометра находятся в счетно-решающем устройстве.

Импульсы измерительной метки подаются, во-первых, на смеситель маркерных отметок дальности, находящийся в блоке индикатора, и, во-вторых — на контакт 2 переключателя калибровки В4б. Полученные в смесителе импульсы масштабных и измерительных меток поступают в видеоусилитель и вместе с видеоимпульсами подаются на управляющий электрод трубок ИКО, вызывая на их экранах соответствующие отметки.

Импульсы запуска развертки из блока дальности следуют в буферный усилитель и через него синхронизируют мультивибратор, который при работе станции без блока дальности выполнял функции генератора синхронизации. Дальнейший процесс получения развертки в ИКО ничем не отличается от описанного.

Импульсы запуска развертки, кроме того, используются в блоке дальности для получения маркерных отметок высоты. Между генераторами импульсов запуска развертки и маркерных отметок высоты включен каскад, задерживающий маркерные отметки высоты на 12 мксек (1 миллю). Импульсы этих отметок всегда приложены к одной вертикально отклоняющей пластине индикатора типа А, на которую не подаются контролируемые импульсы. Если же переключатель В3 находится в положении 1, то на другую вертикально отклоняющую пластину подаются видеоимпульсы. Полярность импульсов на обеих пластинах одинаковая, а поэтому отметки высоты и отраженных сигналов расположены по разные стороны от линии развертки (фиг. 207).



Так как отметка высоты имеет постоянную задержку относительно начала развертки, то при вращении ручки «Установка высоты» отметка высоты сохраняет свое положение на экране трубки, а отметки отраженных сигналов смещаются вдоль линии развертки.

На этом принципе основано измерение высоты. Оно производится в такой последовательности. Ручкой «Установка высоты» добиваются получения такой плавной задержки развертки, при которой отметка первого отраженного сигнала совпадает с отметкой высоты, и тогда по величине задержки развертки можно судить о высоте полета самолета. Высота отсчитывается по шкале счетно-решающего устройства, проградуированной с учетом постоянной задержки маркерных отметок высоты.

Для калибровки станции по высоте маркерные отметки высоты подаются на контакт 1 переключателя В46. Калибровка производится по такому же принципу, как и в станции АРQ-13: в момент совпадения одномильных импульсов с импульсами отметки высоты или дальности неоновая индикаторная лампа притухает.

## § 4. БЛОК ДАЛЬНОСТИ

### А. Канал деления частоты

В настоящем параграфе рассматривается блок дальности станции АРS-15. Принципиальная электрическая схема канала деления частоты, входящего в этот блок, изображена на фиг. 208.

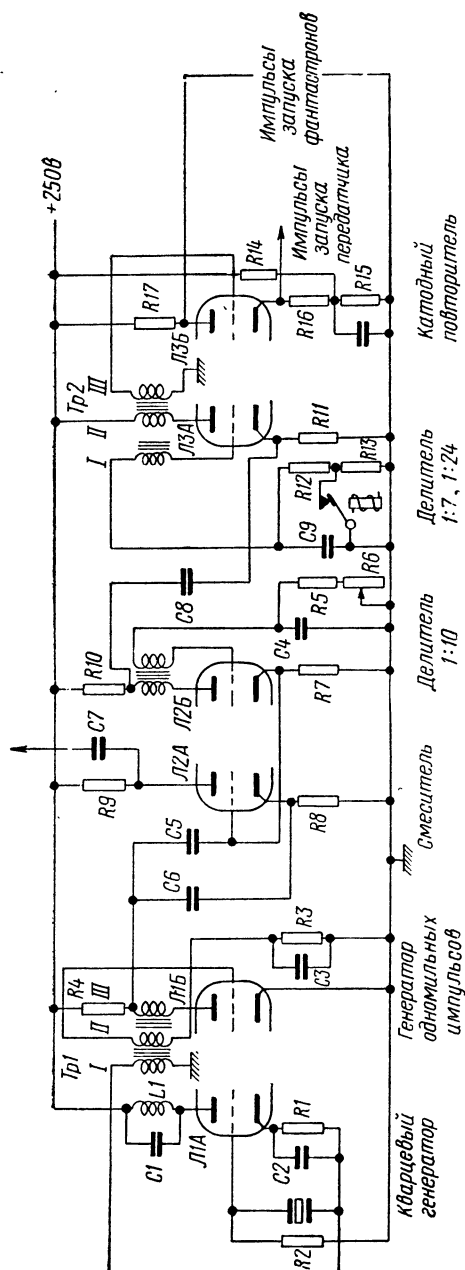
Канал деления частоты состоит из кварцевого генератора (Л1А), генератора одномильных импульсов (Л1Б), смесителя (Л2А), делителя частоты 1 : 10 (Л2Б), делителя частоты 1 : 7 или 1 : 24 (Л3А) и катодного повторителя (Л3Б).

Кварцевый генератор выполнен по широко распространенной схеме с кварцевой пластиной, включенной между сеткой и катодом и анодным контуром L1, C1. Обратная связь осуществляется через емкость сетка—анод лампы. Поэтому для самовозбуждения генератора контур L1, C1 должен иметь эквивалентное сопротивление индуктивного характера, а для этого его собственная частота должна быть больше частоты генерируемых колебаний ( $L1=10\text{ мкн}$ ,  $C1=150\text{ пф}$ ).

Смещение на сетке получается за счет падений напряжения, создаваемых постоянной составляющей катодного тока на сопротивлении R1, блокированном конденсатором C2, и постоянной составляющей сеточного тока на сопротивлении R2. Сопротивления смещения подбираются так, чтобы лампа работала в режиме класса С, т. е. с углом отсечки, меньшим  $90^\circ$ .

В катодную цепь кварцевого генератора включена обмотка I импульсного трансформатора Тр1. Так как эта обмотка не образует колебательной цепи, то ток в ней имеет не колебательный характер, как в контуре L1, C1, а импульсный, как в лампе.

Генератор одномильных импульсов. Через обмотку *II* полученный импульс в положительной полярности трансформируется на управляющую сетку триода Л1Б, включенного в схему блокинг-генератора. Обратная связь в этом генераторе



Фиг. 208. Принципиальная электрическая схема канала деления частоты станции APS-15.

осуществляется благодаря весьма сильной индуктивной связи между обмотками *II* и *III* трансформатора. Гридлик блокинг-генератора R3, C3 имеет такие параметры, что частота его собственных колебаний меньше частоты колебаний кварцевого генератора. Благодаря этому блокинг-генератор синхронизируется импульсами кварцевого генератора. Интервал между этими импульсами соответствует дальности в 1 милю, а поэтому полученные импульсы называются одномильными.

Делитель 1:10 выполнен на триоде Л2Б по схеме блокинг-генератора. Запускается этот блокинг-генератор отрицательными одномильными импульсами, которые снимаются с сопротивления R4 и через конденсатор C5 и сопротивление R7 подаются на катод лампы Л2Б. Постоянная времени элементов гридлика R5, R6, C4 при помощи переменного сопротивления R6 подбирается так, чтобы схема срабатывала от десятого синхронизирующего импульса. В результате получаются импульсы с интервалом, соответствующим дальности в 10 миль.

Смеситель предназначен для контроля правильности деления частоты. На катод лампы смесителя Л2А через цепь C6, R8 подаются отрицательные одно-

милльные импульсы, а к сетке той же лампы приложены положительные 10-милльные импульсы, снятые с сопротивления R7. В результате на анодной нагрузке лампы R9 выделяются те и другие импульсы и через конденсатор C7 подаются в индикатор типа А для наблюдения за работой делителя частоты 1:10.

Следующий делитель частоты (ЛЗА) представляет собой блокинг-генератор, срабатывающий от отрицательных 10-милльных импульсов, снятых с сопротивления R10 через цепь C8, R11 на катод лампы. Коэффициент деления частоты в данном генераторе зависит от постоянной времени гридлика R12, R13, C9. С помощью реле, управляемого переключателем режимов работы станции, сопротивление R13 замыкается накоротко или включается в схему. В первом случае коэффициент деления равен 1:7, а во втором 1:24.

Катодный повторитель (ЛЗБ) является выходным каскадом канала деления частоты. Положительные импульсы с последнего делителя частоты подаются на сетку катодного повторителя посредством обмотки III трансформатора Тр2. Лампа выходного каскада в интервале между импульсами заперта положительным напряжением, создаваемым делителем R14, R15 на катоде лампы. Приходящие импульсы открывают лампу. В результате с катодной нагрузки R16 снимаются положительные импульсы амплитудой 120 в для запуска передатчика, а с сопротивления R17, включенного в анодную цепь, снимаются отрицательные импульсы (—58 в) для запуска фантастронов.

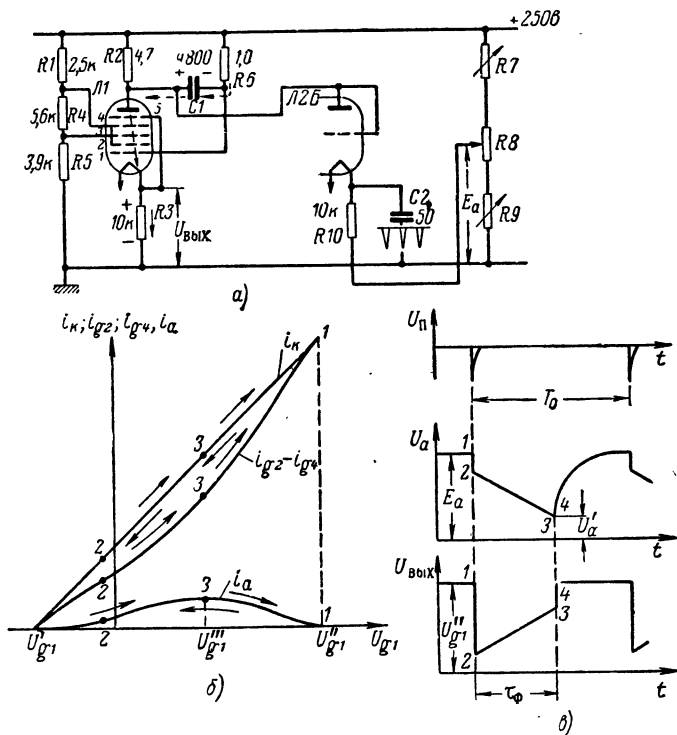
Включение основной нагрузки в катодную цепь потребовалось для того, чтобы устранить влияние кабеля, по которому подаются импульсы запуска передатчика, на форму импульса и ослабить нежелательную связь между делителями частоты и подмодулятором передатчика. Поскольку фантастроны находятся в том же блоке, что и делители частоты, то нет необходимости импульсы запуска фантастронов снимать с катодной нагрузки, а можно для этой цели использовать дополнительную анодную нагрузку.

Во всем канале деления частоты используются только двойные триоды 6SN7.

## Б. Канал ступенчатой задержки

1. Этот канал начинается с фантастрона, выполненного на пентагриде Л1 типа 6SA7 (фиг. 209, а). Схему фантастрона с некоторым приближением можно представить как сочетание двух ламп с соответствующими деталями, образующих мультивибратор с катодной связью. Одна лампа образована катодом, первой сеткой и непосредственно соединенными между собой второй и четвертой сетками, а вторая лампа состоит из катода, третьей сетки и анода. Следовательно, состояние первой лампы определяется токами экранных (второй и четвертой) сеток  $i_{g2} + i_{g4}$ , а состояние второй лампы — анодным током  $i_a$ . Соотношение между этими токами показано на характеристиках лампы (фиг. 209, б).

С увеличением напряжения на первой сетке  $U_{g1}$ , начиная с  $U'_{g1}$  (в описании схемы фантастрона все напряжения, в том числе и  $U_{g1}$ , определяются относительно катода), катодный ток  $i_k$  непрерывно и быстро возрастает. Это вполне понятно: катодный ток является суммой токов всех электродов лампы, и так как первая сетка наиболее близка к катоду, то с увеличением  $U_{g1}$  катодный ток неизменно увеличивается, пока полностью не рассеется пространственный заряд.



Фиг. 209. Фантастрон.

а—принципиальная электрическая схема, б—характеристики лампы, в—временные диаграммы.

Достаточно обратить внимание на величины сопротивлений, включенных в цепи анода и экранных сеток, и учесть большую удаленность анода, чем сеток, от катода, чтобы убедиться в том, что анодный ток значительно меньше токов экранных сеток. Для схемы фантастрона характерно также своеобразное изменение анодного тока с увеличением напряжения на первой сетке. Сначала с увеличением  $U_{g1}$  анодный ток, как и токи экранных сеток, увеличивается, но так как при этом увеличивается катодный ток, то возрастает падение напряжения на сопротивлении  $R3$ , со знаком

минус оно передается на третью сетку, а это тормозит увеличение анодного тока. В точке 3 анодный ток достигает максимума, поскольку дальнейшее увеличение  $U_{g1}$  вызывает столь значительное уменьшение напряжения на третьей сетке, что анодный ток убывает. Наконец, когда напряжение на первой сетке достигает  $U_{g1}^*$ , анодный ток полностью прекращается и весь катодный ток является током экранных сеток (если пренебречь небольшим током первой сетки).

2. Теперь перейдем к непосредственному рассмотрению работы схемы, иллюстрируя ее временными диаграммами (фиг. 209, в).

В исходном состоянии (1) лампа открыта по току экранных сеток и заперта по анодному току. Первое объясняется тем, что первая сетка подключена к источнику +250 в через большое сопротивление R6, вследствие чего напряжение на первой сетке максимально: оно почти равно нулю относительно катода и равно  $U_{g1}^*$  относительно корпуса. Лампа заперта по анодному току потому, что все напряжение  $U_{g1}^*$  подается на третью сетку со знаком минус, а делитель R1, R4, R5 подобран так, чтобы положительного напряжения, снимаемого с сопротивления R5, было недостаточно, чтобы компенсировать  $U_{g1}^*$  и вызвать появление анодного тока.

Так как анодного тока нет, то анодное напряжение фантастрона  $U_a$  максимально: оно равно напряжению  $E_a$ , снимаемому с делителя R7, R8, R9 на катод диода Л2Б. Если бы напряжение на аноде фантастрона было больше, чем  $E_a$ , то в цепи +250 в, R2, анод—катод диода, R10, R8, R9, заземление возник бы ток, который за счет падения напряжения на сопротивлении R2 быстро уменьшил бы анодное напряжение фантастрона до  $E_a$ . Следовательно, в исходном состоянии схемы конденсатор C1 заряжен до напряжения  $U_c = E_a - U_{g1}^*$ . Полярность этого напряжения показана на схеме.

3. Фантастрон запускается отрицательными импульсами  $U_n$ , поступающими с выхода канала деления частоты через конденсатор C2 на катод диода. Под действием этих импульсов диод открывается и напряжение на аноде фантастрона понижается. Возникший перепад напряжения через конденсатор C1 передается на первую сетку и напряжение на ней понижается. Тогда согласно фиг. 209, б катодный ток, а с ним и падение напряжения на сопротивлении R3 уменьшаются. Стало быть, увеличивается напряжение на третьей сетке, анодный ток возрастает, увеличивается падение напряжения на R2, уменьшается анодное напряжение  $U_a$ , а это благодаря конденсатору C1 вызывает еще большее уменьшение  $U_{g1}$ . Таким образом, процесс развивается лавинообразно, но это не приводит к полному запираанию лампы по току экранных сеток при наличии анодного тока. Действительно, если бы токи  $i_{g2} + i_{g4}$  стали равны нулю, то по фиг. 209, б катодный ток должен отсутствовать, но это физически невозможно, поскольку существует анодный ток.

Лавинообразный процесс прекращается в какой-то промежуточной точке 2. Она характеризуется следующими изменениями по

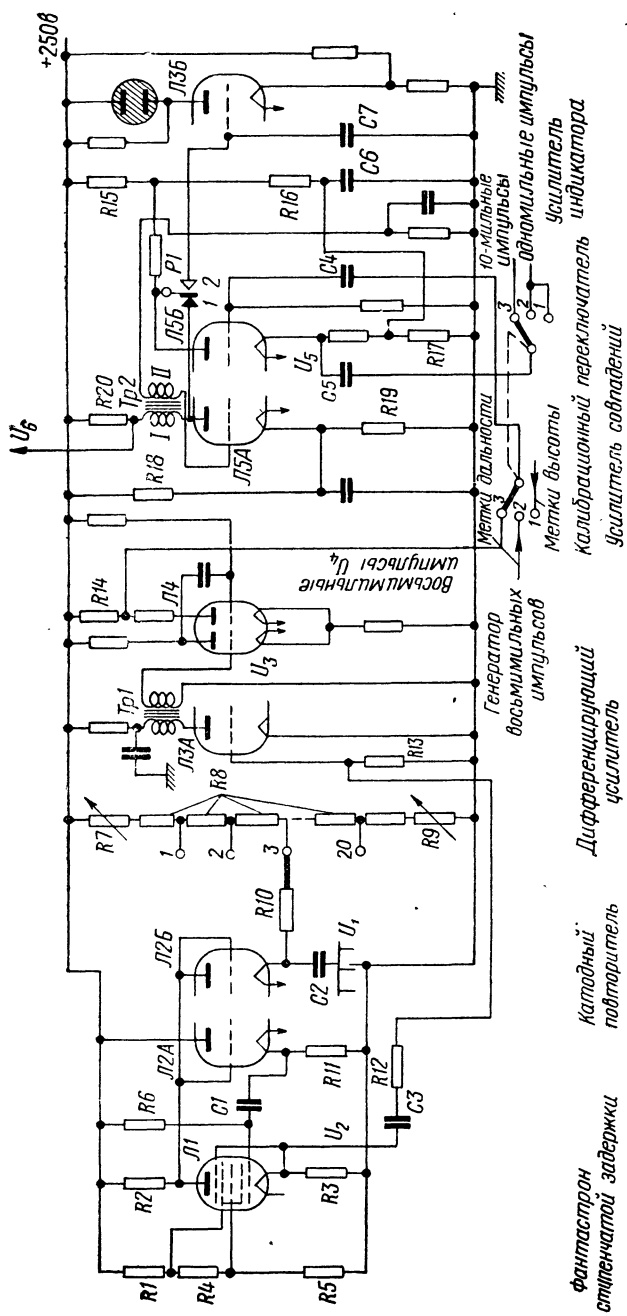
сравнению с исходной точкой 1: а) значительным уменьшением напряжения  $U_{\text{вых}}$ , снимаемого с катодного сопротивления  $R_3$ , вследствие большого понижения катодного тока; б) уменьшением анодного напряжения фантастрона  $U_a$ , обусловленным увеличением анодного тока. В связи с лавинообразным развитием процессов в схеме напряжение на конденсаторе  $C_1$  в течение интервала времени 1—2 практически не изменяется.

4. В момент 2 начинается разряд конденсатора  $C_1$  по цепи, показанной стрелками: анод—катод фантастрона,  $R_3$ , корпус, +250 в,  $R_6$ ,  $C_1$ . По мере разряда конденсатора этот ток, а следовательно, и напряжение на сопротивлении  $R_6$  уменьшаются. Соответственно увеличивается напряжение на первой сетке, и согласно характеристикам лампы (фиг. 209, б) анодный ток также увеличивается. Следовательно, анодное напряжение фантастрона уменьшается, но это благодаря связи через конденсатор  $C_1$  должно затормозить увеличение напряжения на первой сетке. Таким образом, в данном случае имеет место отрицательная обратная связь, благодаря которой процессы в схеме развиваются не лавинообразно, а постепенно. Весьма важно, что отрицательная обратная связь препятствует изменению разрядного тока конденсатора  $C_1$ , что создает условия для линейного уменьшения напряжения на конденсаторе и аноде лампы. По такому же линейному закону увеличиваются катодный ток, а с ним и выходное напряжение  $U_{\text{вых}}$ .

5. Этот процесс прекращается в момент 3, когда анодный ток достигает максимума. Как видно из характеристик лампы, дальнейшее увеличение  $U_{g1}$  вызывает уменьшение анодного тока, а это влечет за собой увеличение анодного напряжения, которое через конденсатор  $C_1$  передается на первую сетку. Таким образом, отрицательная обратная связь сменяется на положительную, вследствие чего наступает лавинообразный процесс. В момент 4 схема в основном приходит в исходное состояние. Анодный ток становится равным нулю, а ток экранных сеток — максимальным. Первоначальные напряжения на электродах восстанавливаются. Исключение составляет анодное напряжение, которое не может мгновенно увеличиться до  $E_a$ , так как для этого конденсатор  $C_1$  должен мгновенно зарядиться до исходной величины. В действительности заряд конденсатора происходит по цепи (+250 в,  $R_2$ ,  $C_1$ , участок сетка—катод лампы  $L_1$ ,  $R_3$ , корпус, +250 в), которая имеет большую постоянную времени (сопротивление  $R_2=4,7$  Мом). Поэтому схема полностью приходит в устойчивое состояние через длительное время после формирования выходного импульса на катодном сопротивлении лампы. Малая крутизна среза импульса на аноде фантастрона заставляет снимать выходные импульсы с его катода.

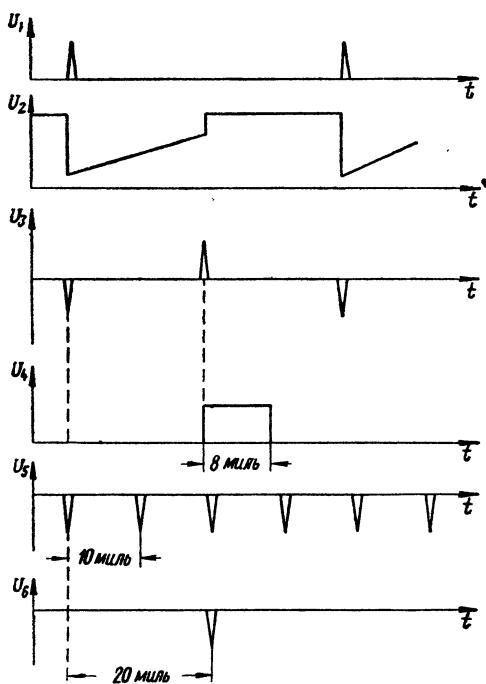
6. Длительность импульса фантастрона  $\tau_f$  равна длительности разряда конденсатора  $C_1$  и прямо пропорциональна напряжению  $E_a$ , снимаемому с ползунка потенциометра  $R_8$ . Докажем это.

Момент окончания импульса 3 вполне определенный: в этот момент анодный ток достигает максимума, а напряжение на первой сетке равно  $U_{g1}''$ . Максимальному анодному току соответствует



Фиг. 210. Принципиальная электрическая схема канала ступенчатой задержки и каскадов калибровки станции по дальности и высоте.

вполне определенное падение напряжения на сопротивлении  $R_2$  и анодное напряжение  $U'_a$ . Следовательно, если одна обкладка конденсатора  $C1$  соединяется с анодом, а вторая — с первой сеткой, то напряжение на конденсаторе в конце разряда всегда равно  $U'_a - U''_{g1}$ . На эти напряжения ( $U'_a$  и  $U''_{g1}$ ) диод и связанные с ним цепи никакого влияния не оказывают, поскольку во время формирования импульса фантастроном диод заперт. Что касается напряжения на конденсаторе  $C1$  в начальный момент разряда 2, то оно зависит от  $E_a$  ( $U_c = E_a - U''_{g1}$ ) и регулируется потенциометром  $R8$ . Имея в виду, что



Фиг. 211. Получение ступенчатой задержки с помощью усилителя совпадений.

Из описания блок-схемы и тактико-технических данных станции известно, что если установлена максимальная ступенчатая задержка, то она почти полностью охватывает весь период следования импульсов. В таком случае длительный процесс восстановления анодного напряжения может послужить препятствием для применения фантастронов в этой схеме.

Возникшее препятствие устраняется введением каскада с катодной нагрузкой  $R11$ , работающего на триоде  $Л2А$ . Обкладка конденсатора  $C1$ , которая соединялась с анодом лампы  $Л1$ , теперь подключается к катоду триода  $Л2А$ , а анод пентагрида  $Л1$  соединяется с сеткой катодного повторителя. Так как коэффициент усиления катодного повторителя близок к единице, то сетка и катод триода

ток разряда конденсатора почти постоянный, из сказанного можно сделать вывод, что потенциометр  $R8$  управляет длительностью разряда конденсатора  $C1$ , а стало быть, и длительностью импульса фантастронов. Благодаря линейному закону изменений напряжений на аноде и катоде фантастронов между длительностью импульса фантастронов и управляющим напряжением существует прямая пропорциональность. Этим объясняется широкое применение фантастронов в схемах задержки импульсов.

7. Теперь перейдем к рассмотрению электрической принципиальной схемы всего канала ступенчатой задержки и связанных с ним каскадов калибровки станции (фиг. 210).



Л2А и соединенные с ними анод фантастрона и правая обкладка С1 имеют примерно равные потенциалы. Поэтому весь процесс формирования импульса фантастроном до момента восстановления заряда конденсатора С1 не изменился. Что касается заряда конденсатора С1, то он происходит по другой цепи:  $\pm 250$  в, анод—катод триода Л2А, С1, сетка—катод пентагрида Л1, R3, заземление. Эта цепь имеет малую постоянную времени, благодаря чему конденсатор заряжается быстро и импульс фантастрона может иметь длительность, весьма близкую к периоду следования импульсов.

Фантастронная схема, изображенная на фиг. 210, отличается от схемы, показанной на фиг. 209, не только введением катодного повторителя, но и заменой потенциометра R8 рядом сопротивлений с переключателем. Это изменение связано с тем, что в данном случае длительность импульса должна изменяться ступенями. Каждая ступень изменения длительности импульса фантастрона приблизительно соответствует 10-миллионной дальности.

8. На фиг. 211 показаны временные диаграммы импульсов в схеме ступенчатой задержки. Импульс запуска передатчика и фантастрона обозначен  $U_1$ , выходной импульс фантастрона —  $U_2$ . Последний через цепь С3, R12, R13 подается на усиленную лампу Л3А, в анодной цепи которой включен трансформатор Тр1, осуществляющий дифференцирование импульсов. Переднему фронту импульса фантастрона соответствует отрицательный, а заднему фронту — положительный остроконечный импульс  $U_3$ .

Следующий каскад — ждущий мультивибратор с катодной связью, работающий на двойном триоде Л4. В исходном состоянии правый триод открыт, а левый заперт. Положительный остроконечный импульс  $U_3$  открывает левый триод и запирает этим правый диод ждущего мультивибратора. В результате с правого триода, точнее — с сопротивления R14 снимается положительный прямоугольный импульс  $U_4$  длительностью, соответствующей 8 милям.

Когда калибрационный переключатель находится в положении 3, импульс мультивибратора через конденсатор С4 подается на сетку лампы усилителя совпадений Л5Б. На катод этой же лампы через другую плату переключателя и конденсатор С5 подаются 10-миллионные отрицательные остроконечные импульсы  $U_5$ , снятые с делителя 1 : 10. Лампа усилителя до совпадения входных импульсов заперта положительным напряжением, которое создается на катоде благодаря делителю напряжения R15, R16, R17 (последнее сопротивление заблокировано конденсатором С6). Когда же восьми- и 10-миллионные импульсы совпадают, то лампа открывается и в обмотке I трансформатора Тр2 возникает импульс тока, которым открывается блокинг-генератор (Л5А), ранее запертый положительным напряжением, снятым с делителя напряжения R18, R19. В результате на сопротивлении R20 образуется отрицательный остроконечный импульс  $U_6$ , который является выходным импульсом схемы ступенчатой задержки.

Обратим внимание на совместное применение усилителя совпадений с блокинг-генератором, хотя принципиально можно было бы ограничиться одним усилителем. Такое сочетание усилителя и блокинг-генератора часто применяется, так как позволяет получить большую крутизну выходных импульсов путем использования блокинг-процесса.

Благодаря применению схемы совпадений от фантастрона не требуется высокой точности: его импульсы при переключении ступени задержки должны лишь сместить восьмимильный импульс для совпадения с очередным 10-мильным. Здесь используется другое достоинство фантастрона — способность создавать импульсы весьма большой длительности.

9. Лампа усилителя совпадений используется также для калибровки шкал дальности и высоты счетно-решающего устройства. В этом случае калибровочный переключатель занимает положение 1 или 2, а якорь реле Р1 соединяется с контактом 2. Через одну плату переключателя вместо восьмимильных импульсов подаются импульсы измерительной метки дальности или маркерных отметок высоты, а через другую плату переключателя вместо 10-мильных импульсов подаются одномильные. В моменты совпадений входных импульсов лампа Л5Б открывается, на ее аноде образуется отрицательный импульс, который передается на конденсатор С7 и растягивается им. Анодный ток усилителя индикатора уменьшается, и неоновая лампа, включенная в качестве нагрузки усилителя, гаснет. Это является признаком того, что измерительная метка дальности или маркерная метка высоты задержаны на целое число миль.

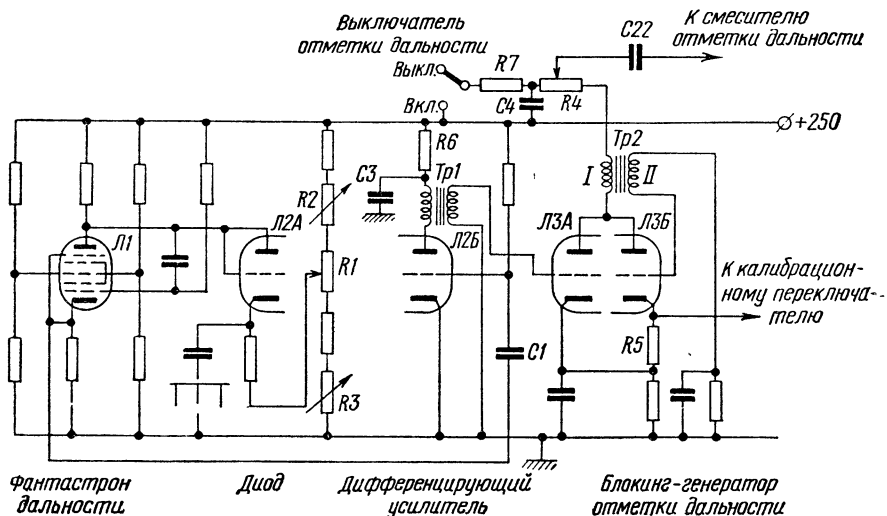
## **В. Канал получения измерительной метки дальности**

Канал получения измерительной метки дальности (фиг. 212) состоит из фантастрона (Л1), диода (Л2А), фиксирующего максимальное напряжение на аноде фантастрона, дифференцирующего усилителя (Л2Б) и усилителя (Л3А), совмещенного с блокинг-генератором (Л3Б).

Фантастрон предназначен для получения плавной задержки от 0,5 до 15 миль, которая регулируется потенциометром дальности R1, расположенным в счетно-решающем устройстве. Пределы изменения задержки устанавливаются потенциометрами R2, R3 при калибровке. Так как длительность максимальной задержки в данном случае невелика по сравнению с периодом следования импульсов, то из фантастронной схемы исключен каскад с катодной нагрузкой.

Запускается фантастрон отрицательными импульсами, поступающими на катод диода с выхода канала ступенчатой задержки или с выхода канала делителя частоты. Импульсы фантастрона с его катода следуют на сетку лампы Л2Б, где они усиливаются и дифференцируются трансформатором Tr1. При дифференцировании заднего фронта усиленного импульса получается остrokонечный импульс, задержанный на величину, указываемую шкалой дальности.

сти счетно-решающего устройства. Полученный остроконечный импульс поступает на усилительный триод ЛЗА. Нагрузкой усилителя является обмотка I импульсного трансформатора Тр2, одновременно включенного в схему блокинг-генератора, который выполнен на правом триоде ЛЗБ. Благодаря этому с появлением импуль-



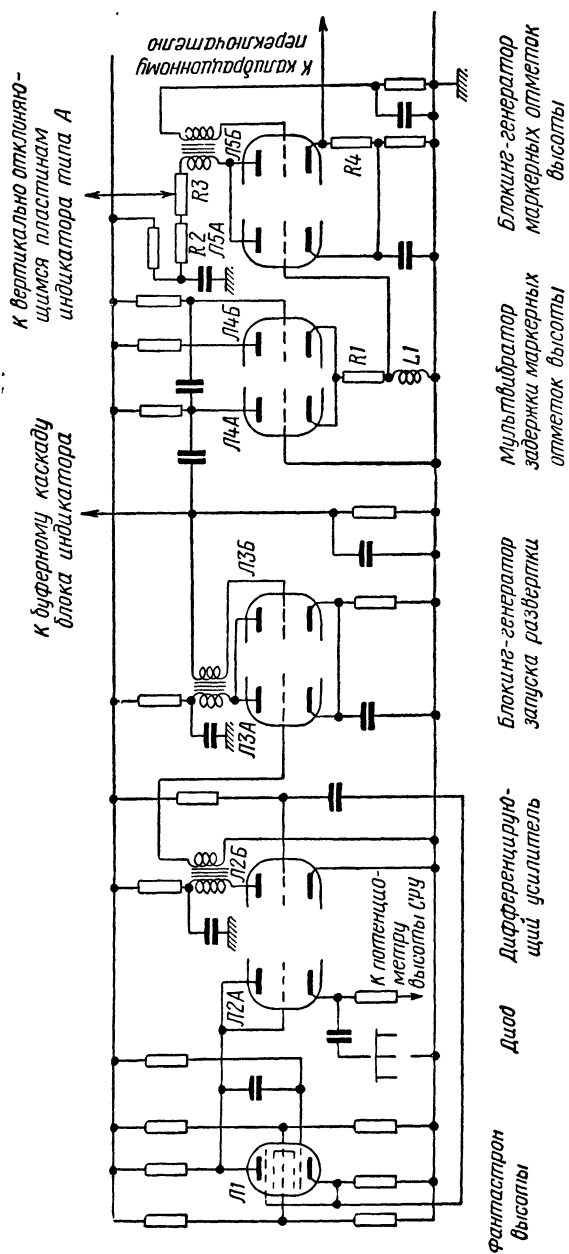
Фиг. 212. Принципиальная электрическая схема канала получения измерительной метки дальности.

са на входе усилителя в генераторе возникает блокинг-процесс, в результате которого формируется импульс большой крутизны. Последний с отрицательным знаком снимается с сопротивления R4 и через конденсатор C2 следует к смесителю отметок дальности. Одновременно импульс метки дальности в положительной полярности снимается с катодного сопротивления R4 и подается для калибровки шкалы дальности.

Детали R6, C3 и R7, C4 служат фильтрами в анодных цепях ламп усилителей и блокинг-генератора. В случае необходимости при помощи выключателя в счетно-решающем устройстве можно выключить анодное питание выходного каскада канала и этим снять с экрана ИКО измерительную метку дальности.

### Г. Канал запуска развертки и маркерных отметок высоты

Канал запуска развертки (фиг. 213) состоит из фантастрона (Л1) с диодом (Л2А), дифференцирующего усилителя (Л2Б) и усилителя, совмещенного с блокинг-генератором (ЛЗ). Эти каскады почти полностью совпадают с соответствующими каскадами канала получения измерительной метки. Различие заключается только в том, что в схеме запуска развертки задержка регулируется не потенциометром дальности, а потенциометром высоты, и вы-



Фиг. 213. Принципиальная электрическая схема канала запуска развертки и маркерных отсчетов высоты.



тродях Л1 типа 829. В этой схеме подмодулятор представляет собой ждущий блокинг-генератор. Обратная связь в нем осуществляется при помощи обмоток *I*, *II* импульсного трансформатора Тр1. В цепь управляющих сеток включены формирующие цепи L1, C1; L2, C2; L3, C3, от параметров которых зависит длительность формируемых импульсов. Цепи переключаются при помощи реле Р1 и Р2.

Допустим, что переключатели режимов работы станции находятся в таком положении, что через контакты реле производятся соединения, показанные на схеме. В этом случае формирование импульсов осуществляется цепью L1, C1.

В исходном состоянии блокинг-генератор заперт напряжением —120 в, которое подается на управляющую сетку через сопротивление R1. Положительный пусковой импульс  $U_n$ , поступающий на ту же сетку, лавинообразно открывает лампу. Появляется сеточный ток, заряжающий конденсатор C1 по цепи, показанной сплошными стрелками: управляющая сетка—катод, корпус, источник пусковых импульсов, C1, L1, обмотка *I* трансформатора Тр1. Поскольку в зарядной цепи имеется последовательный контур L1, C1, напряжение на индуктивности L1 уравнивает напряжение на емкости C1, вследствие чего напряжение на сетке и анодный ток остаются примерно постоянными. Это соответствует плоской части формируемого импульса.

Через полпериода собственных колебаний в контуре наступает разряд конденсатора. В связи с тем, что участок управляющая сетка—катод обладает односторонней проводимостью, разряд конденсатора не может происходить по той же цепи, что и заряд. Ток разряда (см. пунктирные линии) замыкается в таком направлении: от положительно заряженной обкладки конденсатора C1 через источник пусковых импульсов, корпус, источник смещения, сопротивление R1, обмотку *I* трансформатора Тр1, индуктивность L1 к отрицательно заряженной обкладке конденсатора C1. Так как сопротивление R1 значительно больше сопротивления участка сетка—катод проводящей лампы, то скорость изменения разрядного тока значительно меньше скорости изменения зарядного тока. Поэтому напряжение на индуктивности L1, равное  $L \frac{di}{dt}$ , резко

уменьшается и не может уравновесить напряжение на конденсаторе C1. Соответственно уменьшается напряжение на управляющей сетке и лампа лавинообразно запирается. Таким образом, длительность полученного импульса примерно равна полупериоду собственных колебаний формирующего контура и определяется его параметрами.

В импульсном трансформаторе Тр1, кроме обмоток *I*, *II*, обеспечивающих обратную связь между анодной и сеточной цепями, имеется обмотка *III*, с которой снимается положительный импульс амплитудой 1100 в на запуск модулятора.

Небольшие сопротивления R2, R3 препятствуют генерированию паразитных колебаний высокой частоты, возникающих благодаря индуктивности и емкости монтажа. Индуктивность L2, шунтирован-

ная сопротивлением R4, улучшает форму импульса подмодулятора.

Модулятор содержит источник постоянного тока напряжением 14 кВ, коммутирующую лампу Л2 типа 715А и накопительную емкость С4, которая частично разряжается при модуляции генератора СВЧ.

В интервалах между импульсами подмодулятора коммутирующая лампа модулятора заперта смещением на сетке —900 в. При этом происходит накопление энергии в конденсаторе С4. Ток заряда накопительного конденсатора замыкается по цепи +14 000 в, R5, С4, R6, корпус. Положительный импульс подмодулятора открывает лампу модулятора, и этим накопительный конденсатор через малое сопротивление участка анод—катод лампы Л2 (90 ом) подключается параллельно магнетрону (со знаком минус к катоду и со знаком плюс к аноду). Конденсатор С4 разряжается через магнетрон током 12 а и через паразитные цепи (в том числе через сопротивление R6) током 3 а. По окончании импульса подмодулятора лампа модулятора запирается и генерирование колебаний в магнетроне прекращается. Полученные радиоимпульсы при помощи петли связи передаются из магнетрона в волновод.

Напряжение на экранную сетку лампы Л2 подается через гасящее сопротивление R5. Конденсатор С5 блокирует экранную сетку на катод по переменному току. Через сопротивление R7 отрицательное напряжение (900 в) подводится к поджигающему электроду разрядника защиты приемника.

## **Б. Усовершенствованный передатчик самолетного панорамного радиолокатора**

Теперь обратимся к схеме самолетного передатчика, усовершенствованного по сравнению с передатчиком станции APS-15\* (фиг. 215). К подмодулятору относятся два выпрямителя, включенных по однополупериодной схеме. С первого выпрямителя, работающего на кенотроне Л5, снимаются положительные напряжения: +1100÷+1300 в на анод подмодулятора и экранную сетку модулятора и +550÷+650 в на экранные сетки подмодулятора. Последние по переменному току блокируются на катод через конденсатор С6. Со второго выпрямителя, выполненного на кенотроне Л4, снимаются отрицательные напряжения: —650÷—850 в для смещения на управляющую сетку модулятора и —110÷—125 в для смещения на сетку подмодулятора. В указанной поллярности напряжений можно убедиться по направлениям выпрямленных токов, показанных стрелками.

К модулятору относится высоковольтный выпрямитель, работающий по схеме удвоения на кенотронах Л6 и Л7. Выпрямленное напряжение получается на накопительном конденсаторе, который в данном случае состоит из двух половин С4' и С4'' и одновременно является конденсатором фильтра выпрямителя. Первичная обмотка

\* Детали и элементы радиолокационных станций, ч. II. Перевод с английского под ред. А. Я. Брейтбарта. «Советское радио», 1952.

заряжается током разряда накопительного конденсатора, и показания миллиамперметра, казалось бы, должны измениться, но в интервале между импульсами конденсатор С6 полностью отдает полученный заряд через тот же миллиамперметр и сопротивление R7. Следовательно, этот процесс на показания второго миллиамперметра не влияет и прибор фиксирует средний ток магнетрона.

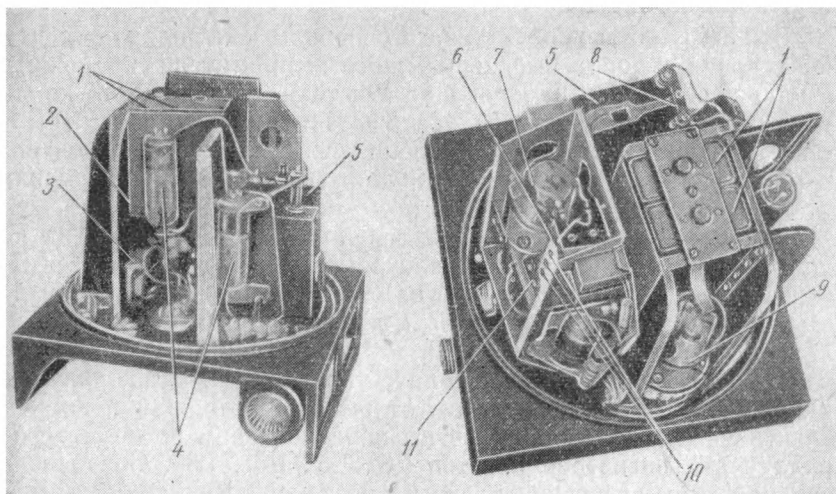
В передатчике имеются искровые разрядники Ир1 и Ир2 для защиты электродов ламп, к которым они подключены, от пробоя при перенапряжениях.

Обобщая сказанное о схемах передатчиков, можно отметить, что для них характерно применение регенеративного подмодулятора с формирующими цепями. В таком подмодуляторе импульсы формируются практически без задержки относительно момента поступления пусковых импульсов. Вместе с тем благодаря блокинг-процессу форма импульсов подмодулятора получается хорошей: крутизна фронта и среза имеет большую величину.

В модернизированном передатчике конденсаторы фильтра одновременно являются накопительными конденсаторами. Полученная количественная экономия в высоковольтных конденсаторах позволила увеличить их емкость при тех же общих габаритах, в результате чего удалось сохранить модулирующее напряжение более постоянным от начала до конца импульса.

#### **В. Конструкции передатчиков самолетных панорамных радиолокаторов**

Конструкции такого рода передатчиков в основном подчинены требованию предельного уменьшения их веса и габаритов при сохранении надежности в работе. По мере развития радиолокацион-



Фиг. 216. Общий вид блока передатчика самолетной панорамной радиолокационной станции.





высоковольтного трансформатора Тр3, как и других силовых трансформаторов Тр2, Тр4, Тр5, включена в сеть переменного тока повышенной частоты, имеющуюся на самолете. Если полярность напряжения на вторичной обмотке трансформатора Тр3 плюсовая слева и минусовая справа, то выпрямленный ток идет по цепи, указанной сплошными стрелками: анод—катод кенотрона Л6, С4', R5, вторичная обмотка трансформатора. Во второй полупериод полярность напряжения на этой обмотке изменяется на обратную, и ток выпрямителя, как показано пунктирными стрелками, замыкается по цепи R5, С4'', анод—катод кенотрона Л8, R7, R8, анод—катод кенотрона Л7, повышающая обмотка трансформатора. Как видно, напряжения на емкостях С4' и С4'' суммируются, что характерно для схемы удвоения.

2. Подмодулятор в данной схеме отличается от подмодулятора станции APS-15 тем, что в нем вместо одного импульсного трансформатора имеется два, из которых один Тр1' используется для получения обратной связи, а второй Тр1'' — для запуска модулятора. Обмотки трансформатора шунтируются сопротивлениями R9, R10, R11, которые создают дополнительную нагрузку на подмодулятор и этим стабилизируют его режим.

В целях увеличения крутизны среза модулирующего импульса последовательно с сопротивлениями R6', R6'' включены индуктивности L3', L3''. Последовательное соединение двух сопротивлений и двух индуктивностей в этой ветви потребовалось для создания делителя, с которого снимается модулирующий импульс для контроля его формы. Диод Л8 уменьшает сопротивление в цепи заряда накопительной емкости и вместе с тем препятствует повторному возбуждению магнетрона при колебаниях на срезе модулирующего импульса.

Режим работы передатчика в основном контролируется измерением средних токов высоковольтного выпрямителя и магнетрона. Миллиамперметры, измеряющие эти токи, шунтируются конденсаторами С6, С7. Через конденсаторы замыкаются переменные составляющие токов, а сопротивления позволяют исключить разрыв измерительных цепей при неисправности миллиамперметра или его отключении.

Так как элементы измерения тока выпрямителя включены последовательно с одним из его кенотронов, то не вызывает сомнений то, что соответствующий миллиамперметр измеряет средний ток высоковольтного выпрямителя. Убедимся в том, что второй миллиамперметр измеряет средний ток магнетрона. Измерение этого тока основано на том, что количество электричества, полученного накопительным конденсатором от выпрямителя, равно количеству электричества, потерянного этим конденсатором во время его разряда через магнетрон и ветвь R6', L3', R6'', L3''. Следовательно, средний ток магнетрона равен разности среднего тока выпрямителя и тока разряда накопительного конденсатора через ветвь R6', L3', R6'', L3''. Вычитание второго тока происходит благодаря конденсатору С6. Во время генерирования импульса этот конденсатор

заряжается током разряда накопительного конденсатора, и показания миллиамперметра, казалось бы, должны измениться, но в интервале между импульсами конденсатор С6 полностью отдает полученный заряд через тот же миллиамперметр и сопротивление R7. Следовательно, этот процесс на показания второго миллиамперметра не влияет и прибор фиксирует средний ток магнетрона.

В передатчике имеются искровые разрядники Ир1 и Ир2 для защиты электродов ламп, к которым они подключены, от пробоя при перенапряжениях.

Обобщая сказанное о схемах передатчиков, можно отметить, что для них характерно применение регенеративного подмодулятора с формирующими цепями. В таком подмодуляторе импульсы формируются практически без задержки относительно момента поступления пусковых импульсов. Вместе с тем благодаря блокинг-процессу форма импульсов подмодулятора получается хорошей: крутизна фронта и среза имеет большую величину.

В модернизированном передатчике конденсаторы фильтра одновременно являются накопительными конденсаторами. Полученная количественная экономия в высоковольтных конденсаторах позволила увеличить их емкость при тех же общих габаритах, в результате чего удалось сохранить модулирующее напряжение более постоянным от начала до конца импульса.

#### **В. Конструкции передатчиков самолетных панорамных радиолокаторов**

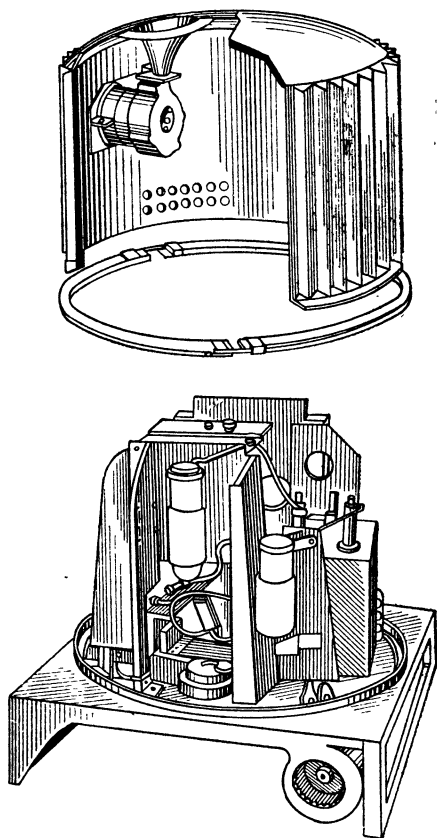
Конструкции такого рода передатчиков в основном подчинены требованию предельного уменьшения их веса и габаритов при сохранении надежности в работе. По мере развития радиолокацион-

Фиг. 216. Общий вид блока передатчика самолетной панорамной радиолокационной станции.

ной техники эти требования удовлетворяются более полно. Например, передающее устройство одной из станций  $H_2X$  размещалось в двух блоках, из которых блок модулятора содержал, кроме воздушной части, масляную, где находились высоковольтные детали, требующие усиленного теплоотвода, а усовершенствованный передатчик, схема которого рассмотрена выше, смонтирован в одном блоке с воздушным охлаждением. Габариты блока значительно сокращены (длина, ширина и высота не превышают 0,4 м), а вес снижен до 24 кг.

Блок (фиг. 216) имеет квадратное основание. Внутри него, кроме магнетрона, находятся антенный переключатель и предварительный УПЧ, схема которых описана ниже. На основании блока смонтированы накопительные конденсаторы 1, сопротивление  $R_5$  (2), крепление магнетрона 3, кенотроны 4, силовой трансформатор с масляным охлаждением 5, формирующие цепи 6, лампа подмодулятора 7, блокировочный контакт, замыкающий накоротко накопительные конденсаторы при снятии блока 8, лампа модулятора 9, реле для переключения формирующих цепей подмодулятора 10, выходной импульсный трансформатор подмодулятора 11 и другие детали.

Значительное уменьшение габаритов блока потребовало применения малогабаритных деталей. Для того чтобы они не теряли электрическую прочность при подъеме самолета на большую высоту и вместе с тем были предохранены от влаги, модулятор помещают в герметичный кожух (фиг. 217). Давление внутри кожуха больше, а вне кожуха, на больших высотах, значительно меньше атмосферного. Такая разность давлений требует от кожуха большой механической прочности, которая достигается утолщением его стенок и приданием ему формы цилиндра с закругленным дном. Герметичная конструкция передатчика дает большую экономию в весе, так как возможно использовать малогабаритные детали без защитных покрытий и кожухов; это полностью компенсирует утяжеление кожуха блока.

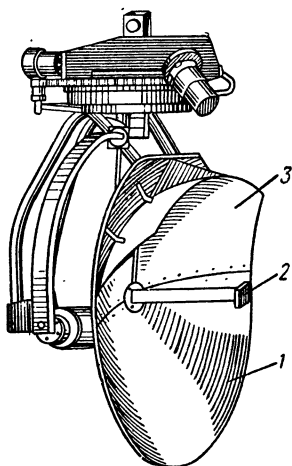


Фиг. 217. Кожух блока передатчика самолетной панорамной радиолокационной станции.

Герметизация блока затрудняет теплоотвод от сильно нагревающихся деталей. Для облегчения теплового режима герметизирующий кожух блока сделан двойным. Блок охлаждается двумя вентиляторами, из которых один создает циркуляцию воздуха внутри блока и выравнивает в нем температуру, а другой охлаждает блок с внешней стороны. Нагретый воздух прогоняется между стенками кожуха. Для увеличения охлаждаемой поверхности кожух сделан гофрированным.

## § 6. АНТЕННО-ФИДЕРНАЯ СИСТЕМА

Антенно-фидерная система состоит из антенны, линии передачи, антенного переключателя, двигателей вращения и наклона антенны, механизма секторного обзора и устройства для синхронного вращения антенны и радиальной развертки в ИКО.



Фиг. 218. Внешний вид антенны станции APQ-13.

Рефлектор антенны разделен на две части: нижнюю и верхнюю (фиг. 218). Нижняя половина рефлектора 1 представляет собой параболоид вращения, в фокусе которого находится щелевой облучатель 2. Верхняя половина



Фиг. 219. Диаграмма направленности антенны станции APQ-13 в вертикальной плоскости.

рефлектора 3 имеет форму козырька, полученного вращением параболы вокруг горизонтальной линии, перпендикулярной оси параболоида и проходящей через фокус. Благодаря козырьку диаграмма направленности в вертикальной плоскости получается косекансной. На фиг. 219 показаны идеальная косекансная диаграмма и реальная диаграмма, полученная с помощью данной антенны. Требуемая зависимость согласно реальной диаграмме удовлетворяется в пределах угла места  $\delta = (6 \div 63)^\circ$ .

В качестве линии передачи используются волноводы, так как при распространении 3-см волн потери в коаксиальных линиях, а тем более в двухпроводных, чрезмерно велики. Кроме того, по волноводу можно передавать электромагнитные волны большей мощности, чем по коаксиальной линии.

Основную часть волноводной линии передачи составляет прямоугольный волновод, возбуждаемый на волне  $TE_{01}$ . Прямоугольные

волноводы имеют преимущество перед круглыми в большей устойчивости поляризации волн, обусловленной тем, что если поперечное сечение волновода не имеет осевой симметрии, то характер волн, распространяемых по волноводу, более тесно связан с формой его поперечного сечения. Волна  $TE_{01}$  наиболее употребительна в прямоугольных волноводах потому, что она позволяет сократить до минимума их поперечное сечение, исключить высшие типы волн и свести до минимума (по сравнению с другими типами волн в прямоугольных волноводах) потери в стенках волновода.

Антенна и блок передатчика, в котором находятся антенный переключатель и радиочастотные каскады, размещаются на самолете так, что они не могут быть соединены одним отрезком волновода. По этой причине волноводная линия составляется из ряда секций, между которыми вводятся неподвижные и вращающиеся сочленения.

Во вращающихся сочленениях нельзя использовать прямоугольные волноводы: в таком сочленении, очевидно, вращение одной секции относительно другой сопровождалось бы большими потерями энергии и изменением характера полей передаваемой волны. В станции APQ-13 вращающиеся переходы осуществляются посредством отрезков коаксиальной линии, а в станции APS-15 — при помощи круглых волноводов, возбуждаемых на волнах с осевой симметрией полей. Второй способ более совершенен, поскольку коаксиальные переходы в большей мере, чем круглые волноводы, ограничивают передаваемую мощность и, кроме того, потери энергии в первых больше, чем во вторых.

Наименьшие размеры круглый волновод должен иметь в случае волны  $TE_{11}$  и несколько больше — при волне  $TM_{01}$ . Тем не менее для вращающихся переходов более пригодна волна  $TM_{01}$ , так как она в отличие от волны  $TE_{11}$  обладает осевой симметрией.

На фиг. 220 показан эскиз антенно-волноводного устройства станции APS-15. Изогнутый прямоугольный волновод 1 соединяет передатчик (магнетрон) 14 с неподвижной секцией круглого волновода 2, которая сочленяется с подвижной секцией круглого волновода 3. Сочленение 2—3 предназначено для вращения антенны по азимуту. Подвижная секция 3 переходит в прямоугольный волновод 4. Затем следуют неподвижная 5 и подвижная 6 секции круглого волновода, образующие вращающееся сочленение по углу места, прямоугольный изогнутый волновод 7, примыкающий к облучателю 8, и рефлектор антенны 9.

Секции соединяются между собой с помощью фланцев 10, имеющих дроссельную защиту. Конструктивно эти сочленения выполняются так. Во фланце на расстоянии  $\lambda/4$  от внутренней поверхности волновода прорезается канавка  $ab$  глубиной  $\lambda/4$ . Так как эта канавка представляет собой четвертьволновую коаксиальную короткозамкнутую линию, то входное сопротивление ее равно бесконечности. Следовательно, зазор между фланцами  $ba$  можно рассматривать как четвертьволновую разомкнутую линию. Ее

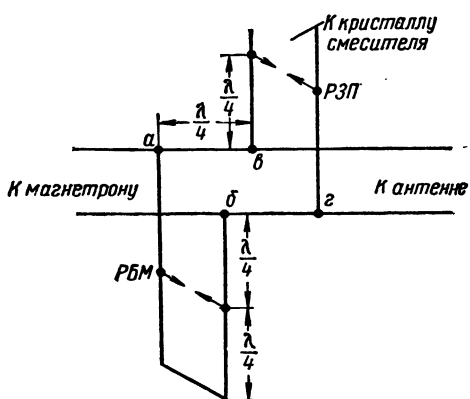


входное сопротивление (в сечении  $в$ ) равно нулю, а поэтому, несмотря на отсутствие прямого контакта между фланцами, внутренние поверхности сочленяемых секций в электрическом отношении являются непрерывными. Переход от прямоугольных секций к круглым секциям волноводной системы и наоборот связан с изменением волнового сопротивления и соответствующим нарушением согласования. Для того чтобы обеспечить требуемое согласование, вблизи этих переходов, где активная составляющая проводимости равна волновой проводимости ( $1/\rho$ ), включают согласующие элементы в виде диафрагм 11. Последние создают в волноводе реактивную проводимость, которая численно равна и противоположна по знаку реактивной проводимости, обусловленной нарушением однородности волноводной системы. Таким образом, остается лишь активная проводимость, равная волновой проводимости волновода, а это равнозначно согласованию волноводов.

Антенный переключатель состоит из разрядника 12 блокировки магнетрона РБМ и разрядника 13 защиты приемника РЗП, которые расположены в Т-образных ответвлениях, примыкающих к узкой стенке волновода. Это эквивалентно параллельному включению ответвлений к основному волноводу (фиг. 221). Каждый разрядник связан с волноводом через щели (окна) в объемных резонаторах разрядников. Расстояние между этими элементами связи и основным волноводом, так же как расстояние между ответвлениями, равно  $\lambda/4$ . Ответвление, в котором находится РБМ, замкнуто накоротко на конце и имеет длину  $\lambda/2$ .

Когда мощным импульсом магнетронного генератора пробиваются разрядники, то ответвления приобретают характер четвертьволновых короткозамкнутых линий. Поскольку входное сопротивление таких линий в сечениях  $аб$ ,  $вг$  очень велико, то импульсы магнетрона, не ответвляясь от основного волновода, свободно проходят в антенну.

Во время приема разрядники не пробиваются, их резонаторы оказываются настроенными в резонанс с принимаемыми сигналами, благодаря чему разрядники имеют очень большое эквивалентное сопротивление. В связи с этим ответвление, в котором находится РБМ, становится полуволновой короткозамкнутой линией и в сечении  $аб$  замыкает накоротко основной волновод. Короткое замыкание из сечения  $аб$  трансформируется в сечении  $вг$  в бесконечно большое сопротивление. Это означает,



Фиг. 221. Эквивалентная схема антенного переключателя.



что та часть волновода, которая обращена от сечения *вг* к магнетрону, изолирована от антенны, благодаря чему энергия из антенны беспрепятственно проходит к приемнику. Поджигающее напряжение на разрядник приемника подается через сопротивление 15 (см. фиг. 220).

В станции APQ-13 оба разрядника имеют внешний резонатор, а в станции APS-15 применены РБМ с внешним резонатором и РЗП типа 1В24 с внутренним резонатором. Для современных радиолокационных станций сантиметрового диапазона волн характерно применение разрядников защиты приемников с внутренним резонатором, так как они вносят меньше потерь в принимаемый сигнал, чем разрядники с внешним резонатором. Для того чтобы ускорить разряд и тем самым уменьшить мощность, просачивающуюся от магнетрона к приемнику, в РЗП введен дополнительный электрод, на который подается постоянное отрицательное напряжение для предварительной ионизации.

## § 7. ПРИЕМНОЕ УСТРОЙСТВО

### А. Преобразователь частоты, усилитель промежуточной частоты, видеодетектор и видеоусилитель

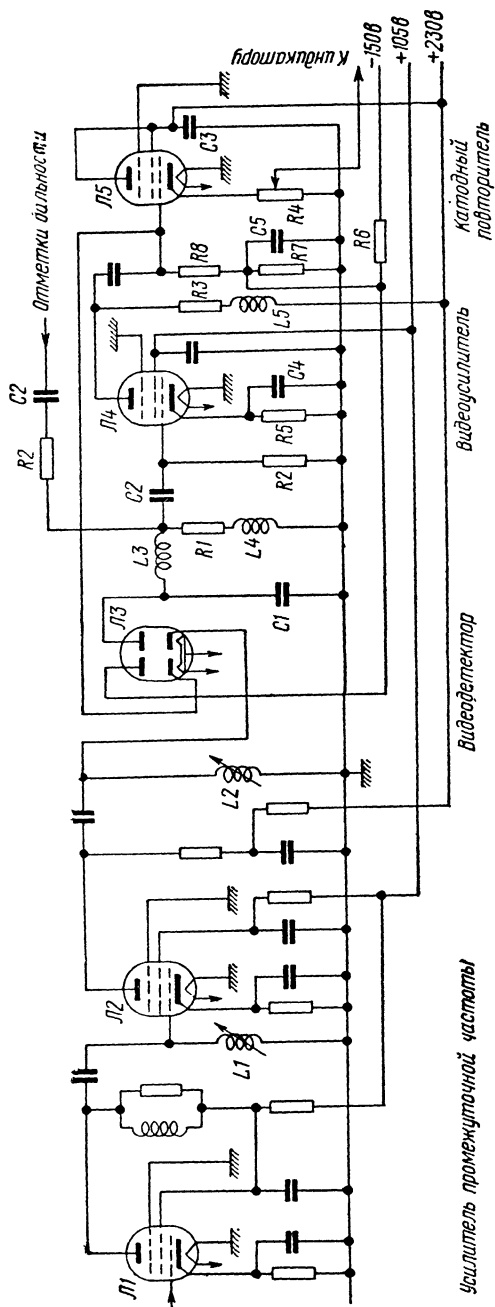
В приемном волноводе, кроме РЗП, находятся камера кристаллического смесителя и зонды клистронов, посредством которых колебания гетеродинов вводятся в смесительную камеру. Связь между клистроном и волноводом регулируется изменением глубины погружения зондов до получения постоянной составляющей тока каждого кристалла, равной 0,5 *ма*. Высокочастотные составляющие тока преобразователя замыкаются через небольшую емкость, шунтирующую кристалл.

Импульсы промежуточной частоты, полученные после преобразования в кристаллическом смесителе, сначала поступают в двухкаскадный предварительный УПЧ, расположенный в том же блоке, что и передатчик. После предварительного усиления импульсы промежуточной частоты следуют в пятикаскадный основной УПЧ, расположенный в приемно-индикаторном блоке. На схеме, изображенной на фиг. 222, показаны два последних каскада УПЧ Л1, Л2 (6АС7).

Сравнительно узкая полоса пропускания УПЧ (2—3 *Мгц*) позволила применить в нем схему с одиночными контурами, которые настраиваются в резонанс на промежуточную частоту магнетронными сердечниками, вводимыми в небольшие индуктивности Л1, Л2. Питание анодных цепей осуществляется по параллельной схеме.

После соответствующего усиления импульсы промежуточной частоты подаются на видеодетектор, выполненный на правом диоде лампы Л3 (6Н6). Видеоимпульсы выделяются на сопротивлении нагрузки R1. Остальные элементы схемы С1, Л3, Л4 предназначены для фильтрации колебаний промежуточной частоты.

Полученные видеоимпульсы вместе с импульсами отметок даль-



Фиг. 222. Принципиальная электрическая схема усилителя промежуточной частоты, детектора и видеоусилителя станции APS-15.

ности, поступающими через цепь С2, R2, подаются на вход видеоусилителя, выполненного на пентоде Л4 (6АС7). Нагрузкой видеоусилителя служат последовательно соединенные сопротивление R3 и индуктивность L5. Выходным каскадом схемы является катодный повторитель (Л5 типа 6АГ7). Анод его замкнут по переменному току на корпус через блокировочный конденсатор С3. Выходные импульсы снимаются с катодной нагрузки — потенциометра R4, который одновременно служит регулятором усиления по видеочастоте. Кроме того, в приемнике имеется ручная регулировка усиления, осуществляемая изменением смещения на управляющих сетках третьего и четвертого каскадов УПЧ.

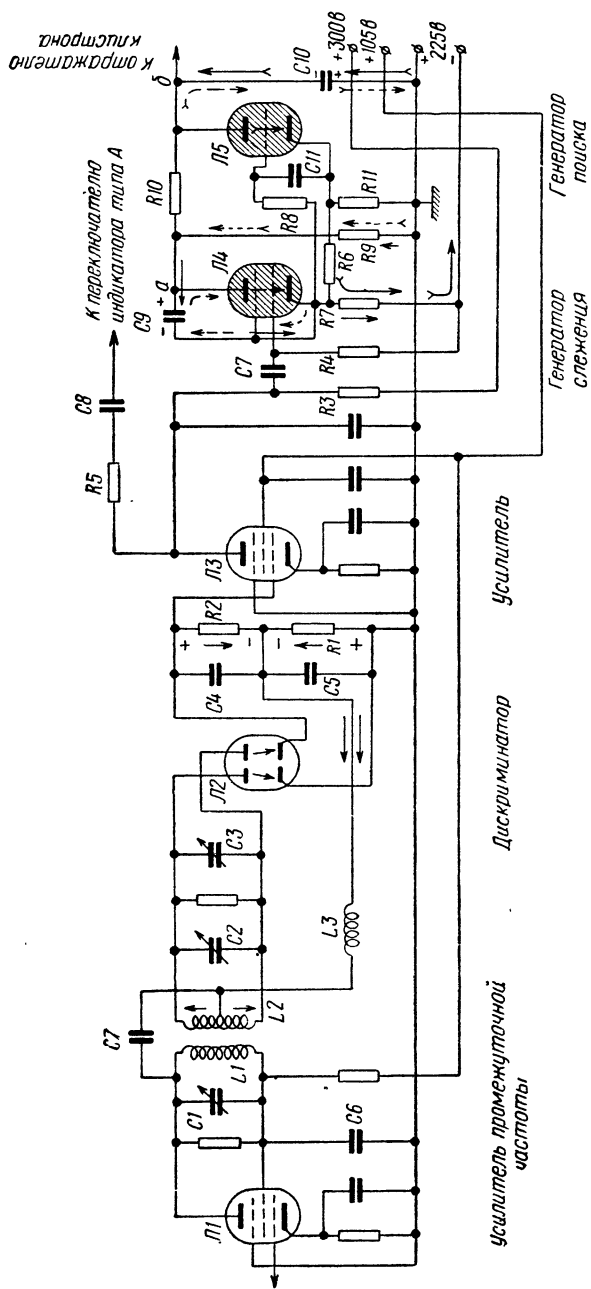
В видеокаскадах, кроме усиления, имеет место ограничение за счет отсечки анодного тока. Величина ограничения определяется смещением на управляющих сетках, которое снимается с сопротивления R5, блокированного конденсатором С4, и с делителя R6, R7, блокированного конденсатором С5. При большой амплитуде видеоимпульса в цепи управляющей сетки выходного каскада появляются сеточные токи, которые на сопротивлении R8 создают падение напряжения, приложенное со знаком минус к управляющей сетке. Если вслед за этим последует слабый видеосигнал, то в связи с увеличением отрицательного смещения на сетке катодный повторитель может оказаться неспособным воспроизвести последний сигнал. Для того чтобы исключить такое явление, в схеме используется левый диод лампы Л3. Этот диод включен параллельно сопротивлению R8. Когда на сопротивлении появляется напряжение, приложенное со знаком минус к управляющей сетке лампы Л5, диод открывается и шунтирует сопротивление R8 настолько, что практически на нем не может создаваться падение напряжения.

## **Б. Схема автоматической подстройки частоты**

1. Эта схема (фиг. 223) относится к группе ищущих тиратронных схем АПЧ. Для нее характерно наличие двух тиратронных генераторов, из которых один (Л4 типа 2050) предназначен для регулировки частоты в режиме слежения, когда промежуточная частота медленно и незначительно отклоняется от номинальной, а второй генератор (Л5 типа 884) производит поиск, т. е. непрерывно изменяет частоту гетеродина в сравнительно больших пределах, пока промежуточная частота не окажется достаточно близкой к 30 Мгц и не возникнут условия для работы генератора слежения.

Первый каскад схемы является усилителем промежуточной частоты, на вход которого подаются импульсы со второго каскада предварительного УПЧ. В первом каскаде используется пентод Л1 типа 6АС7. Второй каскад, выполненный на двойном диоде 6Н6, является обычным дискриминатором.

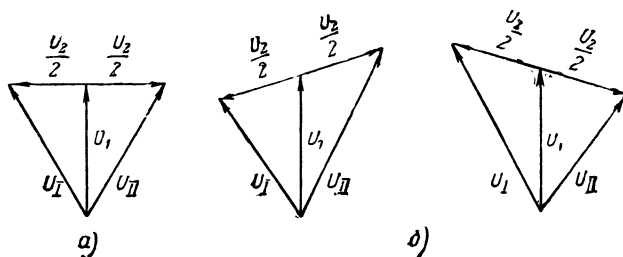
2. Связь между УПЧ и дискриминатором осуществляется через систему связанных контуров L1, C1, L2, C2, C3. Катоды ламп дискриминатора через конденсаторы C4, C5, C6 подключаются к одному концу контура L1, C1, а другой конец этого контура через кон-



Фиг. 223. Схема автоматической подстройки частоты, применяемая в станции APS-15.

денсатор  $C7$  соединяется со средней точкой индуктивности  $L2$ . Аноды диодов подключаются к противоположным концам вторичного контура. Значит, напряжение на каждом диоде складывается из напряжений  $U_1$  первичного контура и  $U_2/2$  соответствующей половины вторичного контура.

Оба контура настраиваются в резонанс на номинальную промежуточную частоту приемника  $f_{\text{пр.н}} = 30 \text{ МГц}$ . Выше (гл. II, § 7) было доказано, что в случае резонанса между напряжениями на первичном и вторичном контурах имеется сдвиг по фазе на  $90^\circ$ ; кроме того, напряжения  $U_2/2$ , поступающие со вторичного контура на аноды диодов, численно равны и всегда находятся в противофазе. При этих условиях результирующие напряжения на диодах  $U_I$  и  $U_{II}$  равны между собой (фиг. 224, а). Если же частота импульсов, поступающих на вход схемы, не равна  $30 \text{ МГц}$ , то след-



Фиг. 224. Векторные диаграммы, иллюстрирующие работу детектора в схеме АПЧ.

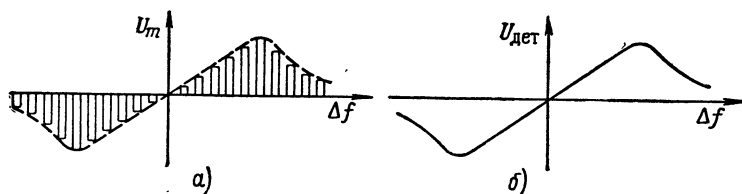
ствие расстройки контуров напряжения  $U_1$  и  $U_2$  оказываются сдвинутыми по фазе на угол, не равный  $90^\circ$ , и в зависимости от знака расстройки напряжение  $U_I$  оказывается больше или меньше напряжения  $U_{II}$  (фиг. 224, б).

Постоянная составляющая анодного тока левого диода замыкается через участок анод—катод, сопротивление  $R1$ , дроссель  $L3$ , верхнюю половину  $L2$ , а правого диода — через участок анод—катод,  $R2$ ,  $L3$  и нижнюю половину  $L2$ . Следовательно, выходное напряжение детектора, поступающее на участок сетка—катод усиленной лампы  $L3$  (6АС7), равно разности напряжений на сопротивлениях  $R2$  и  $R1$ .

Так как с усилителей промежуточной частоты снимаются не непрерывные колебания, а импульсы промежуточной частоты, то на выходе дискриминатора выделяются импульсы постоянного тока. Амплитуда этих импульсов зависит от численного значения промежуточной частоты  $f_{\text{пр}}$ . Когда  $f_{\text{пр}} = f_{\text{пр.н}} = 30 \text{ МГц}$ , то напряжения  $U_I$  и  $U_{II}$  на анодах диодов равны между собой; следовательно, токи, проходящие через сопротивления  $R1$  и  $R2$ , и напряжения на них также равны между собой, а выходное напряжение дискриминатора равно нулю. По мере отклонения промежуточной частоты от  $30 \text{ МГц}$  равенство  $U_I$  и  $U_{II}$  все более нарушается и амплитуда импульсов постоянного тока  $U_m$  увеличивается с положительным

или отрицательным знаком (в соответствии со знаком расстройки). Зависимость этой амплитуды от расстройки контуров  $\Delta f = f_{\text{пр}} - f_{\text{пр.н}}$  называется характеристикой частотного детектора. Она показана на фиг. 225, а.

Импульсы постоянного тока, усиленные лампой ЛЗ, снимаются с сопротивления нагрузки R3 и подаются на управляющую сетку генератора слежения через цепь C7, R4, а для контроля работы схемы АПЧ по индикатору типа А — через цепь R5, C8. Контроль производится при ручной регулировке частоты, предшествующей АПЧ. В процессе контроля добиваются появления импульсов постоянного тока положительной полярности. Это является признаком того, что промежуточная частота находится в пределах полосы пропускания УПЧ.



Фиг. 225. Характеристики частотного детектора.

3. Исходные напряжения на сетках тиратронов отрицательные. Они получаются так. К источнику напряжения 225 в подключен делитель R9, R6, R7; с сопротивления R7 напряжение подается на сетку тиратрона Л4, а с сопротивления R6 через сопротивление R8 — на конденсатор C11, блокирующий участок сетка—катод тиратрона Л5.

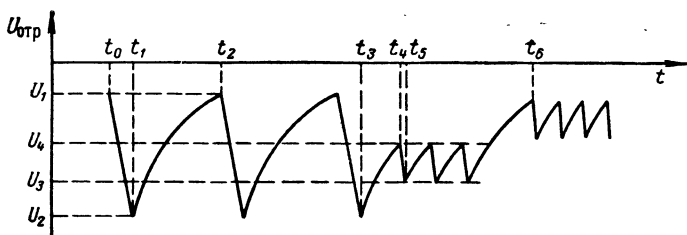
Генератор слежения создает пилообразное напряжение с частотой 200 гц на конденсаторе C9, а генератор поиска — с частотой 1 гц на конденсаторе C10. Заряд конденсатора C9 происходит при погашенном тиратроне Л4 по цепи +225 в (корпус), R9, C9, R7, минус источника. Благодаря экранной сетке анодное напряжение оказывает незначительное влияние на момент зажигания тиратрона Л4, а поэтому для его открывания необходимо, чтобы на управляющую сетку лампы Л4 поступали положительные видеопульсы. При наличии их конденсатор C9 разряжается через тиратрон, напряжение на аноде тиратрона понижается, и когда оно достигает напряжения погасания, заряд конденсатора C9 возобновляется и процесс повторяется.

Пилообразное напряжение, полученное на конденсаторе C9, через цепь R10, C10 передается на отражатель клистрона. Так как сопротивление R10 (2,2 Мом) и емкость C10 (0,5 мкф) велики и частота колебаний генератора слежения (200 гц) сравнительно большая, то эти колебания на конденсаторе C10 и на отражателе клистрона воспроизводятся с небольшой амплитудой.

4. Когда работает генератор поиска, то конденсатор C10 заряжается при зажженном тиратроне Л5. Цепь заряда +225 в (кор-

пус), С10, анод—катод тиратрона Л5, R6, R7, минус источника. Так как напряжение с конденсатора С10 подается на анод тиратрона со знаком минус, то по мере заряда этого конденсатора анодное напряжение тиратрона понижается, и через некоторое время он гаснет. Наступает медленный разряд конденсатора С10 через сопротивления R9 и R10, который вызывает увеличение анодного напряжения тиратрона Л5, и когда оно становится достаточно большим, тиратрон зажигается и процесс повторяется. Частота колебаний напряжения на конденсаторе С10, как было сказано, равна 1 гц, а амплитуда их достаточно велика, чтобы вызвать изменение частоты колебаний клистрона на 40 Мгц.

5. Заметим, что когда работает генератор слежения, генератор поиска работать не может. Дело в том, что для генерирования напряжений поиска необходимо, чтобы конденсатор С10 имел возможность разряжаться. Если же работает генератор слежения, то при зажженном тиратроне Л4 потенциал точки *a* в какой-то момент



Фиг. 226. Изменения напряжения на отражателе клистрона при автоматической подстройке частоты.

времени оказывается ниже потенциала точки *б*, и тогда появляется ток от *б* к *a* (через R10, С9, R7, — 225 в, корпус, С10). Этим током конденсатор С10 заряжается, и генерирование пилообразного напряжения поиска прекращается.

Заметим и другое. Так как сопротивление R10 велико, то изменение напряжения на конденсаторе С10 не вызывает сколь угодно заметного изменения напряжений на конденсаторе С9 и аноде тиратрона Л4. К тому же в этом тиратроне анод не оказывает существенного влияния на момент зажигания. Отсюда следует вывод, что генератор поиска может вызвать срабатывание генератора слежения только косвенным путем, т. е. изменением промежуточной частоты, которое должно повлечь за собой появление положительных импульсов постоянного тока на управляющей сетке лампы генератора слежения.

6. Теперь рассмотрим последовательность процесса автоматической подстройки частоты в станции APS-15, иллюстрируя это принципиальной схемой (фиг. 223), временными диаграммами (фиг. 226) и характеристикой дискриминатора (фиг. 225). Допустим, что сначала ( $t_0$ ) оператор включил приемник, а затем ( $t_3$ ) — передатчик. В таком случае от момента  $t_0$  до момента  $t_3$  беспрепят-

ственно работает генератор поиска, изменяя напряжение на отражателе клистрона от  $U_1$  до  $U_2$ . Увеличение этого напряжения с отрицательным знаком происходит резко (конденсатор С10 заряжается), а уменьшение с тем же знаком — плавно (С10 разряжается). Соответственно частота клистрона резко увеличивается и плавно уменьшается.

Механическую настройку клистрона производят так, чтобы при среднем значении напряжения на отражателе клистрон генерировал колебания, частота которых на 30 Мгц больше номинальной частоты магнетрона, т. е. чтобы при включенном передатчике и этих условиях промежуточная частота была равна номинальной  $f_{\text{пр-н}} = 30 \text{ Мгц}$ . Под влиянием напряжения поиска частота гетеродина изменяется примерно на 40 Мгц, т. е. в момент  $t_1$  она превышает номинальную частоту магнетрона на 50 Мгц, а в момент  $t_2$  — на 10 Мгц.

7. С включением передатчика ( $t_3$ ) на входе схемы АПЧ появляются импульсы промежуточной частоты. В процессе поиска промежуточная частота уменьшается, т. е. величина  $\Delta f = f_{\text{пр}} - f_{\text{пр-н}}$  сначала уменьшается с положительным знаком, а затем увеличивается с отрицательным. В таком случае согласно характеристике дискриминатора на входе усилителя постоянного тока должны быть импульсы, полярность которых изменяется с положительной на отрицательную. Так как в усилительном каскаде фаза напряжения изменяется на обратную, то полярность импульсов, поступающих на сетку лампы генератора слежения, изменяется с отрицательной на положительную. В результате в какой-то момент времени  $t_4$  тиратрон генератора слежения зажигается и поиск прекращается.

8. Процесс слежения начинается с увеличения отрицательного напряжения на отражателе (конденсатор С9 разряжается) и соответствующего увеличения частоты гетеродина и промежуточной частоты. Стало быть, величина  $\Delta f = f_{\text{пр}} - 30 \text{ Мгц}$  увеличивается, полярность импульсов на входе усилителя согласно характеристике дискриминатора изменяется с отрицательной на положительную, а на управляющей сетке тиратрона Л4 — на отрицательную. В связи с этим в момент  $t_5$  тиратрон гаснет, конденсатор С9 восстанавливает свой заряд и напряжение на отражателе клистрона уменьшается с отрицательным знаком. Следовательно, частота гетеродина и промежуточная частота уменьшаются и процесс слежения повторяется. Как видно из фиг. 226, при слежении пределы изменения напряжения на отражателе ( $U_3 - U_4$ ) значительно меньше, а частота этих изменений значительно больше, чем при поиске.

Допустим, что частота магнетрона во время слежения увеличилась. Соответственно уменьшилась промежуточная частота, а величина  $\Delta f$  увеличилась с отрицательным знаком. В связи с этим для изменения знака  $\Delta f$  на обратный требуется больше времени, тиратрон зажигается с задержкой, длительность заряда конденсатора С9 увеличивается и процесс слежения возобновляется ( $t_6$ ) при меньшем отрицательном напряжении на отражателе клистрона. Очевидно, что с уменьшением частоты магнетрона слежение про-



исходит при больших отрицательных напряжениях на отражателе.

Если же отклонение частоты магнетрона настолько велико, что приемник не в состоянии воспроизвести передаваемые импульсы, то процесс автоматической подстройки частоты вновь начинается с поиска.

Схема АПЧ, примененная в станции APS-15, имеет преимущества перед схемой АПЧ, примененной в станции APQ-13, в наличии генератора поиска, позволяющего производить автоподстройку не только при малых и медленных, но и при больших и быстрых отклонениях рабочей частоты станции. Благодаря этому точность ручной настройки частоты клистрона может быть пониженной.

Тиратронная схема АПЧ имеет и недостатки: а) значительное влияние внешних факторов (температуры, напряжений источников питания, разброса параметров ламп и др.) на пусковые характеристики тиратронов вызывает изменение частоты клистрона даже при постоянной частоте магнетрона; б) в режиме слежения частота колебаний клистрона не остается, строго говоря, постоянной, а изменяется в некоторых пределах; в) тиратронная схема обладает значительной инерционностью из-за большой емкости выходного конденсатора С10; если же эту емкость уменьшить, то пульсации напряжения на отражателе клистрона и соответственно пульсации частоты его колебаний увеличатся, а это потребует расширения полосы пропускания приемника; г) экспоненциальный характер напряжения на выходе схемы АПЧ не позволяет получить постоянную скорость изменения частоты клистрона в процессе подстройки частоты.

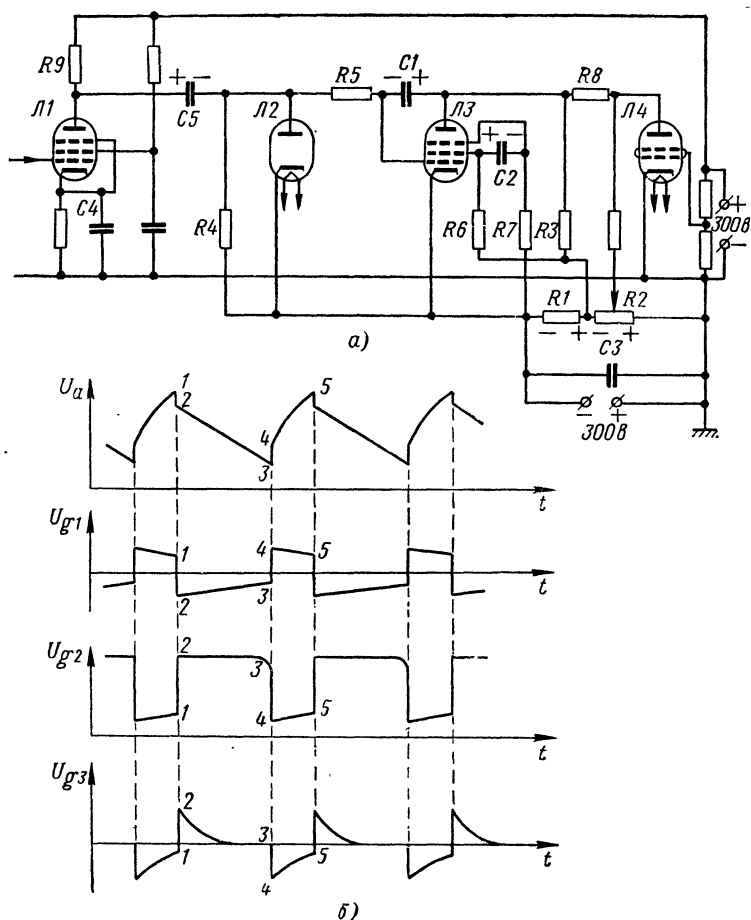
## В. Диодно-транзитронная схема АПЧ

1. Перечисленные недостатки тиратронной схемы в значительной мере устраняются в диодно-транзитронной схеме АПЧ, которая в настоящее время находит широкое применение. В этой схеме (фиг. 227, а) за усилителем импульсов постоянного тока (Л1) следует диодный детектор (Л2), который используется только в режиме слежения, а поиск осуществляется транзитронным генератором, выполненным на пентоде Л3. Питание генератора производится с делителя R1, R2, подключенного к источнику напряжения 300 в, плюс которого заземлен.

Для транзитронного генератора характерно наличие емкостной связи между анодом и управляющей сеткой (через конденсатор С1) и между экранной и пентодной сетками (через конденсатор С2). Благодаря этой связи лампа генератора периодически переходит из одного состояния, в котором анодный ток имеет максимальную величину при минимальном токе экранной и управляющей сеток, в другое состояние, когда лампа заперта по анодному току, а ток экранной и управляющей сеток максимальный.

Указанный переход сопровождается зарядом и разрядом конденсаторов С1 и С2. Конденсатор С1 заряжается при условии, что лампа заперта по анодному току и открыта по току управляющей

и экранной сеток. Ток заряда этого конденсатора идет по цепи плюсовый конец сопротивления  $R1$ ,  $R3$ ,  $C1$ , участок управляющая сетка—катод, минус источника. Когда лампа открыта по анодному току, конденсатор  $C1$  разряжается в направлении анод—катод,  $R4$ ,  $R5$ ,  $C1$ . При этом на сопротивлениях  $R4$  и  $R5$  создается падение напряжения, которое со знаком минус приложено к управляющей



Фиг. 227. Диодно-транзистронная схема АПЧ (а) и временные диаграммы, иллюстрирующие ее работу (б).

сетке и этим уменьшает до минимума ток экранной сетки и полностью исключает ток управляющей сетки.

Конденсатор  $C2$  заряжается тогда, когда конденсатор  $C1$  разряжается. Цепь заряда конденсатора  $C2$  следующая: плюсовый конец сопротивления  $R1$ ,  $R6$ ,  $C2$ ,  $R7$ , минус источника. Этот ток создает на сопротивлении  $R7$  падение напряжения, приложенное со знаком плюс к пентодной сетке и со знаком минус к катоду.

Разряд конденсатора С2 происходит во время заряда конденсатора С1 по следующей цепи: участок между экранной сеткой—катодом, R7, С2. Теперь на сопротивлении R7 получается падение напряжения, которое создает на пентодной сетке отрицательное напряжение, поддерживающее лампу в запертом состоянии по анодному току.

2. После сделанных замечаний можно рассмотреть взаимодействие элементов схемы, сопровождая описание временными диаграммами, показанными на фиг. 227, б.

Начнем с момента 1, который является началом открывания лампы по анодному току. В этот момент напряжение на конденсаторе С1, а значит, и анодное напряжение генератора  $U_a$  максимальные. Так как анодный ток равен нулю, то катодный ток полностью распределяется между управляющей и экранной сетками. Это возможно при условии, что напряжение на управляющей сетке положительное, а напряжение на экранной сетке  $U_{g2}$  из-за максимального падения напряжения на сопротивлении R6, вызванного током экранной сетки, минимальное. Напряжение на пентодной сетке  $U_{g3}$  в момент 1 отрицательное, ибо в противном случае лампа не могла быть запертой по анодному току.

С появлением анодного тока напряжение на аноде за счет падения напряжения на сопротивлении R3 понижается. Через конденсатор С1 это вызывает отрицательный перепад напряжения на управляющей сетке, вследствие чего ток экранной сетки уменьшается, а напряжение на ней увеличивается. Положительный перепад напряжения на экранной сетке через конденсатор С2 передается на пентодную сетку, благодаря чему анодный ток еще более увеличивается и т. д. Таким образом, схема л а в и н о о б р а з н о переходит из состояния 1 в состояние 2.

3. Вслед за этим из-за повышения напряжения на экранной сетке конденсатор С2 заряжается. Ток заряда конденсатора создает на сопротивлении R7 падение напряжения, приложенное со знаком плюс к пентодной сетке. Оно поддерживает анодный ток. Одновременно благодаря появлению анодного тока происходит разряд конденсатора С1 и на сопротивлениях R4 и R5 возникает падение напряжения, приложенное со знаком минус к управляющей сетке. Этим напряжением поддерживается пониженный ток экранной сетки.

По мере уменьшения тока разряда конденсатора С1 падение напряжения на сопротивлениях R4, R5 и равное ему отрицательное напряжение на управляющей сетке уменьшаются. Вместе с тем вследствие разряда конденсатора С1 анодное напряжение уменьшается, но так как анод и управляющая сетка связаны этим конденсатором, то увеличение напряжения на управляющей сетке и анодного тока тормозится. Стало быть, *в интервале 2—3 имеет место отрицательная обратная связь, благодаря которой изменения напряжений и токов в схеме происходят плавно и линейно.*

4. Постепенно, с понижением анодного напряжения и повышением напряжения на управляющей сетке соотношение между тока-

ми анода и экранной сетки изменяется: анодный ток уменьшается, а ток экранной сетки увеличивается. Это в интервале 3—4 приводит к лавинообразному запирающему лампы по анодному току. Происходит оно так. Увеличение тока экранной сетки вызывает уменьшение напряжения на экранной сетке, которое через конденсатор С2 передается на пентодную сетку. Понижение напряжения на пентодной сетке уменьшает анодный ток и как следствие увеличивает анодное напряжение. Последнее через конденсатор С1 повышает напряжение на управляющей сетке, а это еще более увеличивает ток экранной сетки и т. д. Переход схемы из состояния 3 в состояние 4 характеризуется следующим.  $U_a$  увеличилось скачком в связи с резким уменьшением анодного тока и на такую же величину повысилось  $U_{g1}$ ;  $U_{g2}$  понизилось благодаря лавинообразному увеличению тока экранной сетки, а  $U_{g3}$  стало отрицательным и уменьшилось на величину перепада напряжения  $U_{g2}$ .

5. Запирание лампы по анодному току вызывает заряд конденсатора С1 и плавное увеличение анодного напряжения. Зарядный ток с помощью сопротивлений R4, R5 поддерживает положительное напряжение на управляющей сетке, которое по мере заряда конденсатора уменьшается. Так как повышение анодного напряжения через конденсатор С1 передается на управляющую сетку, то это тормозит уменьшение  $U_{g1}$  и означает, что изменения напряжений и токов в очередном интервале 4—5 происходят плавно.

Одновременно вслед за состоянием 4 в связи с понижением напряжения на экранной сетке наступает разряд конденсатора С2. При этом с сопротивления R7 снимается отрицательное напряжение на пентодную сетку, которое по мере разряда конденсатора С2 уменьшается по абсолютной величине. Повышение напряжения на пентодной сетке и понижение напряжения на управляющей сетке приводят к тому, что в некоторый момент (5) происходит новое перераспределение катодного тока: лавинообразно появляется анодный ток и соответственно уменьшается ток экранной сетки. Описанный процесс повторяется.

6. пилообразное напряжение, полученное на аноде генератора, через сопротивление R8 передается на отражатель клистрона (Л4). Результирующее напряжение на отражателе клистрона получается отрицательным, так как катод клистрона соединяется с корпусом и находится под напряжением +300 в относительно катода лампы Л3.

Поиск совершается на прямолинейном участке 2—3 графика изменения анодного напряжения генератора. Начальное напряжение на отражателе регулируется потенциометром R2.

Уменьшение напряжения на отражателе клистрона, происходящее в процессе поиска, вызывает увеличение частоты его колебаний. На такую же величину уменьшаются промежуточная частота и величина  $\Delta f$ . При соответствующем включении дискриминатора, после того, как промежуточная частота становится номинальной ( $\Delta f = 0$ ), на входе усилителя постоянного тока появляются импуль-

сы отрицательной полярности. С анодной нагрузки усилителя R9 снимаются импульсы положительной полярности. Они открывают диод Л2. Постоянная составляющая тока диода замыкается по цепи анод—катод и сопротивление R4, вызывая на нем падение напряжения, которое со знаком минус приложено к управляющей сетке лампы Л3. Переменная составляющая проходит через диод, конденсаторы С3, С4, катод—анод лампы Л1 и конденсатор С5. Получение смещения на управляющей сетке лампы Л3 за счет импульсов усилителя постоянного тока можно объяснить также зарядом конденсатора С5 при прохождении этих импульсов через диод. Очевидно, что напряжение конденсатора С5 приложено со знаком минус к аноду диода Л2 и управляющей сетке пентода Л3.

В связи с этим во время разряда конденсатора С1 наступает такой момент, когда напряжение на управляющей сетке генератора оказывается равным напряжению, полученному в результате детектирования импульсов постоянного тока. Дальнейший разряд конденсатора С1 становится невозможным и схема переходит в режим слежения. В этом режиме лампа Л3 выполняет функции усилителя постоянного тока. Не следует смешивать его с каскадом, выполненным на пентоде Л1. Последний усиливает импульсы постоянного тока, снимаемые с дискриминатора, а лампа Л3 усиливает постоянное напряжение, снимаемое с нагрузки R4 диодного детектора.

В остальном процесс слежения и поиска в диодно-транзистронной схеме происходит так же, как в тиратронной.

7. Сравнивая эти схемы, можно отметить следующие преимущества диодно-транзистронной схемы: а) замена тиратронов электронными лампами сделала работу схемы малозависимой от температуры, разброса параметров ламп и других факторов; б) линейный характер изменения напряжения на отражателе клистрона обеспечивает постоянную скорость изменения частоты гетеродина в режиме поиска; в) пределы изменения частоты колебаний клистрона при слежении в диодно-транзистронной схеме меньше, чем в тиратронной.

## **§ 8. ПОЛУЧЕНИЕ РАЗВЕРТКИ ИНДИКАТОРОВ И СИНХРОНИЗАЦИЯ РАБОТЫ СТАНЦИЙ Н<sub>2</sub>Х**

### **А. Синхронизация работы станции APS-15**

Блок индикатора станции APS-15, который следовало бы называть приемно-индикаторным, содержит описанные выше усилитель промежуточной частоты, видеодетектор, видеоусилитель, схему АПЧ и, кроме того, индикаторы (ИКО и типа А), схему их развертки, генератор синхронизации, координирующий работу станции без блока дальности, и канал формирования масштабных меток дальности.

Начнем с описания генератора синхронизации (фиг. 228). Этот генератор выполнен на двойном триоде Л2 по схе-



ме мультивибратора с анодно-сеточной связью, работающего в режиме самовозбуждения. Длительность импульсов мультивибратора изменяется переключателем дальности. Параметры мультивибратора подобраны так, что этим же переключателем устанавливается требуемая частота следования импульсов. Когда станция работает в режиме поиска, то частота следования  $F_0=650$  имп/сек, а длительность импульсов передатчика 1 мксек. В режиме «Маяк»  $F_0=300$  имп/сек и  $\tau=2$  мксек.

При бомбометании ( $F_0=1100$  имп/сек,  $\tau=0,5$  мксек) мультивибратор из режима самовозбуждения переходит в режим синхронизации импульсами, поступающими из блока дальности через буферный усилитель (Л1А). Последний работает с катодной нагрузкой. Так как его входное сопротивление велико, то буферный усилитель вместе с тем служит каскадом, разделяющим генератор синхронизации и блок дальности, когда этот блок не используется. Блок дальности может синхронизировать станцию не только при бомбометании, но и в режиме «Маяк»; тогда  $F_0=311$  имп/сек, а  $\tau=2$  мксек.

За генератором синхронизации следует ж д у щ и й м у л ь т и в и б р а т о р с к а т о д н о й с в я з ь ю, выполненный на триодах Л1Б и Л3А. В исходном состоянии триод Л3А открыт, а триод Л1Б заперт отрицательным смещением, которое снимается с катодного сопротивления R1 и подается через переменное сопротивление R2. Благодаря тому, что между управляющей сеткой и катодом триода Л1Б включен конденсатор C1, положительный импульс синхронизации увеличивает напряжение на сетке постепенно и открывает лампу с задержкой. Соответственно задерживается запирающее напряжение триода Л3А. С его анода снимаются положительные импульсы. Они имеют большую амплитуду и крутизну. Эти импульсы дифференцируются цепью C2, R3 и подаются на сетку катодного повторителя, работающего на триоде Л3Б. Положительным напряжением (+15 в), поданным на катод триода, устанавливается такое смещение, что только положительные остроконечные импульсы, полученные после дифференцирования, воспроизводятся на нагрузке R4 катодного повторителя. Этими импульсами запускается подмодулятор передатчика.

Генератор синхронизации, кроме передатчика, запускает развертку и схему формирования импульсов меток дальности. Запуск развертки производится непосредственно с генератора синхронизации, а схема формирования импульсов меток дальности запускается отрицательными импульсами, снятыми с анода триода Л1Б. Следовательно, процесс получения импульсов меток дальности, так же как и запуск передатчика, задержан относительно начала развертки на некоторую величину (12—25 мксек). Это сделано для того, чтобы начальный нелинейный участок развертки не использовался и индикация производилась с открытым центром.

Канал формирования меток дальности начинается с генератора импульсов меток (Л4), затем следует усилитель этих импульсов (Л5) и на выходе канала включен смеситель меток дальности





(Л6А). Формирование этих меток основано на использовании контуров с ударным возбуждением. Полученные в них затухающие синусоидальные колебания при помощи двухкаскадного ограничителя-усилителя преобразуются в прямоугольные колебания, дифференцируются в индуктивности L1, после чего следуют в смеситель. Аналогичная схема описана в § 8 гл. II, а поэтому нет необходимости в подробном рассмотрении ее.

## **Б. Канал развертки индикаторов станции**

(фиг. 229)

Запуск канала развертки производится отрицательными импульсами генератора синхронизации. На время действия этих импульсов триод Л1А запирается и конденсатор C1 заряжается через сопротивление R1 (R2, R3, R4), R5 (R6, R7, R8). Благодаря сопротивлению R5 (R6, R7, R8) напряжение на управляющей сетке лампы усилителя Л2 имеет трапецеидальную форму.

Нагрузкой усилителя служит индуктивность L1; отрицательные трапецеидальные импульсы напряжения снимаются с нее на роторную обмотку P сельсина-трансформатора. Так как ротор сельсина вращается вместе с антенной, то на его статорных обмотках Ст1 и Ст2 получаются пилообразные импульсы, амплитуда которых изменяется по закону синуса и косинуса угла поворота антенны.

Эти импульсы усиливаются в двухтактных каскадах Л9—Л10, Л11—Л12. Нагрузкой одного каскада являются горизонтально отклоняющие катушки, а нагрузкой второго каскада — вертикально отклоняющие катушки индикатора кругового обзора. Для того чтобы развертка в ИКО всегда начиналась своевременно и с центра экрана, в схему введены фиксирующие лампы Л5, Л6, Л7, Л8. Более подробно аналогичная схема получения развертки описана в гл. II, § 10.

К сетке лампы Л13 на время рабочего хода развертки подаются отрицательные импульсы синхронизатора. В результате на ее катодной нагрузке R9 выделяются импульсы той же полярности. Эти импульсы приложены к катоду трубки, благодаря чему экран индикатора засвечивается только на время рабочего хода развертки.

Развертка в индикаторе типа А получается при помощи генератора экспоненциального напряжения, состоящего из триода Л14 и цепей R10 (R11, R12, R13), C2. Напряжение, соответствующее начальному участку экспоненты, снимается с анода генератора и через цепь C3, R14 подается на горизонтально отклоняющие пластины.

К верхней (по схеме) вертикально отклоняющей пластине приложены импульсы маркерных отметок высоты, а на нижнюю вертикально отклоняющую пластину подаются импульсы, снятые с анода усилителя индикатора типа А. Характер этих импульсов

зависит от положения переключателя В1, имеющегося на входе усилителя. Напомним, что индикатор типа А применяется для контроля работы станции по форме импульсов в различных ее цепях и для измерения высоты.

Засвечивание развертки индикатора типа А производится так же, как в индикаторе кругового обзора. Для этого предназначен каскад, выполненный на триоде ЛЗ. Управление генератором развертки и каскадом получения импульсов подсвета индикатора типа А осуществляется отрицательными импульсами синхронизации.

---

## НЕКОТОРЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ САМОЛЕТНОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ АППАРАТУРЫ <sup>1</sup>

### § 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Согласно материалам, опубликованным в иностранной печати, самолетная радиолокационная аппаратура совершенствуется по следующим направлениям: 1) расширяются функции, выполняемые радиолокационными станциями; 2) происходит всесторонняя автоматизация этих станций; 3) в одной и той же системе радиолокационные методы совмещаются с другими методами; 4) габариты и вес самолетной радиолокационной аппаратуры все более уменьшаются.

По мере развития авиации возрастают требования к приборам, устанавливаемым на самолете. Экипажу самолета нужна точная информация о воздушной и путевой скорости самолета, сведения о ветре, о плотности воздуха, о времени полета до цели, точные координаты самолетов противника, данные, устанавливающие наиболее выгодный момент использования своих огневых средств, и т. д. Все это в той или иной мере доставляется радиолокационными устройствами.

Полученная информация является исходной для многочисленных расчетов, которые должны быть произведены в очень короткие промежутки времени, так как вследствие больших скоростей реактивных самолетов выходные данные изменяются очень быстро, а результаты расчетов должны быть использованы немедленно. Развитие авиационной техники к тому же сопровождается значительным увеличением количества и усложнением приборов, устанавливаемых на самолете. В таких условиях ручное управление этими приборами, в том числе и радиолокационными устройствами, становится все более затруднительным, а подчас и невозможным. Отсюда второе направление в усовершенствовании самолетной радиолокационной аппаратуры — ее автоматизация. Основой автоматизации становятся электронные вычислительные машины.

Расширение функций, выполняемых самолетными радиолокационными устройствами, повышение требований, предъявляемых к этим устройствам, и усовершенствование противорадиолокационной техники заставляют решать отдельные задачи комбинированными методами. Так, например, на одном и том же самолете применяют радиолокационные, инерциальные и астрономические ме-

<sup>1</sup> 1. Мак-Магон. Допплеровская навигационная система AN/APN-81. Вопросы радиолокационной техники. ИЛ, 1958, № 5. Aviation Week, Aug. 3, 1959.

2. А. С. Локк. Управление снарядами, Гостехиздат, 1957

3. В. И. Марисов, И. К. Кучеров. Управляемые снаряды. Воениздат, 1959.

4. В. П. Петров, А. А. Сочивко. Управление ракетами. Воениздат, 1959.

тоды навигации, причем эти методы используются либо поочередно в зависимости от наличия помех, либо в комплексе, корректируя и дополняя друг друга.

Наконец, увеличение и усложнение самолетных радиолокационных средств требует еще большего сокращения веса и размеров отдельных деталей и блоков самолетной аппаратуры.

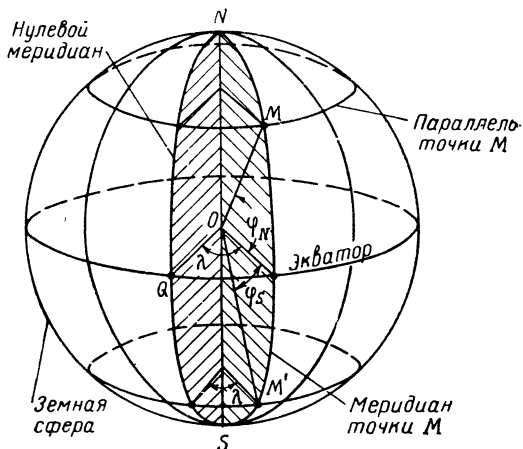
## § 2. СИСТЕМЫ НАВИГАЦИИ СОВРЕМЕННЫХ САМОЛЕТОВ

Местоположение самолета определяется географическими координатами той точки земной поверхности, на которой в данный момент находится самолет. Этими координатами являются широта  $\varphi$  и долгота  $\lambda$  (фиг. 230). Широта зависит от параллели, а долгота от меридиана, на пересечении которых расположена данная точка Земли. Точнее широтой точки  $M$  называется угол между плоскостью экватора и радиусом Земли  $OM$ , проходящим через параллель точки  $M$ , а долготой той же точки называется угол  $\lambda$  между плоскостями двух меридианов, из которых один  $NMM'S$  проходит через данную точку  $M$ , а другой  $NQS$  является главным меридианом, пересекающим место расположения Гринвичской обсерватории.

Различают северные широты  $\varphi_N$ , расположенные между экватором и северным географическим полюсом  $N$ , и южные широты  $\varphi_S$ , расположенные по другую сторону от экватора. Широта  $\varphi$  может изменяться от 0 до  $\pm 90^\circ$ , а долгота  $\lambda$  — от 0 до  $\pm 180^\circ$ . Положительным значениям  $\lambda$  соответствует восточная долгота, а отрицательным значениям  $\lambda$  — западная.

Когда ориентировка в полете производится при наличии оптической видимости Земли или при помощи панорамной радиолокационной станции, то координаты самолета устанавливаются согласно наземным ориентирам, указанным на географической или радиолокационной карте. Такая возможность не всегда имеется. Например, навигационные ориентиры могут отсутствовать при полетах над морем или пустыней. Тогда наиболее пригодна автономная навигация методом счисления пути.

Типовая система навигации, осуществляемая по этому методу, строится по такой схеме (фиг. 231). Блок 1 вырабатывает данные о векторе путевой скорости, т. е. о величине этого



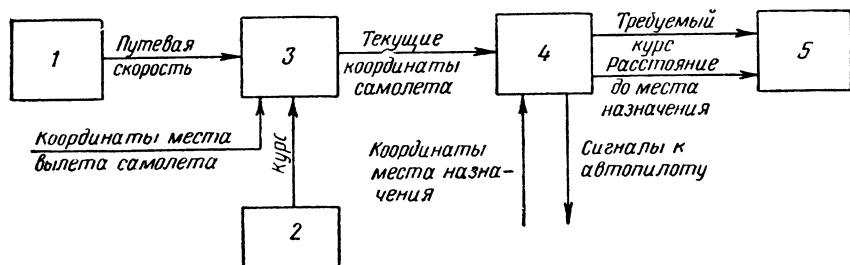
Фиг. 230. Географические координаты земной поверхности.

вектора и угле сноса, или о составляющих вектора по направлениям юг—север и запад—восток.

Блок 2 определяет курс самолета. По данным путевой скорости и курса счетно-решающее устройство 3 определяет текущие координаты самолета.

Работа вычислителя 3 заключается в том, что к координатам места вылета самолета или опорного пункта непрерывно прибавляется произведение мгновенного значения путевой скорости на элементарное приращение времени. Иначе говоря, вычислитель 3 определяет пройденный путь интегрированием путевой скорости.

Другое вычислительное устройство 4 сопоставляет текущие координаты самолета с местоположением пункта назначения, в ре-



Фиг. 231. Блок-схема автономной системы навигации по методу счисления пути.

зультате чего устанавливается курс, по которому должен лететь самолет, и определяется расстояние до места назначения. Эти данные указываются индикатором 5. Одновременно вычислитель 4 подает сигналы к автопилоту для автоматического следования самолета по требуемому курсу.

Точность автономной навигационной системы определяется точностью работы ее элементов. С этой точки зрения наиболее совершенным способом измерения путевой скорости является радиолокационный, основанный на применении эффекта Доплера—Белопольского.

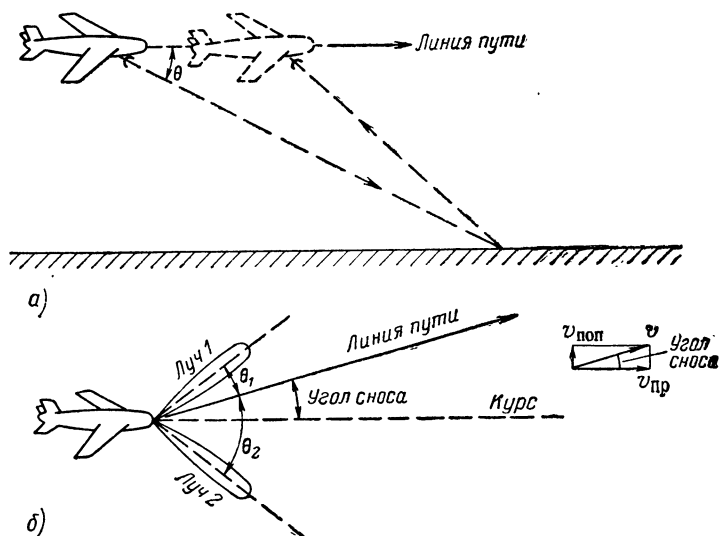
**Метод Доплера.** При определении путевой скорости на основе эффекта Доплера—Белопольского самолетная антенна излучает электромагнитные волны длиной  $\lambda$  под углом  $\theta$  к линии полета самолета (фиг. 232, а). После отражения от земли волны принимаются на том же самолете, но так как самолет движется с путевой скоростью  $v$ , то происходит доплеровское приращение частоты:

$$f_d = \frac{2v \cos \theta}{\lambda}.$$

Как видно из формулы, доплеровская частота прямо пропорциональна путевой скорости самолета, а поэтому, измерив частоту  $f_d$ , можно судить о путевой скорости.

Для полной характеристики вектора путевой скорости должны быть еще известны угол сноса или продольная (по оси самолета) и поперечная составляющие путевой скорости. Это возможно, если антенна доплеровской радиолокационной станции излучает энергию по крайней мере в виде лучей 1, 2, направленных слева и справа от продольной оси самолета под равными углами (фиг. 232, б). Продольная составляющая путевой скорости определяется сложением, а поперечная составляющая — вычитанием доплеровских частот, которые соответствуют лучам 1, 2.

Действительно, если линия пути самолета совпадает с его продольной осью, то угол  $\theta$ , входящий в формулу доплеровской частоты, одинаков для обоих лучей, частоты  $f_d$  для них также одинаковы, и результаты измерений показывают, что существует только продольная составляющая путевой скорости  $v_{пр} = v$ . С увеличением угла сноса линия пути все более отклоняется от продольной



Фиг. 232. Принцип определения путевой скорости, основанный на эффекте Допплера—Белопольского.

оси (курса) самолета, углы  $\theta_1$  и  $\theta_2$ , от которых зависит доплеровская частота, все более различаются, в результате чего сумма доплеровских частот, пропорциональная продольной составляющей  $v_{пр}$ , уменьшается, а разность этих частот, пропорциональная поперечной составляющей путевой скорости  $v_{поп}$ , увеличивается.

Таким образом, вектор путевой скорости измеряется как по величине, так и по направлению. При этом может быть достигнута высокая точность измерения.

Инерциальный метод воздушной навигации основан на измерении ускорений самолета или ракеты. Ускорение — единственная величина, характеризующая движение тела,

которая может быть измерена внутри данного тела без всяких внешних ориентиров. Значит, инерциальная система навигации — автономная в полном смысле этого слова.

Принцип инерциального измерения путевой скорости заключается в следующем. На площадке, стабилизированной горизонтально, размещаются два акселерометра (или два специальных гироскопа), предназначенных для определения ускорений. Измерительная ось одного акселерометра ориентирована в направлении юг—север, а другого — запад—восток. Горизонтальная стабилизация площадки с акселерометрами необходима для того, чтобы сила тяжести была перпендикулярна измерительным осям акселерометров. При этом условия акселерометры не реагируют на ускорение силы тяжести, а измеряют только ускорение движущегося самолета или ракеты. Полученные данные об ускорении интегрируются во времени, в результате чего определяются северная и восточная составляющие путевой скорости.

Интегрируя далее скорость, можно получить пройденный путь.

Инерциальные приборы должны быть изготовлены исключительно точно, но даже очень точные инерциальные приборы при большой дальности полета дают значительные погрешности измерения, так как эти погрешности суммируются, начиная с момента вылета самолета или ракеты.

Выход из создавшегося положения найден в том, что скорость, измеренная инерциальным методом, периодически корректируется путем сравнения с путевой скоростью, измеренной доплеровским методом. Доплеровская радиолокационная станция включается лишь на несколько секунд с небольшими интервалами. Благодаря этому удается избежать помех со стороны противника, сохранив высокую точность измерения скорости и счисления пути.

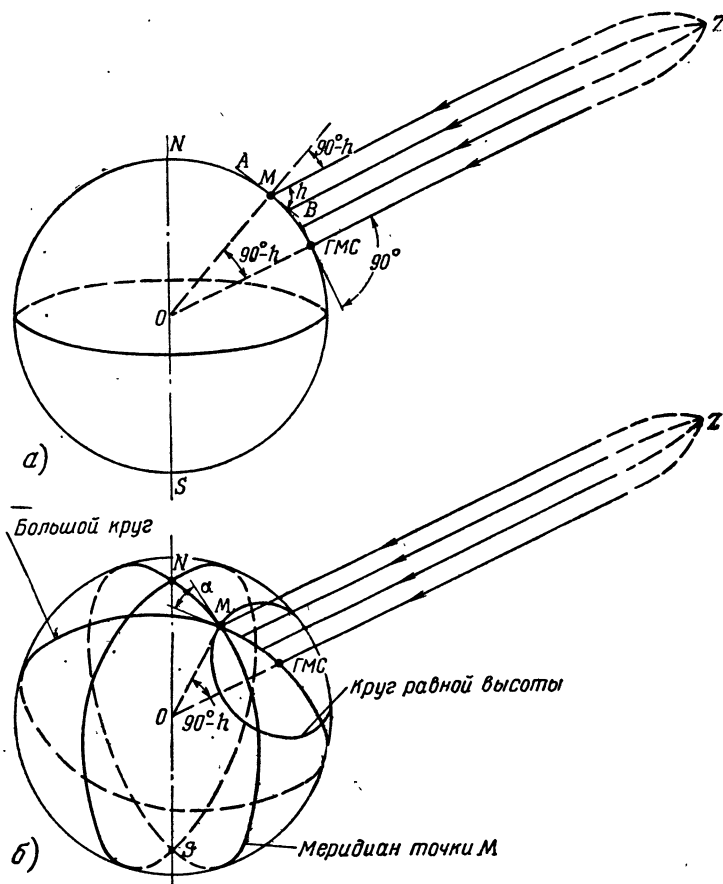
**Астроинерциальные устройства.** Инерциальные системы в некоторых современных автономных навигационных устройствах дополняются астроориентаторами. Это приборы, которые предназначены для автоматического сопровождения определенного небесного светила и непрерывного измерения направления на него.

Один из параллельных лучей, исходящих из небесного светила 2 в направлении к Земле, проходит через ее центр  $O$  (фиг. 233,  $a$ ). Точка пересечения этого луча с земной поверхностью называется геометрическим местом светила (ГМС). ГМС в связи с вращением Земли описывает линию, координаты которой для любого светила зависят от времени. Зависимость ГМС от времени известна из астрономических таблиц.

В произвольной точке Земли  $M$  луч, исходящий от светила  $Z$ , образует с горизонтальной площадкой  $AB$  угол  $h$ , который называется *высотой светила*. В ГМС высота светила  $h=90^\circ$ , поскольку для наблюдателя, находящегося в этой точке, оно расположено в зените.

Второй угловой координатой светила может служить азимут  $\alpha$  — угол между меридианом  $NMS$  точки  $M$  и дугой большого кру-

га, проходящего через точки  $M$  и ГМС (фиг. 233, б). Большой круг ограничивается окружностью, которая описывается из центра Земли  $O$  и может пройти через две любые точки земной поверхности. Для большого круга характерно то, что вдоль него наземные пункты соединяются кратчайшим путем. Поскольку касательные к меридиану и к большому кругу находятся в горизонтальной плоскости  $AB$  (фиг. 233, а), то относительно поверхности Земли азимут



Фиг. 233. К определению высоты и азимута небесного светила.

светила измеряется в горизонтальной плоскости, а высота — в вертикальной. Угол  $\alpha$  (фиг. 233, б) характеризует положение светила постольку, поскольку луч  $ZM$  проектируется на Землю по дуге большого круга  $M$  — ГМС.

Звезды можно считать неподвижными, так как расстояние до них очень велико. Это позволяет определить местоположение самолета по высоте и азимуту звезды, измеренным на самолете. Принцип определения координат самолета заключается в следующем.



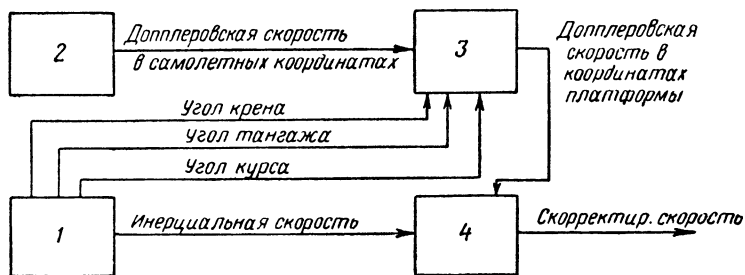
Пользуясь астрономическими таблицами, устанавливают ГМС наблюдаемой звезды для данного момента времени. Нетрудно заметить, что центральный угол  $M-O-\text{ГМС}$  равен  $90^\circ - h$ . Отсюда, зная высоту звезды  $h$ , можно провести из ГМС круг равных высот  $h$ , для каждой точки  $M$  которого угол  $M-O-\text{ГМС}$  равен  $90^\circ - h$ . Теперь остается найти на этом круге именно ту точку  $M$ , в которой дуга большого круга  $M-\text{ГМС}$  образует с меридианом угол, равный азимуту звезды  $\alpha$ . Такая точка может быть только одна.

Практика показала, что азимут измеряется менее точно, чем высота звезды. Поэтому более распространен способ определения местоположения самолета по точке пересечения кругов равных высот двух звезд.

В современных навигационных системах перечисленные расчеты производятся специальными вычислителями. В вычислитель вводятся данные звезд, служащих ориентирами, точное время, результаты измерения высот двух звезд или высоты и азимута одной звезды. Вычислитель определяет координаты самолета и другие навигационные данные.

### § 3. НАВИГАЦИОННО-БОМБАРДИРОВОЧНАЯ СИСТЕМА AN/ASQ-42\*

В этой системе, устанавливаемой на реактивных бомбардировщиках дальнего действия, радиолокационные средства навигации сочетаются с астронавигационными и инерциальными. Система AN/ASQ-42, кроме решения навигационных задач, автоматически



Фиг. 234. Блок-схема вертикальной подсистемы.

вычисляет траекторию бомбы и дает сигнал сбрасывания к соответствующему механизму.

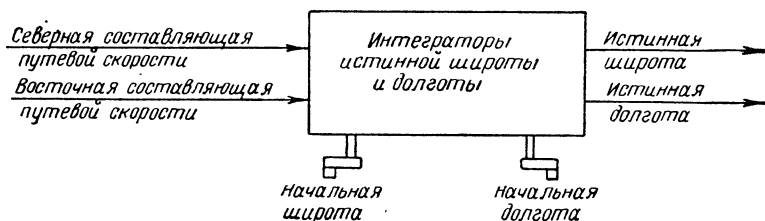
Система AN/ASQ-42 разделяется на следующие подсистемы:

**Вертикальная подсистема** (фиг. 234), которая содержит инерциальное устройство 1, доплеровскую радиолокационную станцию 2, счетно-решающее устройство этой станции 3 и доплеровско-инерциальный смеситель 4. С инерциального устройства данные о путевой скорости подаются на смеситель 4. На этот же смеситель поступают данные о доплеровской скорости, но так как

\* См. Aviation Week, 1959, Aug. 3.

в станции 2 скорость определяется относительно координатной системы самолета, а в инерциальном устройстве 1 — относительно координатной системы гиростабилизированной платформы, то необходимо перейти к единой системе координат.

Следует заметить, что при исследовании движения самолетов и ракет часто приходится сталкиваться с наличием нескольких координатных систем измерений. Например, определяя местонахождение звезд, можно пользоваться неподвижной системой координат. Если систему координат связать с плоскостью, касательной к земной поверхности, то такая система будет вращаться вместе с Землей. Гиростабилизированная платформа дает возможность производить на самолете измерения относительно такой «земной системы координат». Обычно в этой системе две координатные оси находятся в плоскости платформы, причем одна направлена по меридиану, а другая — по параллели; третья ось служит продолжением радиуса Земли. Самолетные координатные оси жестко связаны с самолетом и в общем случае они не параллельны координатным осям платформы.



Фиг. 235. Блок-схема навигационной подсистемы.

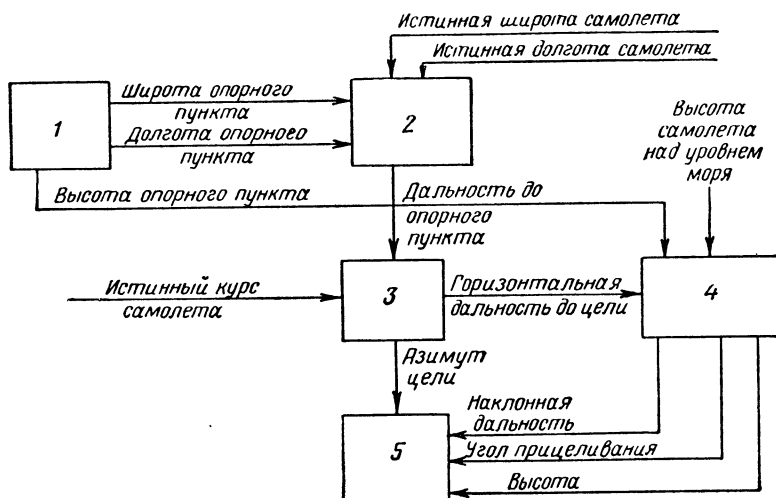
В данном случае доплеровская путевая скорость пересчитывается в координатную систему платформы. Для этого в счетно-решающее устройство 3 вводят углы крена, тангажа и курса согласно пространственному положению платформы. Смеситель 4 сопоставляет инерциальную и пересчитанную доплеровскую скорости, в результате чего к подсистеме курса поступают более точные данные о путевой скорости.

*Подсистема курса* определяет истинный курс самолета. Этот курс все время корректируется по астроориентатору. Днем астрономическим ориентиром служит Солнце, а ночью — звезды.

*Навигационная подсистема* (фиг. 235) на основании данных вертикальной подсистемы о путевой скорости самолета и подсистемы курса об истинном курсе самолета определяет истинную широту и долготу самолета. Для этого в навигационную подсистему вводятся широта и долгота места вылета, а затем интегрируются северная и восточная составляющие путевой скорости.

*Подсистема прицела* (фиг. 236) корректирует вычисленные координаты самолета по данным поисковой радиолокационной станции и, кроме того, обеспечивает автоматическую радиолокационную съемку в нужных пунктах.

Первая задача разрешается следующим образом. Из блока 1, где хранятся координаты опорных пунктов, расположенных на Земле, в вычислительное устройство 2 поступают данные о широте и долготе того или иного пункта. Сюда же поступает информация из навигационной подсистемы об истинной широте и долготе самолета. Сопоставив эти данные, вычислительное устройство 2 устанавливает для другого вычислительного устройства 3 расстояние между самолетом и опорным пунктом. Устройство 3 учитывает также данные об истинном курсе самолета, полученные в подсистеме курса, и определяет горизонтальную (наземную) дальность и азимут опорного пункта (цели). Следующее вычислительное устройство 4 на основании полученной информации о высоте опорного пункта и его горизонтальной дальности, а также о высоте самолета над уровнем моря определяет наклонную дальность



Фиг. 236. Блок-схема подсистемы прицела.

и угол прицеливания данного пункта и соответствующую высоту самолета.

Полученные данные вводятся в радиолокационную станцию 5 вместе с информацией об азимуте того же пункта. Оператор перемещает визир индикатора станции до совпадения с отметкой опорного пункта (цели), и если имеется несоответствие между координатами пункта, вычисленными указанным путем и измеренными радиолокационной станцией, то появятся корректирующие сигналы, которые позволяют уточнить координаты самолета и привести результаты вычисления к показаниям индикатора станции.

В станции имеется дополнительный индикатор, с которого фотографируется изображение посредством специальной фотокамеры. Автоматическое дальномерное устройство без участия оператора обеспечивает фотосъемку в заданных пунктах.

*Индикаторная подсистема* состоит из индикаторов, указывающих измеряемые системой величины, органов управления и счетно-решающих устройств, которые производят многочисленные расчеты, связанные с навигационными задачами. В частности, данные о высоте самолета над уровнем моря, которые были использованы в подсистеме прицела, получены в индикаторной подсистеме на основании показаний барометрических приборов, скорректированных радиовысотомером.

*Подсистема обнаружения дефектов* предназначена для обнаружения неисправного элемента системы путем сопоставления показаний различных индикаторов. Тестеры и сигнальные лампы указывают неисправный элемент, благодаря чему штурман может его отключить соответствующим переключением.

Подсистема бомбометания может сопрягаться с приставкой для бомбометания, разведки или другого назначения. Эта подсистема сменная. В случае бомбометания ее назначение заключается в определении траектории и момента сброса бомбы, пункта взрыва и других данных. Исходные величины для счетно-решающего устройства этой подсистемы поступают из навигационной подсистемы; в процессе вычислений автоматически вводятся поправки на кориолисово ускорение, ветер и другие явления.

Вес всей системы AN/ASQ-42 около 900 кг.

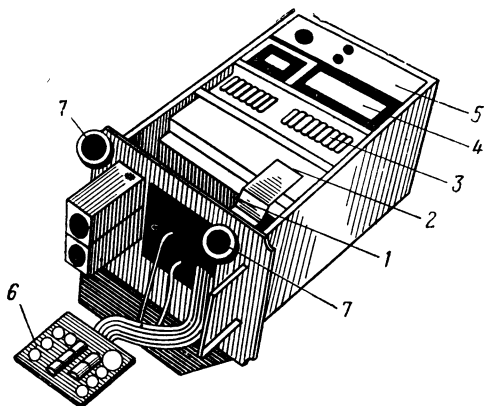
#### § 4. УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ САМОЛЕТНЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ

В последние годы самолетные радиолокационные станции были значительно усовершенствованы в конструктивном отношении.

В качестве примера можно привести радиолокационную станцию 3-см диапазона, описанную в статье «Новая техника производства самолетной радиоаппаратуры» (Вопросы радиолокационной техники, ИЛ, 1955, № 4).

Эта станция мощностью 10 квт в импульсе состоит из одного блока (фиг. 237) и вспомогательного оборудования. Блок разделен на пять отсеков. В отсеке 1 помещается высокочастотная часть станции, в отсеке 2 — модулятор, отсек 3 отведен для счетно-решающего устройства, отсек 4 — для блока питания, а отсек 5 — для стабилизатора напряжения переменного тока и регулятора первичных источников питания.

В станции, как правило, применяются типовые миниатюрные



Фиг. 237. Блок малогабаритной самолетной радиолокационной станции.

детали. Сопротивления — объемные, углеродистые. Конденсаторы имеют стекловидный диэлектрик и остеклованы снаружи. Там, где по условиям монтажа удобно, используют несколько таких конденсаторов с общей остекловкой. Импульсный трансформатор задающего блокинг-генератора герметизирован в кожухе, залитом силиконовой смолой. Другие детали модулятора, как дроссель, импульсный трансформатор, анодный и накальный трансформаторы магнетрона, залиты стироловой или силиконово-резиновой смолой. Реле имеют катушки с керамической изоляцией и герметизированы в запаянном корпусе.

Баллоны выпрямительных и балластных ламп, расположенных в отсеке источника постоянного тока, охлаждаются благодаря тому, что эти лампы расположены в блоке, залитом жидкостью. Все перечисленные трансформаторы, дроссели, реле и другие сравнительно крупные детали рассчитаны на длительную работу при температуре, достигающей  $+125^{\circ}\text{C}$ , а такие детали, как сопротивления и конденсаторы, — на рабочую температуру порядка  $+175 \div +200^{\circ}\text{C}$ .

Детали станции монтируются не на шасси блока, как обычно, а на съемных платах, которые изготовлены из изоляционного материала и содержат всю схему соединения между деталями, нанесенную печатным способом. На каждой плате имеется ряд ленточных контактов, образующих ряд вдоль того края платы, который примыкает к задней стенке блока. Здесь происходит соединение с ленточными проводами, имеющимися на других платах, расположенных вертикально вдоль задней стенки отсеков. Каждая вертикальная плата подключается к общей монтажной плате, расположенной горизонтально под отсеками. Некоторые детали вынесены на переднюю панель блока. Часть этой панели *б* сделана съемной.

Смена любой платы производится в течение нескольких минут. Система ленточных пружинных контактов позволяет выдвинуть блок из кожуха на  $\frac{4}{5}$  его длины, сохранив при этом работоспособность блока. В случае необходимости можно полностью вынуть блок из кожуха, не нарушая работу станции. Для этого следует лишь удлинить штекеры, разъемы и кабели.

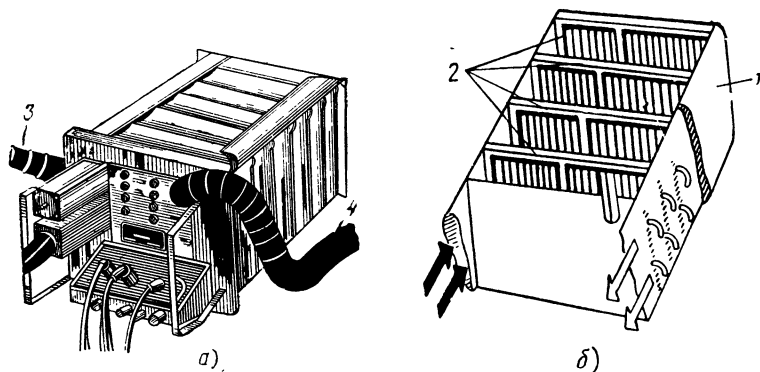
Обычно монтаж и демонтаж волноводных элементов требуют большой затраты времени. В данном случае волноводный фланец и панель в высокочастотной головке сделаны съемными, а поэтому они могут быть заменены еще быстрее, чем обычная монтажная панель. Контроль работы станции облегчается тем, что панель управления сделана откидной и на одном из разъемов имеются выводы для измерения режима блока.

Несмотря на применение высококачественных деталей, температурный режим станции был бы ненормальным, если бы не было специальной системы охлаждения, которая в данной станции выполнена оригинально.

Весь блок сделан герметичным (фиг. 238). Его боковые стенки *1* полые, а отсеки разделены охлаждающими платами *2*, которые изготовлены из алюминия и магния. Охлажденный воздух под-

водится к платам через трубопровод 3 и отводится от плат через трубопровод 4. Трубопроводы подключаются к блоку через разъемы 7, показанные на фиг. 237. Степень охлаждения, создаваемого каждой платой, может регулироваться перегородками в трубопроводах. Для сохранения герметичности системы штекеры, соединяющие переднюю панель с общей горизонтальной платой, помещены в три герметичные насадки. Возле высокочастотной головки находится небольшой вентилятор для выравнивания температуры отсека.

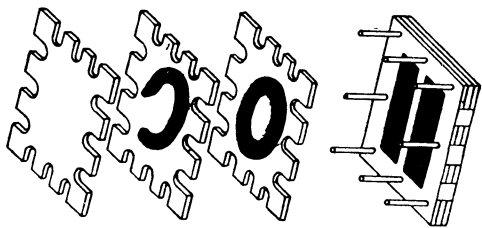
Согласно иностранной печати в настоящее время проводится большая исследовательская работа по дальнейшему усовершенствованию радиоэлектронной аппаратуры в направлении ее микро-



Фиг. 238. Внешний вид малогабаритной самолетной радиолокационной станции (а) и ее охлаждаемого шасси (б).

миниатюризации<sup>1</sup>. В конструкцию вводятся так называемые микромодули, составленные из квадратных керамических галет миниатюрного стандартного размера ( $7,5 \times 7,5 \times 0,25$  мм). На каждую галету методом печатания, травления, диффузии или испарения наносится одна или несколько деталей схемы, например, полупроводниковый прибор, сопротивление, емкость, индуктивность. Галеты, примыкая друг к другу с зазором не более 0,25 мм, образуют определенную схему или блок (фиг. 239).

Уже разработаны такие элементы микромодулей, как пленочные металлические сопротивления, рассчитанные на мощность 0,5 вт, прецизионные и



Фиг. 239. Микромодули.

<sup>1</sup> Proceedings of the IRE, 1959, vol. 47, No. 5. Aviation Week, 1958, June 9, vol. 68, No. 23. Electronics, 1958, June, vol. 31, No. 26.

пленочные металлические конденсаторы с рабочим напряжением 50—100 в, индуктивности с ферритовыми сердечниками добротностью более 100, силовоточные диоды, усилительные триоды на частотах до 70 Мгц; в одном элементе могут сочетаться индуктивность, емкость и активное сопротивление.

Большой интерес представляет конструкция схемы в виде германиевой или кремниевой пластины размерами  $6,4 \times 3,2 \times 0,8$  мм, на которой распределен ряд элементов, образующих законченную схему. В данном случае пластина не является простой панелью для монтажа, а ее полупроводниковые свойства используются для получения в одном элементе всех деталей, необходимых для работы схемы; при этом не применяются соединительные провода. На такой пластине, не превышающей по размерам спичечную головку, выполнен, например, мультивибратор, состоящий из двух триодов, восьми сопротивлений и двух конденсаторов.

Применение микромодулей дает ряд преимуществ:

- а) очень большую плотность размещения деталей (десятки на  $1 \text{ см}^3$ ) и как следствие — малый объем аппаратуры;
- б) резкое сокращение монтажных соединений;
- в) автоматизацию изготовления и сборки;
- г) улучшение работы блока или станции за счет возможности качественного исследования и испытания отдельных элементов микромодулей;

д) отсутствие пайки в блоках, что значительно повышает надежность их работы.

Система микромодулей стирает грань между производством радиолокационной аппаратуры и изготовлением ее деталей.

---

## ЛИТЕРАТУРА

1. Американские и английские радионавигационные системы. Перев. с англ. Воениздат, 1948.
2. Астафьев Г. П., Шебшаевич В. С., Юрков Ю. А. Радионавигационные устройства и системы, «Советское радио», 1958.
3. Баркан В. Ф. и Жданов В. К. Радиоприемные устройства. Оборонгиз, 1956.
4. Белоцерковский Г. Б. Антенны. Оборонгиз, 1956.
5. Белоцерковский Г. Б. Миллиметровые волны. Госэнергониздат, 1959.
6. Бекетов В. И. Антенны сверхвысоких частот. Воениздат, 1957.
7. Берже М. Радиовзрыватели. Вопросы радиолокационной техники. ИЛ, 1952, № 1.
8. Богомолов А. Ф. Основы радиолокации. «Советское радио», 1954.
9. Бромберг П., Хилл Р. Надежность элементов электронного оборудования самолетов. Вопросы радиолокационной техники. ИЛ, 1954, № 1.
10. Бувье. Радиолокационные станции с автоматическим сопровождением цели. Вопросы радиолокационной техники. ИЛ, 1957, № 5.
11. Вая Дейк А. Авиационная электроника. Вопросы радиолокационной техники. ИЛ, 1954, № 3.
12. Волжин А. Н., Янович В. А. Противорадиолокация. Воениздат, 1960.
13. Высоцкий Б. Ф., Харыбин А. Е. Радиолокационные устройства, Оборонгиз, 1960.
14. Генерирование электрических колебаний специальной формы, ч. I, II. Перев. с англ. под редакцией Л. Ю. Блюмберга и Т. Р. Брахмана. «Советское радио», 1951.
15. Гитис Э. И. Электрорадиоавтоматика. Госэнергониздат, 1959.
16. Гуткин Л. С. Принципы радиоуправления беспилотными объектами. «Советское радио», 1959.
17. Детали и элементы радиолокационных станций, ч. II. Перев. с англ. под редакцией А. Я. Брейтбарта. «Советское радио», 1952.
18. Импульсные радионавигационные устройства. Перев. с англ. под редакцией Д. Д. Дьякова. Воениздат, 1955.
19. Ицхоки Я. С. Импульсная техника. «Советское радио», 1949.
20. Калмус Г., Качерис Дж., Дронкин Г. Высотомер с частотной модуляцией без постоянной ошибки. Вопросы радиолокационной техники. ИЛ, 1954, № 3.
21. Кривицкий Б. Х. Импульсные схемы и устройства. «Советское радио», 1955.
22. Ламповые схемы для измерения времени, ч. I, II. Перев. с англ. под редакцией А. Я. Брейтбарта. «Советское радио», 1951.
23. Листов К. М., Трофимов К. Н. Радио и радиолокационная техника и их применение. Воениздат, 1960.
24. Локк А. С. Управление снарядами. Гостехиздат, 1957.
25. Ляпунов Б. В. Управляемые снаряды. Воениздат, 1956.
26. Лыков И. А. Координаты, определяемые радиолокатором. Воениздат, 1957.
27. Майоров Ф. В. Электронные вычислительные машины и их применение. Воениздат, 1959.
28. Марисов В. И., Кучеров И. К. Управляемые снаряды. Воениздат, 1959.



29. Марголин М. А., Румянцев Н. П. Основы инфракрасной техники. Воениздат, 1957.
  30. Меерович Л. А., Зеличенко Л. Г. Импульсная техника. «Советское радио», 1954.
  31. Мигулин В. В. Лекции по основам радиолокации. Изд. МГУ, 1958.
  32. Моторичев И. А. Регулировка усиления и АПЧ. Воениздат, 1958.
  33. Надежность наземного радиоэлектронного оборудования. «Советское радио», 1957.
  34. Наземные американские и английские радиолокационные станции. Перев. с англ. Воениздат, 1947.
  35. Нелелец В. С., Белоцерковский Г. Б. Основы радиолокации. Оборонгиз, 1954.
  36. Обнаружение импульсных сигналов, величина которых меньше уровня шумов. Зарубежная радиоэлектроника. «Советское радио», 1958, № 6.
  37. Петров В. П., Сочинко А. А. Управление ракетами. Воениздат, 1959.
  38. Принципы радиолокации, ч. I, II. Перев. с англ. «Советское радио», 1949.
  39. Радиолокационная техника, ч. I, II. Перев. с англ. «Советское радио», 1949.
  40. Радиолокационные взрыватели. Вопросы радиолокационной техники. ИЛ, 1955, № 6.
  41. Рерих. Обнаружение ракет радиолокационными станциями сверхдальнего действия. Радиотехника и радиоэлектроника за рубежом. ИЛ, 1959, № 4.
  42. Современная военная техника. Воениздат, 1956.
  43. Сайбель А. Г. Основы радиодальнометрии. Оборонгиз, 1960.
  44. Сайбель А. Г. К теории частотных радиовысотомеров. Из сборника «Некоторые вопросы импульсной техники и техники СВЧ». Оборонгиз, 1957.
  45. Сиверс А. П. Радиолокационные приемники. «Советское радио», 1952.
  46. Сиверс А. П., Суслов Н. А. Основы радиолокации. «Советское радио», 1956.
  47. Сифоров В. И. Радиоприемные устройства, Воениздат, 1955.
  48. Сифоров В. И. Радиоприемники сверхвысоких частот. Воениздат, 1956.
  49. Скол. Новая техника производства самолетной радиоаппаратуры. Вопросы радиолокационной техники. ИЛ, 1955, № 4.
  50. Соколовский Ю. И. Кибернетика настоящего и будущего. Харьковское книжное издательство, 1959.
  51. Солодяжников Н. Н. Радиолокация. Госэнергоиздат, 1956.
  52. Техника радиолокации, ч. I, II. Перев. с англ. под редакцией В. И. Шамшура. Воениздат, 1949.
  53. Траскин К. А. Радиолокационная техника и ее применение. Воениздат, 1956.
  54. Трофимов К. Н. Радиолокация. Воениздат, 1957.
  55. Уимберли Лейн. Радиовысотомер AN/APN-22. Вопросы радиолокационной техники. ИЛ, 1955, № 4.
  56. Фролкин В. Т. Индикаторные устройства. Оборонгиз, ч. I, 1956, ч. II, 1959.
  57. Холахан. Современное состояние радиолокации. Радиотехника и радиоэлектроника за рубежом. ИЛ, 1959.
  58. Airborne Radar Specifications, «Electronics», 1947, vol. 20, No. 2.
  59. Goldman Albert, Pulse-Type Radio Altimeter, «Electronics», 1946, vol. 19, No. 6.
  60. Danko S. F., Doxey W. L. and McHaul I. R., The Micro-Module a Logical Approach to Microminiaturisation, Proceedings of the IRE, 1959, vol. 47, No. 5.
  61. F-M Radar Altimeter. «Electronics», 1946, vol. 19, No. 4.
  62. I. S. Haal. Radar Aids to Navigation, New York and London, 1947.
  63. Holdam J. V. S. McGrath and Cole A. D. Radar for Blind Bombing, «Electronics», 1946, vol. 19, No. 5, 6.
  64. W. S. Hinman J. R. a. Cleddo Brunetti. Radio Proximity-Fuse Development, Proceedings of the IRE and Waves and Electrons, 1946, vol. 34, No. 12.
-

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	<i>Стр.</i>
Предисловие . . . . .	3
Введение . . . . .	4
§ 1. Назначение и классификация радиолокационных и импульсных радионавигационных станций . . . . .	4
А. Радиолокационные станции . . . . .	4
Б. Импульсные радионавигационные устройства . . . . .	10
§ 2. Основные характеристики радиолокационных станций . . . . .	14
А. Передатчик . . . . .	15
Б. Приемник . . . . .	17
В. Индикаторное устройство . . . . .	19
Г. Антенно-фидерное устройство . . . . .	25
§ 3. Выбор основных параметров радиолокатора . . . . .	31

### Раздел первый

#### НАЗЕМНЫЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ СТАНЦИИ

<i>Глава 1. Радиолокационные станции обнаружения и наведения . . . . .</i>	<i>37</i>
§ 1. Общие сведения . . . . .	37
§ 2. Основные блоки станций . . . . .	48
§ 3. Назначение и тактико-технические данные станции обнаружения П-ЗА . . . . .	59
§ 4. Блок-схема станции П-ЗА . . . . .	62
§ 5. Передатчик . . . . .	67
§ 6. Приемник . . . . .	74
§ 7. Отметчик . . . . .	82
А. Основные элементы отметчика . . . . .	82
Б. Питание отметчика . . . . .	85
В. Канал развертки . . . . .	86
Г. Схема подсвета . . . . .	91
Д. Калибратор масштаба . . . . .	91
Е. Выходной каскад усилителя промежуточной частоты . . . . .	92
Ж. Конструктивное оформление отметчика . . . . .	94
§ 8. Антенно-фидерное устройство . . . . .	94
А. Конструкция антенны . . . . .	95
Б. Редуктор антенны . . . . .	96
В. Электрическая схема антенно-фидерного устройства . . . . .	97

	<i>Стр.</i>
Г. Гониометр . . . . .	101
Д. Азимутальная антенна и антенный коммутатор . . . . .	105
Е. Выпрямитель электродвигателя редуктора и азимутальный прибор . . . . .	108
§ 9. Питание станции . . . . .	112
<b>Глава II. Станции оружейной наводки . . . . .</b>	<b>113</b>
§ 1. Особенности станций оружейной наводки . . . . .	113
А. Общие сведения . . . . .	113
Б. Автоматическое сопровождение по направлению . . . . .	116
В. Основные блоки станций оружейной наводки . . . . .	126
§ 2. Тактико-технические данные станции и их обоснование . . . . .	131
§ 3. Блок-схема станции SCR-584 . . . . .	135
§ 4. Передатчик . . . . .	140
§ 5. Антенно-фидерная система . . . . .	148
§ 6. Приемник . . . . .	155
§ 7. Блок дальности . . . . .	172
§ 8. Блок отметчиков дальности . . . . .	182
§ 9. Блок питания системы дальности . . . . .	188
§ 10. Индикатор кругового обзора . . . . .	190
А. Блок трубки кругового обзора . . . . .	190
Б. Блок отметчика кругового обзора . . . . .	193
В. Блок питания системы кругового обзора . . . . .	201
§ 11. Система управления антенной . . . . .	203
А. Блок автоматического сопровождения . . . . .	203
Б. Блок сопровождения по азимуту и углу места . . . . .	206
В. Ручное управление антенной, автопоиск и управление от ПУАЗО . . . . .	210
Г. Блок и переключатель управления антенной . . . . .	213
§ 12. Система передачи данных . . . . .	216
<b>Глава III. Дополнительные сведения о радиолокационных средствах ПВО . . . . .</b>	<b>226</b>
§ 1. Радиолокационные взрыватели . . . . .	226
А. Назначение и принцип действия . . . . .	226
Б. Элементы радиолокационного взрывателя . . . . .	229
§ 2. Зенитные управляемые снаряды . . . . .	233
А. Общие сведения . . . . .	233
Б. Пассивное самонаведение снарядов . . . . .	235
В. Активное и полуактивное самонаведение снарядов . . . . .	240
Г. Управление снарядами по лучу . . . . .	242
Д. Управление снарядами при помощи командных сигналов . . . . .	244
§ 3. Электронные цифровые вычислительные машины . . . . .	247
А. Общие сведения . . . . .	247
Б. Ввод чисел в машину и их запоминание . . . . .	250
В. Арифметические и логические операции . . . . .	254
Г. Управляющее и выходное устройства . . . . .	258
§ 4. Автоматизация ПВО . . . . .	260

## Раздел второй

## САМОЛЕТНЫЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ СТАНЦИИ

<b>Глава IV. Особенности самолетной радиолокационной аппаратуры . . .</b>	<b>265</b>
§ 1. Требования, предъявляемые к самолетным радиолокационным станциям . . . . .	265
§ 2. Особенности конструкций самолетных радиолокационных станций . . . . .	267
<b>Глава V. Самолетные радиовысотомеры . . . . .</b>	<b>272</b>
§ 1. Особенности частотных радиовысотомеров . . . . .	272
§ 2. Тактико-технические данные радиовысотомера малых высот . . . . .	281
§ 3. Принципиальная схема радиовысотомера малых высот . . . . .	284
А. Передающая часть радиовысотомера AN/APN-1 . . . . .	284
Б. Приемная часть радиовысотомера . . . . .	287
§ 4. Частотный радиовысотомер с непрерывным отсчетом высоты . . . . .	293
§ 5. Общие сведения о радиовысотомерах больших высот . . . . .	295
§ 6. Принципиальная электрическая схема радиовысотомера больших высот типа SCR-718C . . . . .	298
А. Передатчик . . . . .	298
Б. Приемник . . . . .	301
В. Блок индикатора . . . . .	303
<b>Глава VI. Самолетные радиолокационные дальномеры . . . . .</b>	<b>307</b>
§ 1. Особенности самолетных радиолокационных дальномеров . . . . .	307
§ 2. Основные данные самолетных радиолокационных дальномеров . . . . .	314
§ 3. Принципиальная электрическая схема дальномерного блока ARO-I . . . . .	318
А. Схема автоматического сопровождения объекта по дальности . . . . .	318
Б. Схема автоматического поиска по дальности . . . . .	323
В. Остальные каскады дальномерного блока . . . . .	325
§ 4. Усовершенствованный самолетный радиодальномер . . . . .	327
<b>Глава VII. Самолетные радиолокационные станции для навигации и слепого бомбометания . . . . .</b>	<b>339</b>
§ 1. Особенности панорамных радиолокационных станций . . . . .	339
А. Особенности антенного устройства панорамной радиолокационной станции . . . . .	340
Б. Особенности индикации в самолетных панорамных радиолокационных станциях . . . . .	343
В. Измерение дальности и азимута в самолетных панорамных радиолокационных станциях . . . . .	350
Г. Передатчики самолетных панорамных радиолокационных станций . . . . .	357
Д. Автоматическая регулировка в самолетных панорамных радиолокационных станциях . . . . .	358
Е. Навигация при помощи панорамных радиолокационных станций . . . . .	362
§ 2. Тактико-технические данные станций H <sub>2</sub> X . . . . .	365
§ 3. Блок-схема самолетной радиолокационной станции APS-15 . . . . .	369

§ 4. Блок дальности . . . . .	373
А. Канал деления частоты . . . . .	373
Б. Канал ступенчатой задержки . . . . .	375
В. Канал получения измерительной метки дальности . . . . .	382
Г. Канал запуска развертки и маркерных отметок высоты . . . . .	383
§ 5. Блок передатчика . . . . .	385
А. Модулирующее устройство станции . . . . .	385
Б. Усовершенствованный передатчик самолетного панорамного радиолокатора . . . . .	387
В. Конструкции передатчиков самолетных панорамных радиолокаторов . . . . .	390
§ 6. Антенно-фидерная система . . . . .	392
§ 7. Приемное устройство . . . . .	396
А. Преобразователь частоты, усилитель промежуточной частоты, видеодетектор и видеусилитель . . . . .	396
Б. Схема автоматической подстройки частоты . . . . .	398
В. Дiodно-транзитронная схема АПЧ . . . . .	404
§ 8. Получение развертки индикаторов и синхронизация работы станций $H_2X$ . . . . .	408
А. Синхронизация работы станции APS-15 . . . . .	408
Б. Канал развертки индикаторов станции . . . . .	412
<b>Глава VIII. Некоторые направления в совершенствовании самолетной радиолокационной аппаратуры . . . . .</b>	<b>414</b>
§ 1. Общие сведения . . . . .	414
§ 2. Системы навигации современных самолетов . . . . .	415
§ 3. Навигационно-бомбардировочная система AN/ASQ-42 . . . . .	420
§ 4. Усовершенствование конструкций самолетных радиолокационных станций . . . . .	423
<b>Литература . . . . .</b>	<b>427</b>

Григорий Бенционович Белоцерковский  
РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ УСТРОЙСТВА

Издательский редактор М. Ф. Богомолова

Техн. ред. П. А. Пухликова

Г77060

Подписано в печать 3/III 1961 г.

Учетно-изд. л. 29,74.

Формат бумаги  $60 \times 92^{1/16} = 14,50$  бум. л. — 29,00 печ. л., в т. ч. 7 вкл.

Цена 1 р. 19 к.

Тираж 18 000

Заказ 867/1654

Типография Оборонгиза

