



А. В. Врублевский

РАЗВЕРТКИ ИНДИКАТОРОВ

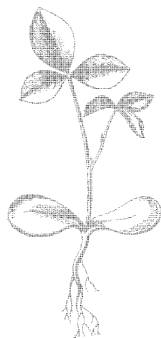
ВОЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ СОЮЗА ССР
МОСКВА — 1957

РАДИОЛОКАЦИОННАЯ ТЕХНИКА

А. В. ВРУБЛЕВСКИЙ

РАЗВЕРТКИ ИНДИКАТОРОВ

ВОЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ СОЮЗА ССР
МОСКВА — 1957



А. В. Врублевский. РАЗВЕРТКИ ИНДИКАТОРОВ

Брошюра «Развертки индикаторов» входит в выпускаемую Военным издательством библиотеку «Радиолокационная техника». Библиотека рассчитана на офицеров, связанных с эксплуатацией радиотехнических средств. Она может быть также использована широким кругом читателей, желающих подробно ознакомиться с работой отдельных узлов и элементов радиолокационных станций.

Перечень брошюр, входящих в библиотеку «Радиолокационная техника», помещен на 3-й странице обложки.

В брошюре «Развертки индикаторов» дана классификация осциллографических индикаторов, указаны типы и параметры разверток.

ВВЕДЕНИЕ

Индикатором¹ радиолокационной станции называется устройство, преобразующее электрические сигналы в сигналы видимые или слышимые и позволяющее производить отсчет координат объекта (цели).

Импульсы, отраженные от цели, поступают на индикатор с выхода приемника радиолокационной станции. Индикатор преобразует электрические импульсы в акустические или световые сигналы, т. е. дает возможность обнаружить цель. Кроме того, по индикатору можно непрерывно определять координаты (дальность, азимут и угол места) неподвижных и подвижных целей. Знание координат цели необходимо для подготовки данных артиллерийской стрельбы, для тактической оценки воздушной обстановки, наведения своих истребителей на самолеты противника и т. д.

Индикатор существенно влияет на основные тактико-технические данные радиолокационной станции (точность определения координат, разрешающую способность и т. п.). Этот вопрос подробно рассмотрен в брошюре «Технические данные радиолокационной станции», входящей в библиотеку «Радиолокационная техника».

В практике встречаются следующие виды индикаторов:

- акустические;
- оптические;
- стрелочные;
- осциллографические.

Акустические индикаторы наиболее просты по своему устройству. В них в качестве прибора, преобразующего электрические сигналы в сигналы слышимые, используются телефоны или громкоговорители. Принцип ра-

¹ Иногда вместо термина «индикатор» применяют термин «отметчик».

боты акустических индикаторов состоит в том, что приемник радиолокационной станции преобразует принятые высокочастотные сигналы в электрические колебания звуковой частоты. Эти колебания подаются, например, на громкоговоритель, который воспроизводит их как звук определенного тона. По наличию звука можно судить о появлении цели в зоне обнаружения станции, а по интенсивности звука — грубо определить дальность этой цели.

Оптические индикаторы по принципу работы аналогичны акустическим. Разница состоит лишь в том, что принятый сигнал преобразуется не в звуковой, а в световой сигнал. Для этой цели применяются сигнальные лампы различных типов.

Стрелочные индикаторы нашли применение в некоторых радиолокационных станциях. Индикатором в данном случае служит обычно высокочувствительный прибор магнитоэлектрической системы. Прибор включается в диагональ мостовой схемы. При появлении сигнала, отраженного от цели, равновесие моста нарушается и стрелка прибора отклоняется.

Осциллографические индикаторы получили широкое распространение в радиолокации. В этих индикаторах, как и в оптических, принятые сигналы преобразуются в сигналы видимые, но в качестве преобразователя используется электронно-лучевая трубка. Подробные сведения об электронно-лучевых трубках различных типов читатель найдет в брошюре «Электронно-лучевая трубка» библиотеки «Радиолокационная техника». Здесь же мы только вкратце укажем основные достоинства электронно-лучевой трубки.

Во-первых, на экране электронно-лучевой трубки можно одновременно наблюдать импульсы, отраженные от нескольких целей, т. е. непрерывно следить за изменением окружающей обстановки.

Во-вторых, при помощи электронно-лучевой трубки можно быстро и просто сравнивать форму и интенсивность отраженных импульсов, что дает возможность определять характер целей (количество самолетов в группе, тип самолета и т. д.).

И, наконец, в-третьих, электронно-лучевая трубка практически безынерционна: отметка цели возникает на экране трубки одновременно с приходом отраженного сигнала. Это позволяет использовать трубку для наблюдения весьма быстрых электрических процессов.

Все это и привело к широкому применению электронно-лучевых трубок для индикации отраженных от целей сигналов, т. е. к применению различных типов осциллографических индикаторов.

Следует заметить, что сейчас в ряде радиолокационных станций используются так называемые автоматические индикаторы, которые выдают координаты цели непосредственно на исполнительные устройства. В таких индикаторах координаты цели с экрана не считываются.

КЛАССИФИКАЦИЯ ОСЦИЛЛОГРАФИЧЕСКИХ ИНДИКАТОРОВ

Осциллографические индикаторы¹ можно классифицировать по различным признакам. Такими признаками могут быть: назначение индикатора, точность отсчета координат цели, метод индикации отраженных сигналов, тип применяемой развертки и др. Рассмотрим кратко классификацию индикаторов по наиболее характерным признакам.

По назначению индикаторы делятся на следующие группы:

- индикаторы измерения дальности² (индикаторы дальности);
- индикаторы измерения азимута (индикаторы азимута);
- индикаторы измерения угла места (индикаторы угла места);
- индикаторы измерения дальности и азимута или дальности и угла места;
- индикаторы измерения азимута и угла места;
- индикаторы измерения высоты.

Этот вид классификации очень прост: достаточно знать, какую координату цели можно определить при помощи данного индикатора, чтобы отнести его к той или иной группе.

Индикаторы, определяющие только одну координату цели (дальность, азимут или угол места), называются иногда одномерными, а определяющие одновременно две координаты (дальность и азимут, дальность и угол места, азимут

¹ Далее вместо термина «осциллографические индикаторы» чаще используется термин «индикаторы».

² В станциях орудийной наводки обычно применяются два индикатора дальности: грубого и точного отсчетов.

и угол места), — двухмерными. Существуют и трехмерные индикаторы, т. е. индикаторы, при помощи которых можно измерить три координаты цели. Но, как правило, точность измерения третьей координаты в таких индикаторах невысока.

По точности отсчета координат цели индикаторы делятся на точные и грубые. Грубые индикаторы используются при обнаружении цели и дают возможность с невысокой степенью точности определять ее координаты. Точные индикаторы позволяют определять координаты цели с высокой степенью точности. Например, дальность цели при помощи такого индикатора можно измерить с точностью до десятков метров.

По методу индикации отраженных сигналов индикаторы можно разделить на две большие группы:

- с амплитудной отметкой отраженных сигналов;
- с яркостной отметкой отраженных сигналов.

По типу применяемой развертки индикаторы делятся на следующие группы:

- с прямой разверткой;
- с кольцевой разверткой;
- со спиральной разверткой;
- с радиально-круговой разверткой;
- с разверткой типа азимут — дальность;
- с разверткой типа азимут — угол места;
- с разверткой типа дальность — высота.

Можно классифицировать индикаторы и по некоторым другим признакам: по закону изменения напряжения развертки, по частоте напряжения развертки, по характеру зависимости развертки от внешних напряжений и т. д. Однако на практике такая классификация применяется крайне редко.

МЕТОДЫ ИНДИКАЦИИ ОТРАЖЕННЫХ СИГНАЛОВ

Как уже указывалось, все осциллографические индикаторы, применяемые в радиолокационных станциях, по методу индикации отраженных сигналов можно разделить на две группы: 1-я группа — это индикаторы с амплитудной отметкой отраженных сигналов, 2-я группа — индикаторы с яркостной отметкой.

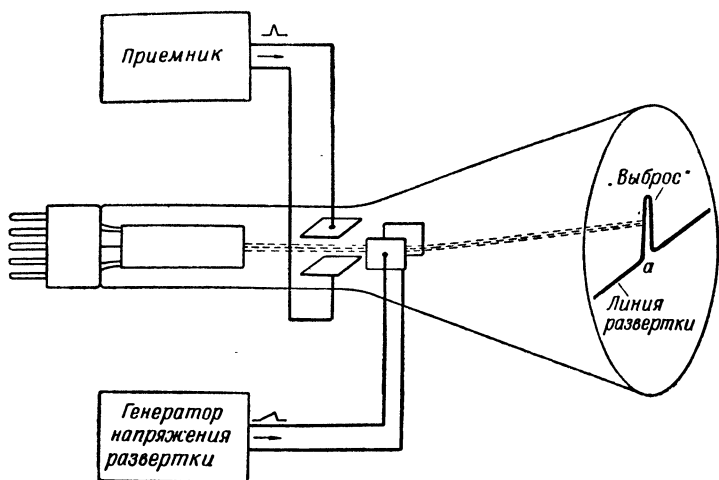


Рис. 1. Принцип действия индикатора с амплитудной отметкой отраженного сигнала

Индикатором с амплитудной отметкой отраженного сигнала называется индикатор, в котором сигнал вызывает отклонение («выброс») следа электронного луча от линии развертки на экране электронно-лучевой трубки. Рассмотрим принцип работы такого индикатора (рис. 1).

Как известно, напряжение пилообразной формы, приложенное к горизонтально отклоняющим пластинам электронно-лучевой трубки, вызывает появление линии развертки на экране трубки. Линия развертки — это след движения электронного луча по экрану трубки под действием напряжения развертки.

Допустим, что каждый раз, как только электронный луч в своем движении по экрану достигает точки *a*, на вертикально отклоняющие пластины трубки подается с выхода приемника импульс напряжения. Если этот импульс вызывает повышение потенциала верхней вертикально отклоняющей пластины, то электронный луч отклоняется вверх. Чем больше амплитуда импульса напряжения, поступающего с выхода приемника, тем на большее расстояние отклонится от линии развертки электронный луч, т. е. тем больше будет «выброс».

После окончания действия импульса электронный луч опускается и продолжает движение по линии развертки.

Таким образом, при амплитудной отметке отраженный сигнал воспроизводится на экране трубки в виде «выброса» электронного луча.

Индикатором с яркостной отметкой отраженного сигнала называется индикатор, в котором сигнал вызывает увеличение яркости участка линии развертки. Принцип работы такого индикатора заключается в следующем.

Постоянное отрицательное напряжение на управляющем электроде электронно-лучевой трубки устанавливается таким, чтобы линия развертки была почти не видна (трубка почти заперта). Положительные импульсы напряжения с выхода приемника подаются на управляющий электрод трубки, отпирая ее на время, равное длительности импульса. Происходит как бы подсвечивание небольшого участка *ab* линии развертки (рис. 2). Этот подсвеченный участок и свидетельствует о наличии отраженных сигналов на выходе приемника.

В ряде станций импульсы напряжения на выходе приемника имеют отрицательную полярность. Чтобы получить в этом случае яркостную отметку сигнала на экране трубки, импульсы с выхода приемника подаются не на управляющий электрод, а на катод трубки. Понижение потенциала катода, которое происходит при подаче на него отрицательных импульсов напряжения, эквивалентно повышению потенциала управляющего электрода. Следовательно, подавая отрица-

тельные импульсы напряжения на катод, также можно получить яркостную отметку отраженных сигналов.

Индикаторы с амплитудной отметкой позволяют более точно определять координаты цели, так как отсчет производится обычно по четко выраженному переднему фронту отраженного импульса. Кроме того, при амплитудном методе индикации отраженных сигналов по форме импульса проще судить о характере цели (истребитель, бомбардировщик

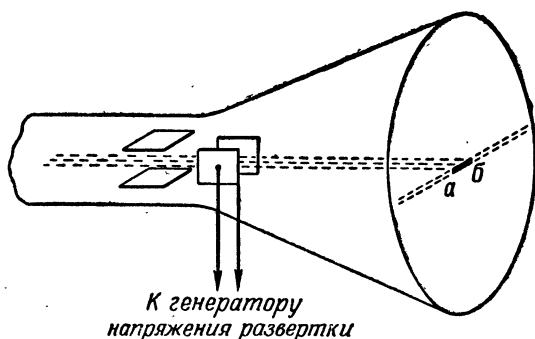


Рис. 2. Принцип действия индикатора с яркостной отметкой отраженного сигнала

и т. п.) и о количестве целей в группе (по пульсациям вершины импульса). В ряде радиолокационных станций индикатор с амплитудной отметкой используется как контрольный осциллограф при настройке блоков.

Индикаторы с яркостной отметкой дают на экране трубки изображение, довольно точно воспроизводящее реальную обстановку в воздухе или на земле. Так, на экране индикатора самолетной радиолокационной станции, работающей на волне около 3 см, получается изображение местности, весьма похожее на аэрофотоснимок той же местности. Это объясняется тем, что различные наземные объекты (реки, озера, железные дороги, шоссе, крыши зданий и т. п.) дают отраженные сигналы разной интенсивности.

Выбор того или иного метода индикации отраженных сигналов определяется тактико-техническими требованиями, предъявляемыми к индикатору радиолокационной станции.

ПАРАМЕТРЫ РАЗВЕРТОК

Любой тип развертки, который рассматривается в последующих разделах, характеризуется определенными параметрами. Рассмотрим основные из этих параметров.

Геометрическая длина развертки. Геометрической длиной развертки (или просто длиной развертки) называется длина линии развертки на экране электронно-лучевой трубки. Геометрическая длина развертки ограничивается диаметром экрана.

Практически, например, для прямой развертки (рис. 3)

$$l \approx 0,8D,$$

где l — геометрическая длина развертки;

D — диаметр экрана электронно-лучевой трубки.

Длительность развертки. Длительностью развертки называется время, в течение которого электронный луч проходит геометрическую длину развертки. Длительность развертки непосредственно связана с максимальной дальностью цели, которую может измерить данная станция.

Пусть, например, максимальная дальность действия радиолокационной станции $D_{\text{макс}} = 150$ км. Излученный антенной станции импульс пройдет это расстояние до цели и вернется обратно за время

$$t = \frac{2D_{\text{макс}}}{c} = \frac{2 \cdot 150}{300\,000} = \frac{1}{1000} = 10^{-3} \text{ сек.},$$

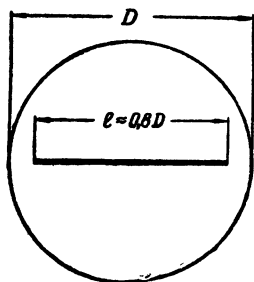


Рис. 3. Геометрическая длина развертки

где $c = 300\,000$ км/сек — скорость распространения электромагнитной энергии.

Следовательно, длительность развертки данной станции должна быть не менее 0,001 сек. При длительности развертки, равной точно 0,001 сек., импульс, отраженный от цели, находящейся от станции на расстоянии 150 км, получится на экране трубки в самом конце развертки (рис. 4).

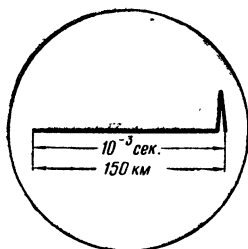


Рис. 4. Изображение отраженного импульса на экране электронно-лучевой трубки при дальности цели 150 км и длительности развертки 10^{-3} сек.

Скорость развертки. Скоростью развертки называется скорость движения следа электронного луча по экрану трубки. Если известна геометрическая длина развертки l и длительность развертки t , то скорость развертки v можно определить по формуле

$$v = \frac{l}{t}.$$

Обычно геометрическую длину развертки выражают в миллиметрах (мм), а длительность развертки — в микросекундах (мксек). Скорость развертки при этом выражается в мм/мксек.

М а с ш т а б р а з в е р т к и. Масштабом развертки называется число километров, приходящееся на миллиметр геометрической длины линии развертки. Масштаб развертки определяется по формуле

$$m = \frac{D_{\text{макс}}}{l},$$

где m — масштаб развертки в км/мм;

$D_{\text{макс}}$ — максимальная дальность действия радиолокационной станции в км;

l — геометрическая длина развертки в мм.

Пусть, например, геометрическая длина линии развертки $l = 15$ см, а максимальная дальность действия станции $D_{\text{макс}} = 150$ км. Тогда масштаб развертки

$$m = \frac{D_{\text{макс}}}{l} = \frac{150}{150} = 1 \text{ км/мм.}$$

Нетрудно видеть, что масштаб развертки обратно пропорционален скорости развертки, т. е. $m \equiv \frac{1}{v}$.

Действительно,

$$v = \frac{l}{t},$$

или

$$l = vt.$$

Следовательно,

$$m = \frac{D_{\text{макс}}}{l} = \frac{D_{\text{макс}}}{vt}.$$

Но

$$D_{\text{макс}} = \frac{tc}{2},$$

значит,

$$m = \frac{tc}{2vt} = \frac{c}{2} \cdot \frac{1}{v},$$

т. е.

$$m \equiv \frac{1}{v}.$$

Итак, чем больше скорость развертки, тем меньше величина m , а значит, тем крупнее масштаб развертки.

В индикаторах радиолокационных станций часто используют переключение масштабов развертки. Если нужно часть пространства просмотреть более детально и получить более точный отсчет дальности цели, то включают крупный масштаб развертки. Правда, при этом оператор станции лишен возможности видеть импульсы, отраженные от всех целей, находящихся в зоне действия станции, так как длительность развертки при включении крупного масштаба соответствует уже не дальности $D_{\text{макс}}$, а меньшей величине. Если, наоборот, не требуется точного измерения дальности цели, но необходимо видеть на экране одновременно импульсы, отраженные от всех целей, находящихся в зоне действия станции, то включают мелкий масштаб развертки, при котором длительность развертки соответствует максимальной дальности действия станции ($D_{\text{макс}}$).

На рис. 5, а показан экран электронно-лучевой трубки при включении мелкого масштаба. Справа на этом же рисунке приведен график напряжения развертки. Из графика видно, что длительность развертки $t = 1000$ мксек. Следовательно, длина линии развертки на экране трубки соответствует дальности $D_{\text{макс}} = 150$ км. При таком масштабе развертки на экране видны импульсы, отраженные от всех

целей, находящихся в зоне действия станции. Заметим, что измерить дальность целей 1 и 2 можно лишь приблизительно.

На рис. 5, б показан экран той же электронно-лучевой трубки при включении более крупного масштаба ($t =$

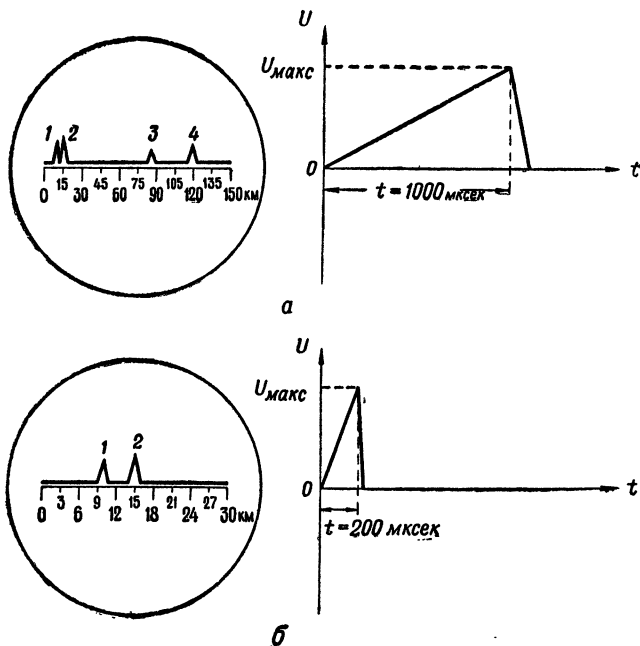


Рис. 5. Изображение отраженных сигналов и график напряжения развертки:

а — при включении мелкого масштаба, б — при включении крупного масштаба

$= 200 \text{ мксек}$). В данном случае длина линии развертки уже соответствует дальности $D_{\text{макс}} = 30 \text{ км}$, а не 150 км, как раньше. Дальность целей 1 и 2 теперь можно определить точно, но зато на экране трубки нет импульсов, отраженных от целей, расположенных на дальностях более 30 км.

Степень линейности развертки. Степенью линейности развертки называется отношение скорости движения следа электронного луча в конце линии развертки к скорости движения следа электронного луча в ее начале:

$$\rho = \frac{v_{\text{к}}}{v_{\text{н}}},$$

где p — степень линейности развертки;

$v_{\text{к}}$ — скорость движения следа электронного луча в конце линии развертки;

$v_{\text{н}}$ — скорость движения следа электронного луча в начале линии развертки.

Если $v_{\text{к}} = v_{\text{н}}$, т. е. скорости движения следа электронного луча в конце и в начале развертки равны, то степень линейности развертки $p = 1$ и развертка называется л и н е й н о й.

В большинстве случаев в индикаторах используются линейные развертки ($p \approx 1$). Это значительно упрощает отсчет координат цели и делает его более точным, так как шкала (дальности, например) получается равномерной.

Существуют и другие параметры разверток, которые здесь не рассматриваются, так как они имеют второстепенное значение.

Перейдем теперь к описанию различных типов разверток, используемых в индикаторах радиолокационных станций.

ПРЯМАЯ РАЗВЕРТКА

Прямой разверткой называется такая развертка, при которой след электронного луча на экране перемещается по прямой линии от одного края экрана к другому. Иногда индикаторы с прямой разверткой называют индикаторами типа А.

Прямую развертку можно получить, например, в трубке с электростатическим управлением. Для этого на горизонтально отклоняющие пластины трубки необходимо подать напряжение пилообразной формы (рис. 6).

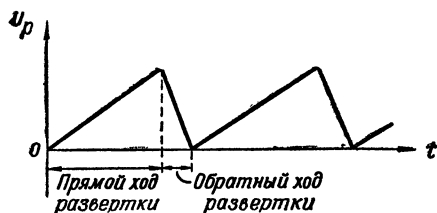


Рис. 6. График напряжения пилообразной формы

На рис. 7 приведена простейшая схема для получения напряжения пилообразной формы (генератор напряжения развертки). Основные элементы этой схемы — триод L , сопротивление анодной нагрузки R_a и конденсатор C . Схема работает следующим образом.

До поступления запирающего импульса на управляющую сетку лампы L последняя отперта. При этом анодный ток ее велик и на сопротивлении R_a получается большое падение напряжения. Практически оно составляет 80—90% напряжения источника анодного питания E_a , что достигается соответствующим выбором режима работы схемы.

Так как сопротивление отпертой лампы невелико, то и падение напряжения на ней (а значит, и напряжение на конденсаторе C , равное падению напряжения на лампе L) мало. Следовательно, пока нет запирающего импульса, на горизонтально отклоняющие пластины электронно-лучевой

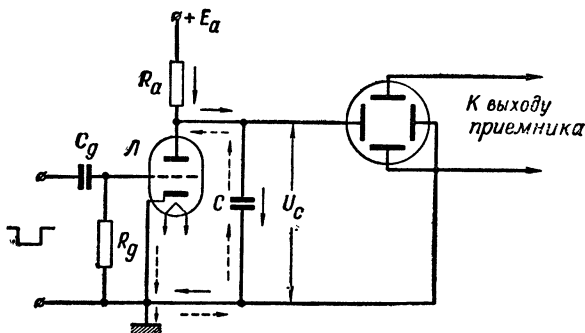


Рис. 7. Принципиальная схема генератора напряжения развертки

трубки подается небольшое напряжение и электронный луч находится в исходном положении.

Импульс, запускающий передатчик радиолокационной станции, одновременно¹ поступает и на вход схемы, вырабатывающей напряжение развертки, так как начало развертки и начало излучения в пространство импульса электромагнитной энергии должны быть строго синхронизированы.

Следует заметить, что, прежде чем поступить на вход генератора напряжения развертки, запускающий импульс «растягивается» в специальной схеме (чаще всего в мульти-вibrаторе). Как будет показано ниже, длительность растянутого импульса должна быть равна длительности развертки. Но длительность развертки выбирается исходя из максимальной дальности действия радиолокационной станции (импульс, отраженный от цели, находящейся на максимальной дальности действия станции, должен получаться в конце линии развертки). Следовательно, и длительность

¹ В некоторых станциях запирающий импульс поступает на вход схемы, вырабатывающей напряжение развертки, с задержкой. Эта задержка учитывается при отсчете дальности цели.

растянутого импульса определяется максимальной дальностью действия радиолокационной станции.

В рассматриваемой схеме генератора напряжения развертки на управляющую сетку лампы \mathcal{L} поступает растянутый отрицательный импульс прямоугольной формы, под действием которого лампа запирается на время, равное длительности этого импульса.

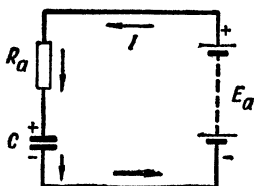


Рис. 8. Эквивалентная схема цепи заряда конденсатора C

Запертая лампа имеет бесконечно большое сопротивление; она как бы вынута из панели. Нетрудно видеть, что пока лампа \mathcal{L} заперта, т. е. пока на ее управляющей сетке действует отрицательный импульс, источник анодного питания, сопротивление R_a и конденсатор C соединены последовательно. При этом конденсатор C заряжается от источника анодного питания. Путь тока заряда показан на рис. 7 сплошными стрелками. Эквивалентная схема цепи заряда приведена на рис. 8.

Из электротехники известно, что при заряде конденсатора по этой схеме напряжение на нем (U_C) изменяется по экспоненциальному закону

$$U_C = E_a \left(1 - e^{-\frac{t}{R_a C}} \right).$$

Скорость нарастания напряжения U_C зависит от постоянной времени τ_a цепи заряда:

$$\tau_a = R_a C.$$

Чем меньше τ_a , тем быстрее нарастает напряжение U_C на конденсаторе (рис. 9).

Как только прекращается действие отрицательного импульса на управляющей сетке лампы \mathcal{L} (см. рис. 7), лампа отпирается. Отпертая лампа имеет незначительное сопротивление, и конденсатор C быстро разряжается через нее. Путь тока разряда конденсатора C показан на рис. 7 пунктирными стрелками.

Важно подчеркнуть, что кривая изменения напряжения на конденсаторе C вначале идет круче, чем в конце. Это объясняется тем, что по мере заряда конденсатора напряжение на нем повышается, ток в цепи уменьшается (напря-

жение на конденсаторе действует навстречу напряжению источника) и в единицу времени в конденсатор поступает все меньшее и меньшее количество электричества. Но если в конденсатор в единицу времени поступает все меньшее количество электричества, то и напряжение на нем растет все медленнее.

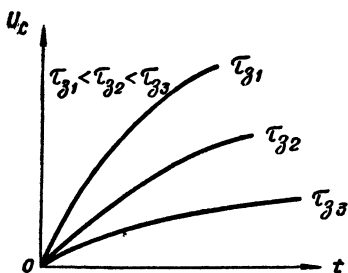


Рис. 9. Зависимость скорости нарастания напряжения на конденсаторе от величины постоянной времени цепи заряда

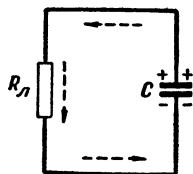


Рис. 10. Эквивалентная схема цепи разряда конденсатора C

Эквивалентная схема цепи разряда конденсатора C приведена на рис. 10. В этой схеме $R_{\text{л}}$ — сопротивление отпертой лампы L . Постоянная времени цепи разряда

$$\tau_p = R_{\text{л}} C.$$

Так как $R_{\text{л}}$ мало, то τ_p имеет небольшую величину и, следовательно, конденсатор C разряжается значительно быстрее, чем заряжается, или, как обычно говорят, время разряда t_p значительно меньше времени заряда $t_{\text{з}}$:

$$t_p \ll t_{\text{з}}.$$

Очевидно (см. рис. 10), что разряд конденсатора C будет продолжаться до тех пор, пока напряжение на нем не станет равным падению напряжения на сопротивлении $R_{\text{л}}$, т. е. падению напряжения на отпертой лампе L . Величина этого напряжения составляет обычно несколько вольт, и практически можно считать, что конденсатор C полностью разряжается.

На управляющую сетку лампы L непрерывно подаются следующие один за другим отрицательные импульсы напряжения (рис. 11), поэтому описанный выше процесс заряда и

разряда конденсатора C повторяется. На рис. 11 приняты следующие условные обозначения:

- t — время;
- U_g — напряжение на управляющей сетке лампы L ;
- U_c — напряжение на конденсаторе C ;
- $U_{c \text{ макс}}$ — напряжение на конденсаторе в конце заряда;
- U_{π} — падение напряжения на открытой лампе L .

Напряжение U_c , получающееся в рассмотренной схеме, и является напряжением развертки. Оно подается на горизонтально отклоняющие пластины электронно-лучевой трубки. При заряде конденсатора происходит прямой ход развертки, при разряде — обратный.

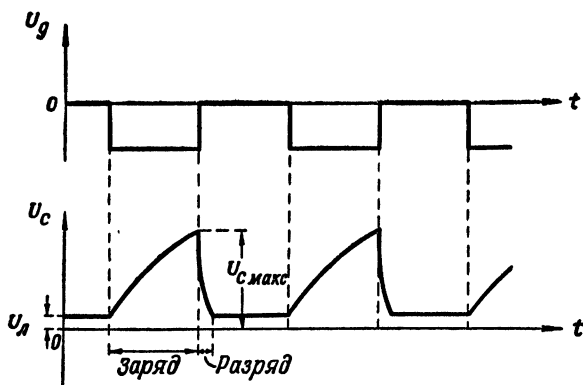


Рис. 11. Графики напряжений в схеме генератора развертки

Выше уже указывалось, что во время заряда конденсатора C напряжение на нем нарастает медленно, а значит, и след электронного луча движется по экрану медленно, прочерчивая яркую светящуюся линию — линию развертки. Нетрудно видеть (см. рис. 11), что длительность развертки равна длительности запирающего импульса, поступающего на управляющую сетку лампы, т. е. соответствует максимальной дальности действия радиолокационной станции.

Конденсатор C после окончания действия импульса разряжается очень быстро, поэтому движение следа электронного луча в исходное положение (обратный ход развертки) происходит также очень быстро. Вследствие этого при обратном ходе развертки электронный луч практически не вызывает заметного свечения экрана трубки.

Изображенную на рис. 7 схему развертки часто называют схемой ждущей развертки. Происхождение такого названия очевидно: развертка на экране трубки начинается только с приходом запирающего импульса, т. е. схема как бы «ждет» этот импульс.

Заметим, что длительность развертки строго определенная и зависит не только от длительности запирающего импульса, но и от постоянной времени цепи заряда конденсатора C . Этим пользуются для изменения масштаба развертки. В самом деле, если уменьшить постоянную времени цепи заряда конденсатора C (это делается обычно за счет уменьшения емкости конденсатора C), то напряжение развертки скорее станет равным такой величине, при которой электронный луч достигнет края экрана. Следовательно, длительность развертки уменьшится, скорость ее возрастет, а масштаб станет более крупным.

При изменении масштаба развертки необходимо изменять и длительность запирающего импульса. За время t_a

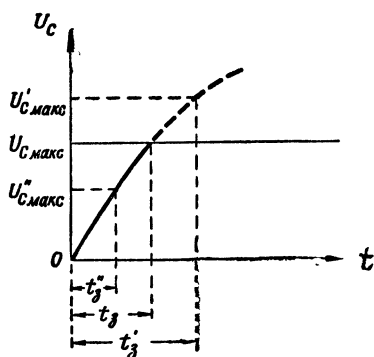


Рис. 12. Зависимость максимального напряжения развертки $U_{C \text{ макс}}$ от длительности запирающего импульса

(рис. 12) действия запирающего импульса на сетку лампы напряжение развертки U_C должно возрасти точно до значения $U_{C \text{ макс}}$ (при $U_C = U_{C \text{ макс}}$ луч достигает края экрана электронно-лучевой трубки). Если постоянная времени цепи заряда конденсатора C и длительность t_a запирающего импульса не согласованы, то линия развертки или выйдет за пределы экрана электронно-лучевой трубки

(при $t_s = t'_s U'_{смако} > U_{смако}$), или, наоборот, не дойдет до края экрана (при $t_s = t'_s U'_{смако} < U_{смако}$).

Допустим, что напряжение развертки, полученное в схеме, изображенной на рис. 7, подано на горизонтально отклоняющие пластины электронно-лучевой трубки. На вертикально отклоняющие пластины трубки подадим несколько одинаковых по длительности импульсов, следующих один за другим через равные промежутки времени. На экране трубки эти импульсы расположатся неравномерно и будут иметь разную длительность.

Для объяснения этого явления обратимся к рис. 13, где показана кривая напряжения развертки U_p в увеличенном масштабе. Из рисунка хорошо видно, что сначала напряжение развертки растет быстро, а затем медленно ($p = \frac{v_k}{v_n} < 1$), т. е. скорость в начале и в конце развертки различна. Следовательно, в рассматриваемом случае шкала

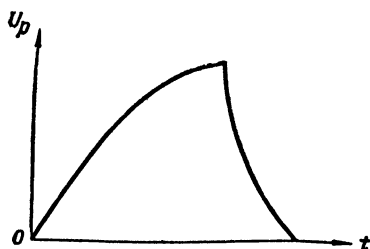


Рис. 13. Кривая напряжения развертки

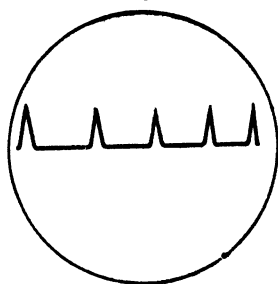


Рис. 14. Изображение импульсов на экране электронно-лучевой трубки при нелинейной развертке

времени на экране получается неравномерной. Вот почему импульсы одинаковой длительности, следующие один за другим через равные промежутки времени, располагаются по шкале неравномерно: в начале линии развертки редко, в конце — более густо. Кроме того, в начале линии развертки импульсы получаются более широкими, чем в конце (рис. 14).

Итак, простейший генератор напряжения развертки (см. рис. 7) создает нелинейную (экспоненциальную) развертку. Такая развертка обладает следующими недостатками:

— отсчет дальности из-за неравномерности шкалы получается неточным;

— точность отсчета дальности уменьшается с увеличением дальности цели.

Последний недостаток объясняется тем, что импульсы, отраженные от дальних целей, получают в конце линии развертки, где она наиболее сжата.

Нелинейная развертка неудобна и в тех радиолокационных станциях, в которых отсчет дальности производится не по шкале, а при помощи отсчетного устройства. Нелинейность развертки вызывает необходимость использования нелинейных отсчетных устройств (так, например, в одном из типов станций орудийной наводки отсчетный потенциометр намотан по логарифмическому закону); конструкция которых очень сложная.

Несмотря на указанные существенные недостатки, экспоненциальная развертка применяется в некоторых радиолокационных станциях, так как получить ее проще, чем другие развертки.

Более широкое применение нашли прямые развертки с линейной шкалой времени, или линейные развертки. У линейной развертки скорость движения следа электронного луча в начале и в конце линии развертки одинакова, т. е.

$$\rho = \frac{v_k}{v_n} \approx 1.$$

На рис. 15 показан график напряжения линейной развертки. Как видно из рисунка, во время прямого хода раз-

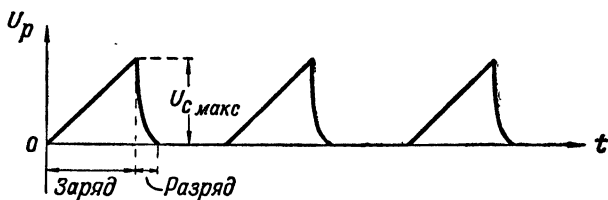


Рис. 15. График напряжения линейной развертки

вертки напряжение на горизонтально отклоняющих пластинах нарастает прямо пропорционально времени. Поэтому след электронного луча будет перемещаться вдоль линии развертки равномерно, а значит, импульсы одинаковой длительности, следующие один за другим через равные промежутки времени, будут располагаться на линии развертки на

одинаковых расстояниях друг от друга и иметь одну и ту же ширину (рис. 16).

Для получения линейной развертки необходимо, чтобы величина тока заряда конденсатора была постоянной. Тогда конденсатор в равные промежутки времени будет получать равные количества электричества и напряжение на нем будет возрастать по линейному закону. Для этого в цепь за-

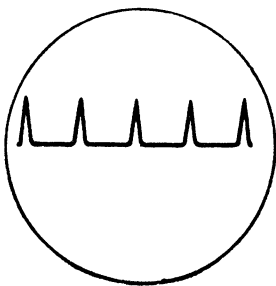


Рис. 16. Изображение импульсов на экране электронно-лучевой трубки при линейной развертке

ряда конденсатора часто включают последовательно пентод. Режим работы пентода выбирают таким, чтобы с ростом напряжения на конденсаторе ток, проходящий через пентод, оставался неизменным.

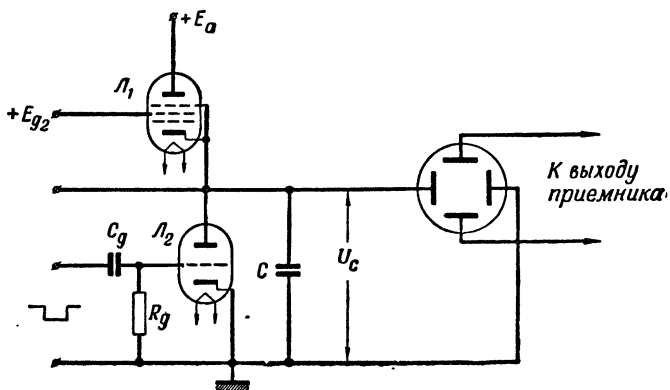


Рис. 17. Упрощенная схема генератора напряжения линейной развертки

Упрощенная схема генератора напряжения линейной

развертки изображена на рис. 17. Если сравнить ее со схемой рис. 7, то видно, что в ней вместо сопротивления R_a включен пентод \mathcal{L}_1 . Когда лампа \mathcal{L}_2 отперта, почти все напряжение источника анодного питания E_a падает на пентоде \mathcal{L}_1 . При этом ток, проходящий через пентод, имеет максимальную величину $I_{\text{макс}}$ (рис. 18), а напряжение на конденсаторе C практически равно нулю.

Когда отрицательный импульс поступает на управляющую сетку лампы \mathcal{L}_2 , эта лампа запирается и начинается процесс заряда конденсатора C , подробно описанный при рассмотрении схемы рис. 7. Но теперь заряд происходит не через сопротивление, а через пентод \mathcal{L}_1 . К концу заряда конденсатора C через пентод \mathcal{L}_1 будет проходить минимальный ток $I_{\text{мин}}$ (см. рис. 18).

Как видно из рис. 18,

$$I_{\text{макс}} \approx I_{\text{мин}},$$

т. е. в процессе заряда конденсатора C ток заряда остается практически постоянным¹, а следовательно, напряжение развертки будет изменяться по линейному закону.

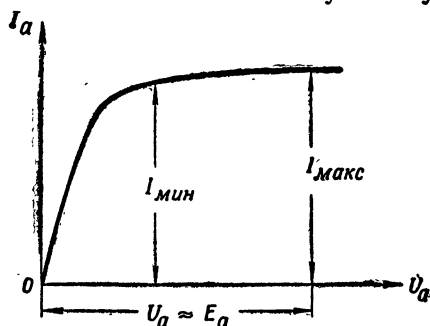


Рис. 18. Анодная характеристика пентода

Линейную развертку можно получить и более простым способом. Для этого нужно выбрать в качестве рабочего только начальный участок экспоненты (рис. 19). На этом участке экспонента почти совпадает с прямой линией, т. е. напряжение развертки изменяется по линейному закону.

¹ Ток заряда конденсатора C является анодным током пентода. Как известно, ток пентода при сравнительно больших изменениях анодного напряжения сохраняет почти постоянное значение (горизонтальный участок анодной характеристики на рис. 18).

В радиолокационных станциях такой метод получения линейной развертки применяется редко, так как в схеме генератора развертки плохо используется источник питания (максимальное напряжение развертки $U_{p\text{ макс}}$ значительно меньше E_a).

Существуют и другие способы получения напряжения, изменяющегося по линейному закону (использование отрицательной обратной связи при заряде конденсатора, использование компенсированной обратной связи и т. д.), но их рассмотрение выходит за рамки данной брошюры.

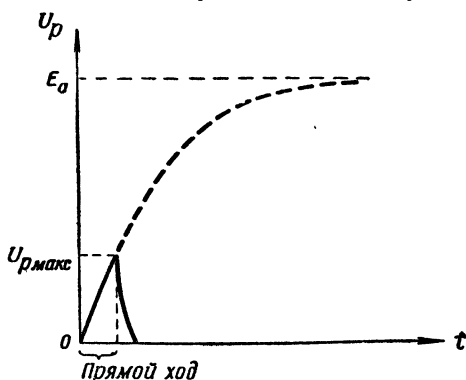


Рис. 19. Использование начального участка экспоненты в качестве рабочего участка в генераторе напряжения развертки

На рис. 20 для сравнения приведены изображения импульсов на экранах индикаторов с нелинейной и линейной развертками. При нелинейной развертке прямой импульс и импульсы, отраженные от местных предметов, занимают почти $\frac{1}{3}$ всей линии развертки; импульсы, отраженные от целей, сжаты в конце развертки.

Прямая развертка применяется чаще всего в индикаторах дальности радиолокационных станций обнаружения. Использовать ее в индикаторах угловых координат неудобно из-за сложности сравнения импульсов при различных положениях антенны.

В индикаторах с прямой разверткой достаточно просто изменять масштаб развертки. При более крупном масштабе точность отсчета дальности цели возрастает, но зато становится невозможным одновременное наблюдение за целями, находящимися на значительном расстоянии одна от другой.

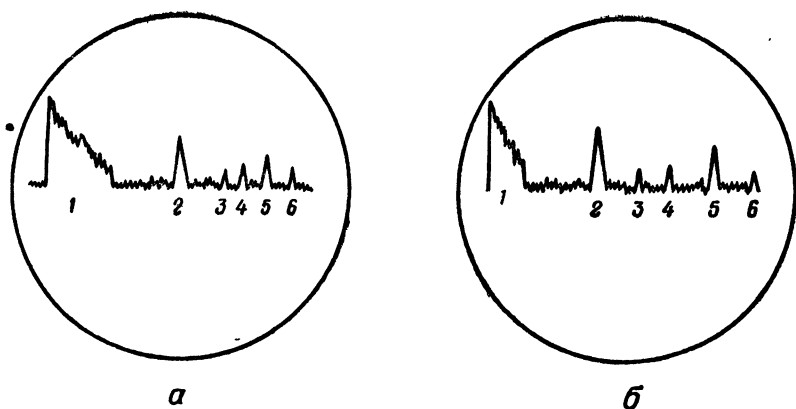


Рис. 20. Изображения импульсов на экранах индикаторов при нелинейной (а) и линейной (б) развертках:
1 — прямой импульс и импульсы, отраженные от местных предметов; 2, 3, 4, 5, 6 — импульсы, отраженные от целей

Этот недостаток не имеет большого значения в станциях обнаружения, в которых обязательно есть индикатор кругового обзора, позволяющий видеть все цели в зоне действия станции. Для станций обнаружения не имеет значения и второй недостаток индикаторов с прямой разверткой — низкая точность отсчета дальности целей, находящихся на больших расстояниях. Вот почему индикаторы с прямой разверткой нашли широкое применение в станциях обнаружения.

КОЛЬЦЕВАЯ РАЗВЕРТКА

Кольцевой разверткой (разверткой типа *J*) называется такая развертка, при которой след электронного луча перемещается на экране трубки по окружности. Так как скорость движения следа электронного луча по экрану при кольцевой развертке равномерна, то этот тип развертки относится к линейным разверткам.

На рис. 21 показан экран электронно-лучевой трубки с кольцевой разверткой. Из рисунка хорошо видно основ-

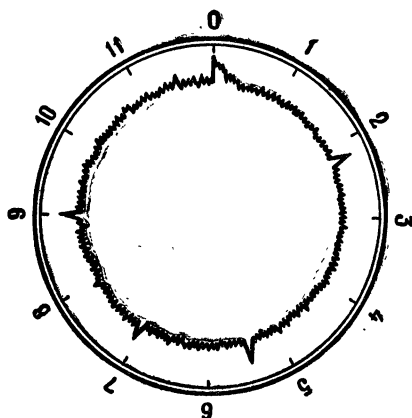


Рис. 21. Экран электронно-лучевой трубки с кольцевой разверткой

ное преимущество кольцевой развертки: при том же диаметре экрана трубки длина кольцевой развертки в два — три раза больше длины прямой развертки. Это позволяет наблюдать импульсы, отраженные от целей, в более крупном масштабе или увеличить предельный отсчет дальности.

Крупный масштаб и линейность развертки повышают точность измерения координат цели.

Кроме указанного, кольцевая развертка имеет следующие преимущества:

— след электронного луча перемещается по окружности все время в одном и том же направлении, т. е. у кольцевой развертки нет обратного хода;

— линейность развертки достигается без применения специальных схем.

Отсутствие обратного хода развертки упрощает эксплуатацию индикатора. Во-первых, нет необходимости подавлять обратный ход развертки (во всех остальных типах разверток обратный ход нужно подавлять¹, например, подавая на управляющий электрод трубки отрицательный импульс напряжения во время обратного хода электронного луча). Во-вторых, значительно упрощается синхронная передача данных, так как передается вращательное движение визира или напряжение, пропорциональное углу поворота визира. Передавать же вращательное движение проще, чем, например, поступательное.

Чтобы получить кольцевую развертку, на горизонтально отклоняющие пластины трубки нужно подать синусоидальное напряжение U_{Γ} , а на вертикально отклоняющие пластины — синусоидальное напряжение $U_{\text{в}}$. Между этими напряжениями должен быть сдвиг фаз на 90° ($1/4$ периода). Графики напряжений U_{Γ} и $U_{\text{в}}$ представлены на рис. 22. Если амплитуды этих напряжений одинаковы, то развертка на экране имеет форму точной окружности².

Рассмотрим, как под действием напряжений U_{Γ} и $U_{\text{в}}$ получается кольцевая развертка (рис. 23).

Когда напряжение $U_{\text{в}}$ максимально (точка 0 на кривой $U_{\text{в}}$), напряжение U_{Γ} равно нулю (точка 0 на кривой U_{Γ}). Электронный луч в этом случае отклоняется

¹ Если обратный ход развертки не подавить, то изображение на экране трубки будет искажено и отсчет координат цели окажется неточным.

² Это справедливо в том случае, если отклоняющие пластины трубки расположены на одинаковом расстоянии от экрана, т. е. чувствительность трубки одинакова по вертикальному и горизонтальному отклонению. Если же, например, горизонтально отклоняющие пластины расположены ближе к экрану, чем вертикально отклоняющие (см. рис. 1), то чувствительность трубки по горизонтальному отклонению будет меньше, чем по вертикальному. Чтобы в этом случае развертка имела форму окружности, напряжение U_{Γ} должно быть несколько больше напряжения $U_{\text{в}}$.

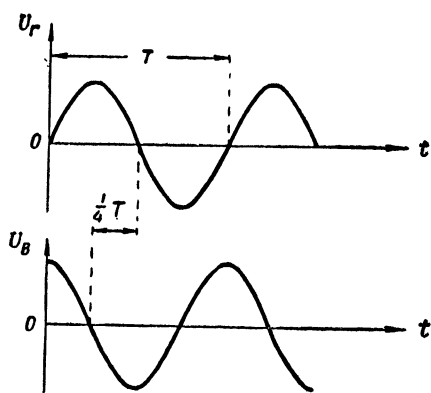


Рис. 22. Графики напряжений, образующих кольцевую развертку

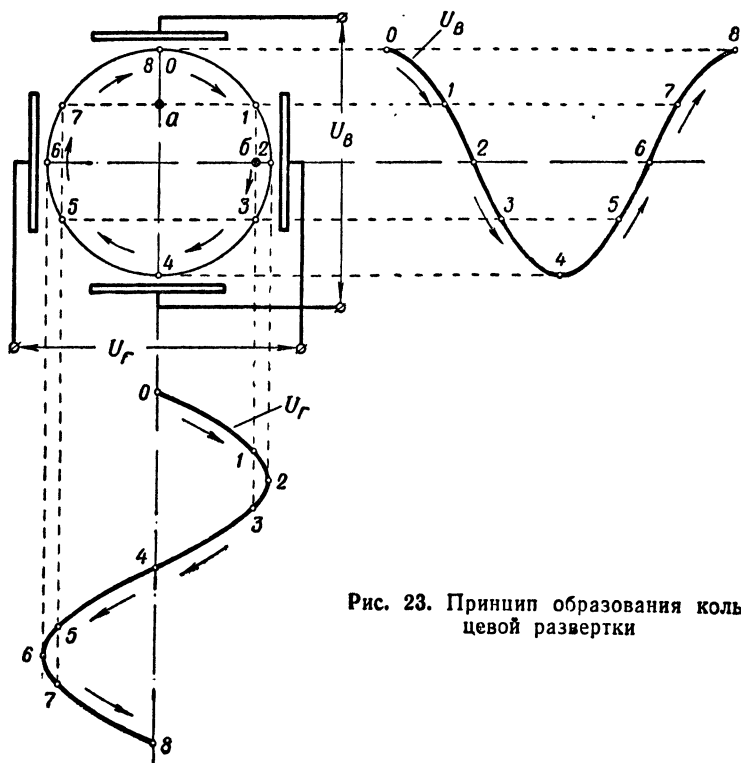


Рис. 23. Принцип образования кольцевой развертки

только по вертикали и его след находится в точке O экрана электронно-лучевой трубки.

Когда напряжение U_b равно нулю (точка 2 на кривой U_b), напряжение U_r максимально (точка 2 на кривой U_r). При этом происходит только горизонтальное отклонение электронного луча и его след находится в точке 2 экрана трубки.

Если бы в промежуточной точке 1 (см. кривую U_b) на электронный луч действовало только напряжение U_b , то след луча оказался бы в точке a экрана трубки. Но в точке 1 на электронный луч действует также и напряжение U_r (см. кривую U_r). Под действием этого напряжения след электронного луча смещается на величину $a1$ и оказывается в точке 1 экрана трубки.

Рассматривая последовательно воздействие на электронный луч напряжений U_r и U_b в точках 3, 4, 5, 6, 7 и 8, можно убедиться, что след электронного луча описывает на экране трубки окружность — кольцевую развертку. Чем больше амплитуда напряжений U_r и U_b , тем больше диаметр развертки.

Из описания принципа получения кольцевой развертки видно, что чем больше время запаздывания отраженного импульса, тем больше фаза синусоидального напряжения развертки, т. е. эти величины пропорциональны. Таким образом, измерение дальности цели сводится к измерению фазы напряжения развертки. Следовательно, точность отсчета в значительной степени зависит от стабильности частоты напряжений U_r и U_b . В точных индикаторах станций орудийной наводки высокая стабильность частоты этих напряжений обычно достигается применением кварцевых генераторов, которые не только вырабатывают напряжение развертки, но и согласовывают работу всех блоков радиолокационной станции.

Простейшая схема для получения кольцевой развертки показана на рис. 24.

Сопrotивление R и конденсатор C образуют фазосдвигающую цепь. На эту цепь подается синусоидальное напряжение $U_{к.г}$ от кварцевого генератора. Так как частота колебаний кварцевого генератора имеет высокую стабильность, то каждое кольцо развертки имеет строго постоянную длительность.

Из электротехники известно, что напряжение на конденсаторе отстает от напряжения на сопротивлении на 90° . Следовательно, напряжения U_r и U_b будут сдвинуты по

фазе одно относительно другого на 90° . Если эти напряжения подать на горизонтально и вертикально отклоняющие пластины электронно-лучевой трубки, то на ее экране получится кольцевая развертка.

Обычно конструкция электронно-лучевой трубки с кольцевой разверткой отличается от конструкции трубки, применяемой при прямой развертке. Вместо вертикально и гори-

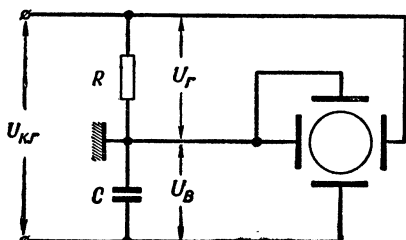


Рис. 24. Простейшая схема для получения кольцевой развертки

зонтально отклоняющих пластин в трубке находятся две пары взаимно-перпендикулярных пластин, на которые подаются сдвинутые по фазе на 90° синусоидальные напряжения. В центре экрана трубки помещен дополнительный электрод (рис. 25). На него подаются с выхода приемника им-

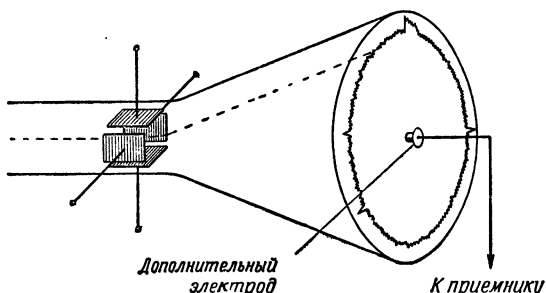


Рис. 25. Использование электронно-лучевой трубки с дополнительным электродом при кольцевой развертке

пульсы, отраженные от целей. Полярность этих импульсов в большинстве радиолокационных станций отрицательная, поэтому электронный луч отклоняется по радиусу от центра экрана. Изображение отраженных импульсов на экране

при кольцевой развертке получается таким, как показано на рис. 21. Дальность цели определяется по длине дуги от начала линии развертки (там, где на развертке получается изображение прямого импульса) до изображения импульса, отраженного от этой цели.

Недостатки кольцевой развертки следующие:

- усложнение трубки (наличие центрального электрода) из-за необходимости получить радиальные «выбросы» развертки под действием отраженных импульсов;

- менее удобный отсчет дальности цели, чем в трубке с прямой разверткой;

- низкая чувствительность.

Электронно-лучевые трубки с кольцевой разверткой в основном применяются в станциях орудийной наводки, так как именно в этих станциях требуется сочетать высокую точность отсчета с достаточной дальностью действия. Кроме того, как уже указывалось выше, применение кольцевой развертки упрощает синхронную передачу данных, широко используемую в станциях орудийной наводки.

СПИРАЛЬНАЯ РАЗВЕРТКА

Спиральной разверткой называется такая развертка, при которой след электронного луча перемещается на экране трубки по спирали (рис. 26).

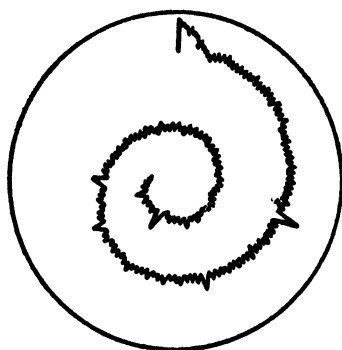


Рис. 26. Экран электронно-лучевой трубки со спиральной разверткой

Спиральная развертка по сути дела является разновидностью кольцевой развертки. Если радиус кольцевой развертки будет в течение одного ее оборота изменяться от $r_{\text{макс}}$ до $r_{\text{мин}}$, то на экране получится спиральная развертка. При том же диаметре экрана электронно-лучевой трубки спиральная развертка получается длиннее кольцевой:

$$l_{\text{сп}} = n\pi D_{\text{ср}} > l_{\text{к}},$$

где $l_{\text{сп}}$ — длина спиральной развертки;
 n — число оборотов спиральной развертки на экране;
 $D_{\text{ср}}$ — средний диаметр экрана электронно-лучевой трубки;
 $l_{\text{к}}$ — длина кольцевой развертки.

Для получения спиральной развертки на отклоняющие пластины трубки нужно подать два синусоидальных напряжения, сдвинутых по фазе на 90° , но амплитуды этих напряжений (в отличие от амплитуд при кольцевой развертке) должны затухать (рис. 27). Так как напряжения U_r и U_b

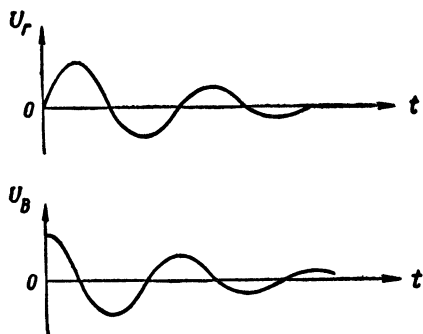


Рис. 27. Графики напряжений, образующих спиральную развертку

сдвинуты по фазе на 90° , то след электронного луча будет вращаться по окружности (см. описание получения кольцевой развертки). Радиус окружности будет все время уменьшаться, так как амплитуды напряжений U_r и U_b затухают. В результате на экране получится спиральная развертка.

Спиральная развертка применяется редко (в некоторых типа морских и авиационных радиолокационных станций, где нужно получить высокую точность отсчета), так как схема для ее получения довольно сложна. Кроме того, при спиральной развертке отсчитывать расстояния менее удобно, чем, например, при кольцевой.

Спиральная развертка в индикаторах используется, как правило, в сочетании со спиральной разверткой диаграммы направленности антенны станции.

РАДИАЛЬНО-КРУГОВАЯ РАЗВЕРТКА

Радиально-круговой разверткой (или разверткой кругового обзора) называется такая развертка, при которой след электронного луча перемещается от центра экрана к его краю по радиусу и, кроме того, линия развертки вращается вокруг центра экрана синхронно с вращением антенны по азимуту. Эту развертку иногда называют разверткой типа Р или панорамной разверткой. Для получения радиально-круговой развертки используются электронно-лучевые трубки с магнитным управлением.

Этот тип развертки получил широкое распространение в наземных, самолетных и корабельных радиолокационных станциях в так называемых индикаторах кругового обзора (отсюда и название развертки — развертка кругового обзора).

Радиально-круговая развертка позволяет получить на экране изображение боевой обстановки в зоне действия станции и непрерывно наблюдать за всеми изменениями этой обстановки (при условии использования электронно-лучевой трубки с послесвечением).

К недостаткам радиально-круговой развертки относится невозможность сочетать большой радиус обзора и крупный масштаб развертки.

Чтобы получить отклонение электронного луча от центра к краю экрана трубки (радиальное отклонение), достаточно иметь две отклоняющие катушки и питать их током пилообразной формы постоянной полярности (рис. 28). Обе катушки (L_1 и L_2) помещаются на стальном сердечнике, охватывающем горловину трубки (рис. 29), и соединяются так, что их магнитные потоки направлены навстречу друг другу. Поэтому результирующий магнитный поток замыкается через горловину трубки так, как показано на рис. 29.

Электронный луч, проходя магнитное поле катушек L_1 и L_2 , отклоняется аналогично отклонению проводника с током в магнитном поле. Направление отклонения электронного луча (как и направление отклонения проводника с током)

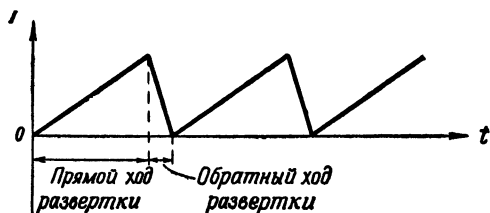


Рис. 28. График тока пилообразной формы

определяется по правилу левой руки. Для проводника с током это правило гласит: если поместить левую руку в магнитное поле так, чтобы магнитные силовые линии входили в ладонь, а вытянутые пальцы показывали направление тока в проводнике, то отогнутый большой палец покажет

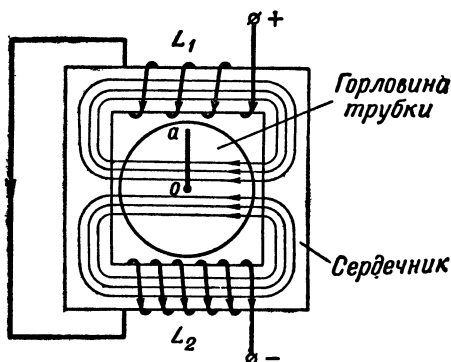


Рис. 29. Отклонение электронного луча в магнитном поле

направление движения проводника. Применив это правило к электронному лучу (при этом нужно учесть, что за направление тока принимается направление, обратное направлению движения электронов), можно убедиться в том, что

в рассматриваемом случае он переместится вверх (по линии $0a$). Следовательно, след электронного луча на экране трубки также сместится вверх.

Так как катушки L_1 и L_2 питаются током пилообразной формы, причем полярность его не изменяется (см. рис. 28), то след электронного луча будет медленно перемещаться от центра к краю экрана (прямой ход развертки) и быстро — обратно от края к центру (обратный ход развертки).

Чтобы развертка была линейной, необходимо отклоняющие катушки питать током, который возрастал бы в равные промежутки времени на одну и ту же величину, т. е. изменялся бы по линейному закону.

Покажем, что для получения пилообразного линейно изменяющегося тока в отклоняющих катушках к их зажимам необходимо подвести напряжение трапециoidalной формы.

Если бы отклоняющие катушки обладали только активным сопротивлением R , то при подаче на их зажимы напряжения пилообразной формы U_R ток I_K , проходящий через катушки, также имел бы пилообразную форму (рис. 30).

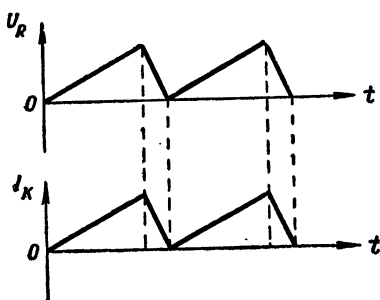


Рис. 30. Зависимость между напряжением и током при активном сопротивлении цепи

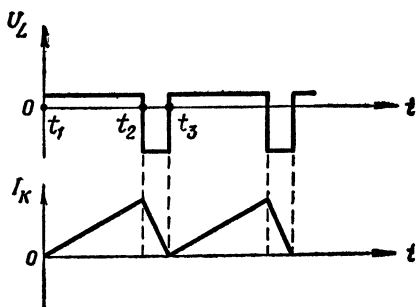


Рис. 31. Зависимость между напряжением и током в цепи, обладающей только индуктивным сопротивлением

Допустим теперь, что отклоняющие катушки обладают только индуктивностью L . Чтобы в этом случае по ним протекал пилообразный ток I_K , к зажимам катушек нужно приложить напряжение прямоугольной формы U_L (рис. 31).

Действительно, из электротехники известно, что при подключении напряжения к зажимам катушки индуктивности ток в ней не может мгновенно возрасти из-за появления

противоэлектродвижущей силы самоиндукции. Поэтому в промежутке времени $t_1 t_2$ (длительность прямоугольного импульса) ток I_k в отклоняющих катушках медленно нарастает по линейному закону. На участке $t_2 t_3$ к катушке приложен отрицательный импульс напряжения. Амплитуда этого импульса больше, чем амплитуда импульса на участке $t_1 t_2$, поэтому спад тока I_k происходит быстро. В результате через катушку проходит ток пилообразной формы.

Но отклоняющие катушки обладают одновременно индуктивностью и активным сопротивлением. Следовательно, чтобы ток в этих катушках имел пилообразную форму, напряжение на их зажимах должно быть равно сумме напряжений пилообразной и прямоугольной формы ($U_R + U_L$). Если к зажимам катушек приложены одновременно напряжения пилообразной и прямоугольной формы, то результирующее напряжение на зажимах будет иметь трапециoidalную форму (рис. 32).

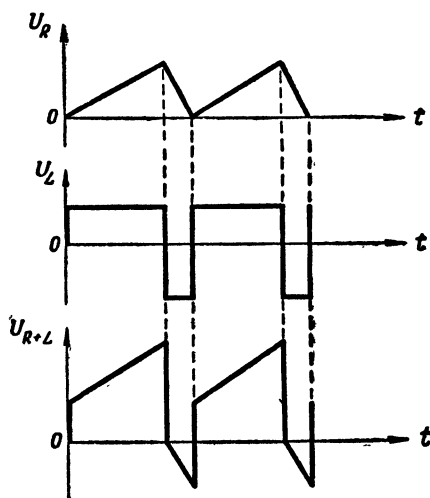


Рис. 32. Получение напряжения трапециoidalной формы (U_{R+L})

Обычно на зажимы отклоняющих катушек подается напряжение трапециoidalной формы, показанной на рис. 33. Напряжение такой формы можно получить при помощи схемы, приведенной на рис. 34. Эта схема работает следующим образом.

В исходном режиме лампа \mathcal{L} отперта. Напряжение между точками a и b при этом невелико. Оно равно падению напряжения на лампе, которое, как известно, при отпертой лампе мало (см. описание схемы, изображенной на рис. 7).

Когда на управляющую сетку лампы \mathcal{L} поступает отрицательный (запирающий) импульс, лампа запирается и ее сопротивление становится бесконечно большим. При этом конденсатор C заряжается от источника анодного питания через сопротивления R_a и R . Путь тока заряда показан на рис. 34 сплошными стрелками. В начальный момент ток заряда имеет наибольшую величину и напряжение на сопротивлении R скачком возрастает, образуя передний фронт (участок ab на рис. 33) трапециoidalного импульса.

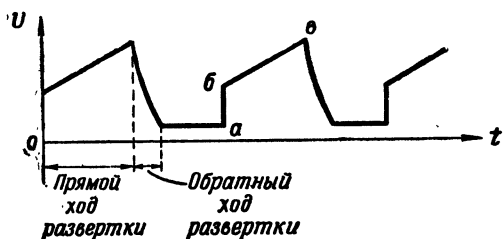


Рис. 33. График напряжения трапециoidalной формы

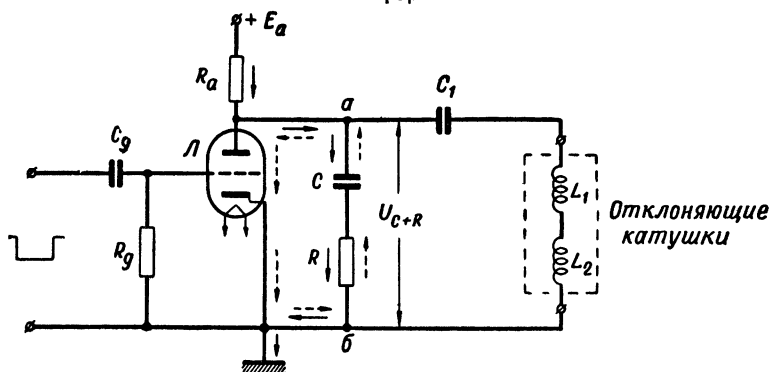


Рис. 34. Принципиальная схема генератора напряжения трапециoidalной формы

В процессе заряда конденсатора C (см. рис. 34) напряжение на его обкладках возрастает (при этом образуется участок $бв$ трапециoidalного импульса).

Когда действие отрицательного импульса на управляющую сетку лампы \mathcal{L} прекращается, лампа отпирается и происходит быстрый разряд конденсатора C через сопротивление R и лампу \mathcal{L} . Путь тока разряда показан пунктирными стрелками. Схема возвращается в исходный режим и «ждет» очередного запирающего импульса.

Таким образом, напряжение между точками a и b схемы рис. 34 (U_{C+R}) изменяется по трапециoidalному закону. Через разделительный конденсатор C_1 это напряжение подается на зажимы отклоняющих катушек, создавая в них ток пилообразной формы.

Повернем теперь отклоняющие катушки L_1 и L_2 на 90° (рис. 35). Применив снова правило левой руки, можно убедиться в том, что электронный луч отклонится вправо на величину ob , т. е. линия развертки на экране трубки повернется на 90° .

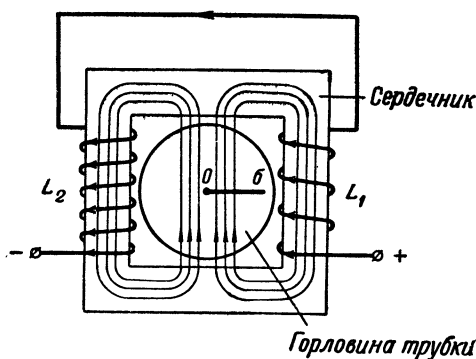


Рис. 35. Смещение линии развертки при повороте отклоняющих катушек на 90°

Очевидно, если непрерывно вращать отклоняющие катушки, то с той же скоростью будет вращаться и линия развертки на экране электронно-лучевой трубки. Такая развертка и называется радиально-круговой, или разверткой кругового обзора.

Радиально-круговая развертка — двухмерная: она позволяет определять сразу две координаты цели — дальность и азимут. Осуществляется это следующим образом.

Сердечник отклоняющих катушек механически (или при помощи электрической синхронной передачи) связывается с антенной. При вращении антенны вращается сердечник вместе с отклоняющими катушками, а значит, вращается и линия развертки на экране трубки.

Положение линии развертки на экране электронно-лучевой трубки, соответствующее направлению максимума диаграммы направленности антенны на север, обозначается 0° . Обычно радиолокационную станцию ориентируют так, чтобы 0° был сверху экрана трубки. Положение линии развертки, соответствующее направлению максимума диаграммы направленности на восток, обозначается 90° , на юг — 180° и т. д. В результате вокруг экрана трубки получается азимутальная шкала (рис. 36).



Рис. 36. Азимутальная шкала трубки с радиально-круговой разверткой

Если линия развертки направлена на экране так, как показано на рис. 36, то это значит, что максимум диаграммы направленности антенны направлен под углом 75° к линии юг — север (если, конечно, радиолокационная станция сориентирована).

В индикаторах кругового обзора режим работы трубки подбирается таким, чтобы линия развертки была почти не видна на экране (трубка почти заперта).

При радиально-круговой развертке используется яркостный метод индикации отраженных импульсов. Импульсы по-

ложительной полярности¹, отраженные от цели, с выхода приемника радиолокационной станции поступают на управляющий электрод электронно-лучевой трубки. В момент прихода импульса на линии развертки появляется яркая светящаяся точка (засвечивается небольшой участок развертки). Так как линия развертки непрерывно вращается, то эта точка прочерчивает на экране трубки яркую дужку — отметку цели (рис. 37).

Расстояние отметки цели от центра экрана пропорционально дальности цели. Для отсчета дальности целей можно пользоваться графической шкалой в виде концентрических окружностей, нанесенных на пластинку из органического стекла. Эта пластинка помещается перед экраном трубки. Отдельные окружности нанесены через равное число километров (например, через 10 км).

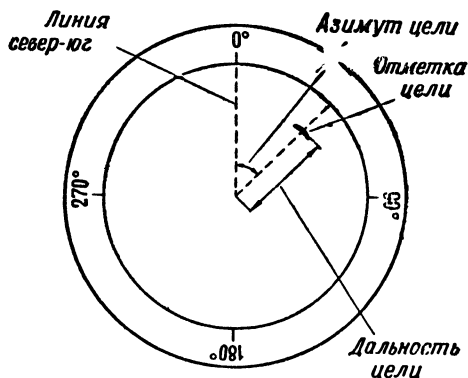


Рис. 37. Отметка цели на экране трубки с радиально-круговой разверткой

Значительно чаще при радиально-круговой развертке для отсчета дальности пользуются так называемым «электрическим масштабом». В блоке индикатора для этой цели имеется специальная схема, вырабатывающая кратковременные масштабные импульсы. Масштабные импульсы подаются на управляющий электрод электронно-лучевой

¹ В некоторых радиолокационных станциях отраженные импульсы на выходе приемника имеют отрицательную полярность и подаются не на управляющий электрод, а на кагод трубки.

трубки, засвечивая небольшие участки линии развертки через равные промежутки времени. Так как линия развертки вращается, то ее засвеченные участки прочерчивают на экране светлые concentрические окружности. Расстояния между этими окружностями одинаковы и пропорциональны определенной дальности (например, 10 км). Поэтому по положению отметки цели относительно масштабных окружностей можно судить о дальности цели.

Нетрудно убедиться, что угловой раствор (ширина) дужки на экране трубки определяется шириной диаграммы направленности антенны радиолокационной станции (рис. 38).

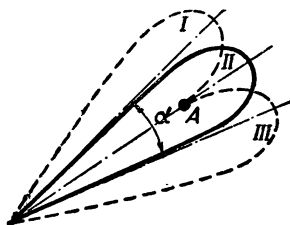


Рис. 38. Влияние ширины диаграммы направленности антенны на размеры отметки цели

На рис. 38 показаны диаграмма направленности антенны в горизонтальной плоскости и цель *A*. В положении *I* диаграммы направленности цель *A* только начала облучаться. В этот момент появляется первая светящаяся точка на линии развертки. В положении *II* диаграммы направленности направление ее максимума совпадает с направлением на цель *A*. В этом положении от цели поступают на управляющий электрод электронно-лучевой трубки импульсы с наибольшей амплитудой. В положении *III* диаграммы направленности цель *A* перестает облучаться и засвет линии развертки прекращается.

Пока диаграмма направленности повернется в пространстве на угол α , линия развертки также повернется на угол α , образуя на экране трубки яркую светящуюся дужку.

Угол между линией север — юг (см. рис. 37) и линией, проходящей из центра экрана через середину получившейся дужки, равен азимуту цели, так как середина дужки соответствует такому положению антенны, когда максимум ее

диаграммы направленности совпадает с направлением на цель (положение *II* на рис. 38).

Если линию, соединяющую центр экрана с серединой дужки, мысленно продолжить до азимутальной шкалы, то азимут цели можно непосредственно считывать с этой шкалы.

Итак, на экране трубки с радиально-круговой разверткой мы можем одновременно определять дальность (по расстоянию отметки цели от центра экрана) и азимут (по азимутальной шкале) цели.

При радиально-круговой развертке обычно используются электронно-лучевые трубки с послесвечением. Продолжительность послесвечения должна быть такой, чтобы за время одного оборота антенны (соответственно одного оборота линии развертки на экране) отметка цели на экране не исчезала. При выполнении этого условия на экране трубки будут видны отметки одновременно от всех целей, облучаемых станцией. По этим отметкам можно судить о дальностях и азимутах отдельных целей, о направлении и скорости движения целей, об их количестве, о характере целей (групповая, одиночная) и т. д., т. е. судить о боевой обстановке в зоне действия радиолокационной станции.

Следует отметить, что длительность послесвечения нельзя выбирать слишком большой, чтобы на экране трубки не оказалось двух изображений: образовавшихся при данном обороте линии развертки и при предыдущем.

Радиально-круговую развертку можно получить и при неподвижных отклоняющих катушках. Для этого вокруг горловины трубки помещают две пары отклоняющих катушек, расположенные взаимно-перпендикулярно (рис. 39).

Покажем, что на экране электронно-лучевой трубки получится радиально-круговая развертка, если токи, питающие катушки L_1 , L_2 и L_3 , L_4 , удовлетворяют следующим условиям:

- имеют пилообразную форму;
- амплитуды токов изменяются по синусоидальному закону;
- сдвиг между синусоидальными огибающими пилообразных токов равен 90° .

Под действием тока пилообразной формы i_1 (рис. 40), проходящего через отклоняющие катушки L_1 , L_2 , происходит горизонтальное отклонение электронного луча, так как силовые линии магнитного поля, создаваемого этими катушками, направлены вертикально (см. рис. 39, *a*). Под

действием тока пилообразной формы i_2 (см. рис. 40), проходящего через отклоняющие катушки L_3 , L_4 , происходит вертикальное отклонение электронного луча, так как силовые линии магнитного поля, создаваемого этими катушками, направлены горизонтально (см. рис. 39, б).

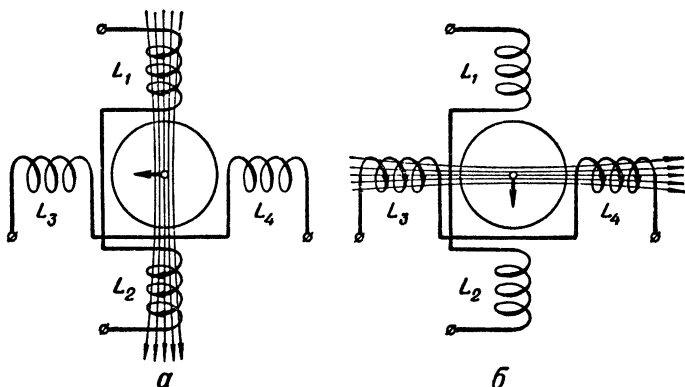


Рис. 39. Расположение отклоняющих катушек для получения радиально-круговой развертки

В момент времени t_1 (см. рис. 40) токи i_1 и i_2 одновременно начинают возрастать по линейному закону. Ток i_1 достигает небольшого значения, вызывая соответственно небольшое отклонение электронного луча по горизонтали. Ток i_2 в это же время возрастает почти до максимального своего значения и электронный луч отклоняется по вертикали почти на полный радиус развертки. Так как магнитные поля катушек L_1 , L_2 и L_3 , L_4 действуют на электронный луч одновременно, то линия развертки на экране трубки оказывается направленной по радиусу $0-1$.

Пропуская промежуточные точки, рассмотрим сразу момент времени t_6 . В этом случае токи i_1 и i_2 достигают при своем изменении одного и того же значения (амплитуды шестых импульсов тока i_1 и i_2 равны). Следовательно, электронный луч отклонится и по горизонтали и по вертикали на одну и ту же величину, т. е. линия развертки $0-6$ пройдет на экране трубки под углом 45° к горизонтали.

И, наконец, рассмотрим момент времени t_{12} . Ток i_1 , возрастая, достигает максимального значения. При этом электронный луч отклоняется по горизонтали на полный радиус развертки. Ток i_2 почти не изменяется, практически не

влияя на отклонение электронного луча по вертикали. Поэтому линия развертки оказывается направленной по радиусу $0-12$.

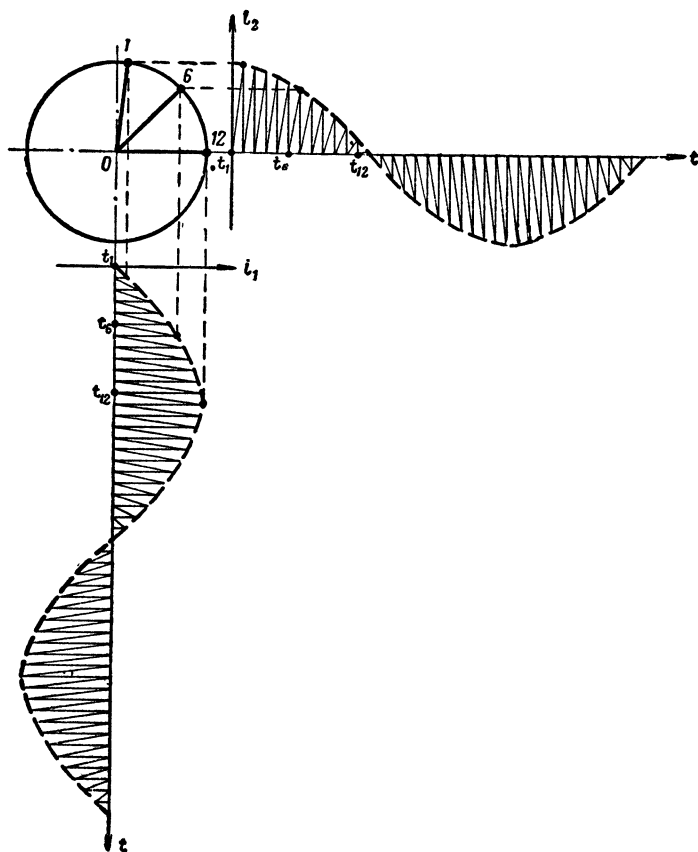


Рис. 40. Получение радиально-круговой развертки при неподвижных отклоняющих катушках

Таким образом, за первую четверть периода изменения токов i_1 и i_2 линия развертки на экране повернулась вокруг своего центра на 90° . Очевидно, что при дальнейшем изменении токов i_1 и i_2 линия развертки будет продолжать свое вращение, т. е. мы получим радиально-круговую развертку.

Заметим, что частота повторения пилообразных импульсов тока i_1 и i_2 достаточно большая¹, а следовательно, отдельные линии развертки располагаются очень близко одна от другой, создавая впечатление плавного вращения развертки. В этом случае отметки цели, полученные при каждом положении линии развертки, сливаются в одну яркую отметку. При низкой частоте повторения импульсов токов i_1 и i_2 линии развертки будут располагаться на некотором расстоянии одна от другой и отметки целей (особенно на краю экрана) станут прерывистыми — «пунктирными».

¹ Эта частота равна частоте повторения импульсов, излучаемых антенной радиолокационной станции.

РАЗВЕРТКА ТИПА АЗИМУТ — ДАЛЬНОСТЬ

Разверткой типа азимут — дальность (разверткой типа В) называется такая развертка, при которой след электронного луча на экране быстро перемещается по вертикали (причем отклонение луча происходит пропорционально дальности цели) и одновременно медленно перемещается по горизонтали (отклонение по горизонтали происходит синхронно с поворотом антенны по азимуту). В этом случае отклонение электронного луча по вертикали пропорционально дальности цели, а отклонение луча по горизонтали — азимуту цели. В некоторых образцах радиолокационных станций бывает и наоборот: отклонение электронного луча по вертикали в индикаторе типа азимут — дальность пропорционально азимуту цели, а отклонение по горизонтали — ее дальности.

В результате одновременного перемещения следа электронного луча по вертикали и горизонтали на экране трубки получается ряд вертикальных светящихся линий, расположенных в непосредственной близости одна от другой (рис. 41). Сплошными линиями на рис. 41 показан прямой ход развертки, пунктирными — обратный. Обычно такой вид развертки используется при поиске цели в секторе.

Для получения развертки типа азимут — дальность используется электронно-лучевая трубка с магнитным управлением. Экран трубки должен обладать послесвече-

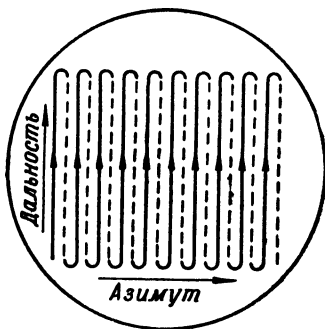


Рис. 41. Экран электронно-лучевой трубки с разверткой типа азимут — дальность

нием. Отклоняющая система трубки состоит из двух пар взаимно-перпендикулярных катушек.

Упрощенная блок-схема индикатора с разверткой типа азимут — дальность приведена на рис. 42.

Отклоняющие катушки L_1 , L_2 питаются от потенциометра азимута. Движок потенциометра механически связан с антенной станции.

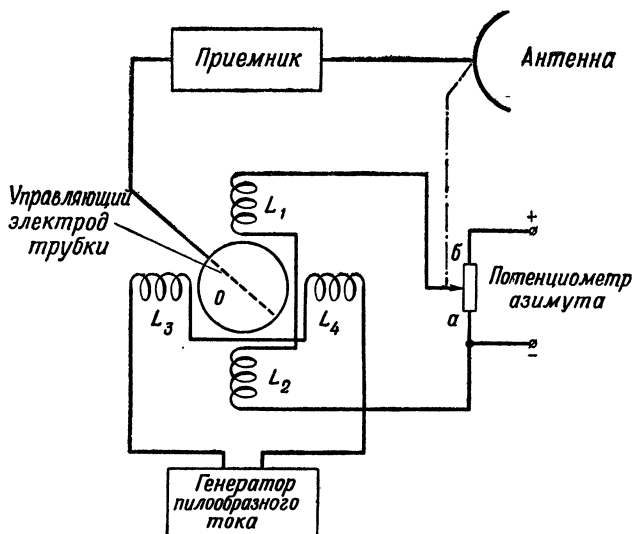


Рис. 42. Упрощенная блок-схема индикатора с разверткой типа азимут — дальность

Допустим, что антенна качается в секторе 5° и в исходном ее положении движок потенциометра азимута находится в точке a . При повороте антенны движок перемещается вверх, ток в катушках L_1 , L_2 возрастает и электронный луч перемещается по горизонтали. Когда антенна повернется на 5° , движок потенциометра окажется в точке $б$ и горизонтальное отклонение электронного луча будет максимальным. Это перемещение электронного луча происходит пропорционально углу поворота антенны по азимуту и соответствует прямому ходу развертки по горизонтали.

При обратном движении антенны движок потенциометра азимута перемещается сверху вниз, ток в катушках L_1 , L_2 уменьшается и электронный луч возвращается в исходное

положение¹ (обратный ход развертки). На время движения луча в исходное положение трубка запирается, для чего на ее управляющий электрод подается отрицательное напряжение.

Отклоняющие катушки L_3, L_4 получают питание от генератора пилообразного тока. Пилообразный ток, проходя по катушкам L_3, L_4 , вызывает вертикальное отклонение электронного луча. Величина этого отклонения, как и в других типах разверток, пропорциональна дальности цели. *

Частота повторения импульсов пилообразного тока², вырабатываемых генератором, значительно больше частоты повторения импульсов пилообразного тока, проходящего по катушкам L_1, L_2 . Поэтому, пока электронный луч пройдет по горизонтали из исходного положения в крайнее, он успеет много раз отклониться по вертикали. В результате получится развертка, изображенная на рис. 41.

Импульс, отраженный от цели, с выхода приемника поступает на управляющий электрод трубки (см. рис. 42), создавая засвет соответствующего участка экрана — отметку цели. Отметка цели получается в виде черточки. Величина смещения отметки по вертикали пропорциональна дальности, а величина смещения по горизонтали — азимуту цели. Так как экран трубки обладает послесвечением, то на нем видны отметки всех целей, находящихся в секторе обзора станции.

На рис. 43 показан экран трубки с разверткой типа азимут — дальность. Для удобства отсчета перед экраном помещена масштабная сетка. Пользуясь ею, легко определить, что дальность цели 1 равна 25 км, а азимут — $6,5^\circ$ (обзор производится в секторе $5-10^\circ$); дальность цели 2 равна 20 км, азимут — $8,5^\circ$.

При развертке типа азимут — дальность экран трубки заполнен как бы отдельными вертикальными светящимися строками — линиями развертки. Этим и объясняется то, что

¹ Заметим, что след электронного луча в исходном положении может находиться в любом месте экрана трубки в зависимости от величины и направления постоянных токов в катушках L_1, L_2 и L_3, L_4 . В трубках с разверткой типа азимут — дальность исходный режим выбирают таким, чтобы след электронного луча находился в левом нижнем углу экрана трубки (точка 0 на рис. 42).

² Эта частота равна частоте повторения импульсов, излучаемых антенной радиолокационной станции.

иногда развертку азимут — дальность относят к типу так называемых строчных (или растровых) разверток.

Сравнивая развертку типа азимут — дальность с радиально-круговой разверткой, нетрудно убедиться в их

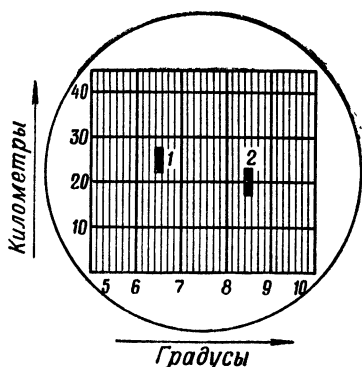


Рис. 43. Отметки целей (1, 2) на экране электронно-лучевой трубки с разверткой типа азимут — дальность

общности. В самом деле, в обоих случаях определяются две координаты цели — азимут и дальность, т. е. развертки относятся к двумерным. Различие между этими развертками состоит в том, что в первой из них (типа азимут — дальность) координаты цели отсчитываются в прямоугольной, а во второй (радиально-круговой) — в полярной системе координат.

РАЗВЕРТКА ТИПА АЗИМУТ — УГОЛ МЕСТА

Разверткой типа азимут — угол места (разверткой типа С) называется развертка, при которой след электронного луча на экране медленно перемещается по вертикали (причем величина его отклонения соответствует углу места цели) и одновременно быстро перемещается по горизонтали (отклонение по горизонтали происходит синхронно с поворотом антенны по азимуту). Развертка такого типа используется в том случае, если радиолокационная станция осуществляет поиск цели в определенной области пространства (диаграмма направленности антенны качается в некотором секторе по азимуту и одновременно в некотором секторе по углу места).

Блок-схема индикатора с разверткой типа азимут — угол места отличается от блок-схемы, изображенной на рис. 42, только тем, что отклоняющие катушки L_3 , L_4 в рассматриваемой схеме питаются не от генератора пилообразного тока, а от потенциометра угла места. Движок этого потенциометра механически связан с антенной и перемещается в соответствии с поворотом антенны по углу места.

Обычно частота качания антенны по азимуту значительно больше частоты ее качания по углу места. За время одного перемещения антенны по углу места из нижнего крайнего положения в верхнее (за это время след электронного луча на экране сместится по вертикали также из нижнего крайнего положения в верхнее) успевает произойти несколько качаний ее по азимуту. Следовательно, электронный луч за это время прочертит на экране несколько горизонтальных линий (рис. 44). На рис. 44 сплошными линиями показан прямой ход развертки, пунктирными — обратный.

При развертке типа азимут — угол места используется (как и при развертке типа азимут — дальность) яркостный метод индикации отраженных импульсов.

На рис. 45 показан экран трубки с разверткой типа азимут — угол места. Обычно при таком типе развертки азимут и угол места цели не считаются, а определяется только отклонение цели от пеленгового направления¹. Так,

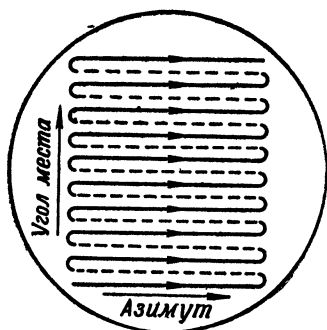


Рис. 44. Экран электронно-лучевой трубки с разверткой типа азимут — угол места

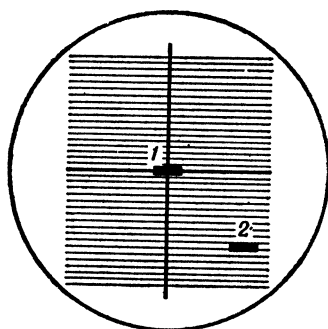


Рис. 45. Отметки целей (1, 2) на экране электронно-лучевой трубки с разверткой типа азимут — угол места

цель 1 находится точно на пеленговом направлении, а цель 2 — справа и ниже него. Поэтому индикаторы с разверткой типа угол места — азимут иногда называют индикаторами угловых отклонений.

¹ Пеленговым направлением называют линию, соединяющую точку стояния станции с точкой, в которой находится цель.

ТРЕХМЕРНЫЕ РАЗВЕРТКИ

В предыдущих разделах были рассмотрены одно- и двухмерные развертки. Но существуют и трехмерные развертки, т. е. такие развертки, которые позволяют определять сразу все три координаты цели. Основное преимущество трехмерных разверток — наглядность изображения цели, поэтому они получили распространение главным образом в авиационных станциях.

На рис. 46 показан экран электронно-лучевой трубки с трехмерной разверткой типа Н. Здесь отклонение отметки

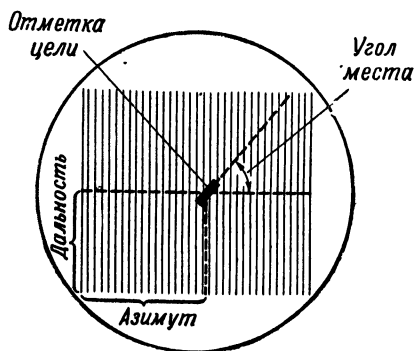


Рис. 46. Экран электронно-лучевой трубки с трехмерной разверткой типа Н

по вертикали пропорционально дальности, отклонение по горизонтали — азимуту, а наклон отметки по отношению к горизонтали — углу места цели. Точность индикаторов с такой разверткой невысока, а схема получения развертки сложная, поэтому они получили ограниченное применение.

В некоторых авиационных радиолокационных станциях применяются индикаторы с трехмерной разверткой типа G. Экран такого индикатора показан на рис. 47. Отклонение отметки по вертикали при данном типе развертки пропорционально углу места, а по горизонтали — азимуту цели. Но обычно угол места и азимут цели не считываются, а по положению отметки цели судят о том, на сколько и куда она отклонилась от центра развертки. Если отметка цели совпадает с центром развертки, значит, цель находится точно перед самолетом.

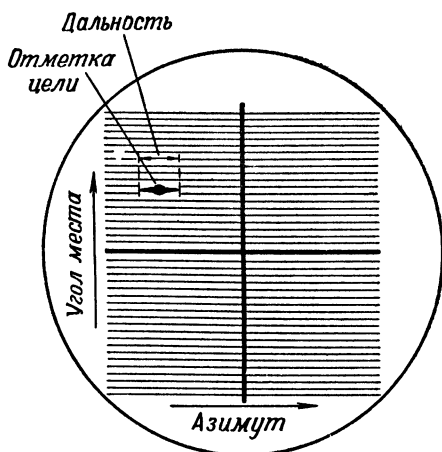


Рис. 47. Экран электронно-лучевой трубки индикатора авиационной станции с трехмерной разверткой типа G

Из рис. 47 видно, что отметка цели имеет несколько необычную форму: у нее хорошо заметны выступы — «крылышки». По длине (размаху) этих «крылышек» определяется дальность цели: чем они длиннее, тем ближе цель.

Особое место среди разверток занимает развертка, применяемая в индикаторе высоты станции с диаграммой направленности в виде так называемого V-луча.

Такая диаграмма направленности получается при использовании двух антенн: антенны вертикального луча и антенны наклонного луча (рис. 48). Обе антенны имеют общее основание и могут вращаться вокруг вертикальной оси.

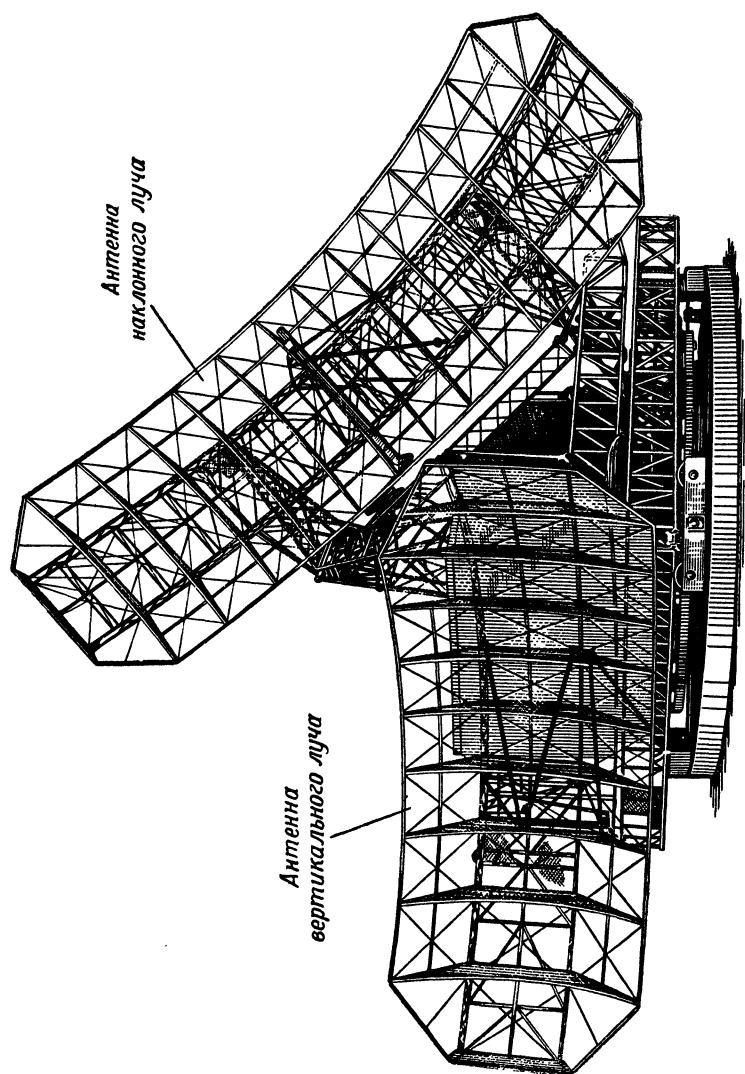


Рис. 48. Общий вид антенной системы станции с V-образной диаграммой направленности (с V-лучом)

Антенна вертикального луча имеет диаграмму направленности, сильно сжатую в горизонтальной и растянутую в вертикальной плоскостях (рис. 49). Антенна наклонного луча имеет диаграмму направленности аналогичной формы. Но так как отражатель антенны наклонного луча расположен под некоторым углом к горизонту (обычно под углом 45°), то и плоскость наклонного луча диаграммы направленности расположена под углом 45° к плоскости вертикального луча.

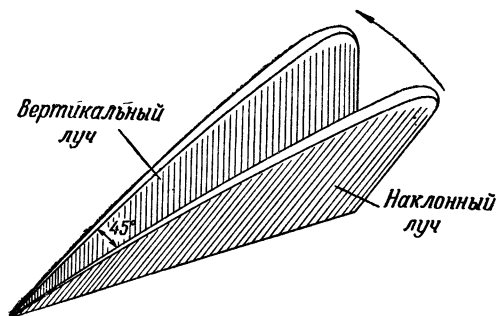


Рис. 49. Диаграмма направленности антенной системы с V-лучом

В индикаторе станции с V-лучом используется развертка, подобная рассмотренной выше развертке азимут — дальность. Отклонение электронного луча по горизонтали пропорционально дальности цели, а по вертикали — углу поворота антенной системы.

Очевидно, что при вращении антенной системы в направлении, указанном на рис. 49 стрелкой, цель сначала попадет в зону действия вертикального луча, а затем (после поворота антенной системы на некоторый угол α) — в зону действия наклонного луча. На экране индикатора соответственно образуются две отметки цели (рис. 50): отметка за счет облучения цели вертикальным лучом и отметка за счет облучения цели наклонным лучом. Отметки будут разнесены по вертикали на некоторое расстояние, пропорциональное углу поворота α антенной системы. Заметим, что отметки цели практически находятся на одной вертикальной прямой, так как за время поворота антенны на угол α дальность цели не успевает существенно измениться.

Величина α зависит от высоты цели. Действительно, чем больше высота цели, тем больше угол поворота антенной

системы между двумя облучениями цели. При малых высотах угол α может оказаться очень небольшим, отметки целей сольются и отсчет будет затруднен. Чтобы этого не происходило, антенны вертикального и наклонного лучей разворачиваются по азимуту на некоторый угол $\Delta\beta$.

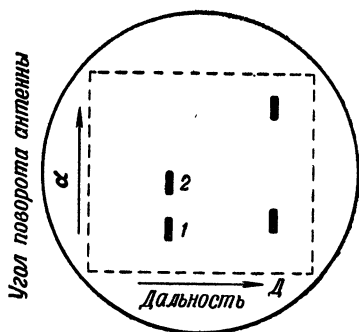


Рис. 50. Экран индикатора станции с V-лучом:

1 — отметка за счет облучения цели вертикальным лучом; 2 — отметка за счет облучения цели наклонным лучом

Формула для расчета высоты цели имеет следующий вид (с учетом кривизны земли):

$$H = D \frac{\sin(\alpha - \Delta\beta)}{\sqrt{1 + \sin^2(\alpha - \Delta\beta)}} + \frac{D^2}{2R},$$

где H — высота цели в км;

D — наклонная дальность цели в км;

α — угол поворота антенной системы между двумя облучениями;

$\Delta\beta$ — угол между диаграммами направленности в азимутальной плоскости (порядка 10°);

R — радиус земли в км.

Обычно расчет высоты производится заранее (с учетом кривизны земли). По данным расчета строятся кривые равных высот. Эти кривые наносятся на прозрачную подвижную шкалу вместе с масштабными линиями дальности цели и угла поворота антенной системы. Желая определить высоту цели, оператор совмещает отметку 1 цели с линией «нулевой высоты». Тогда по положению отметки 2 относительно линий равных высот можно определить высоту цели.

Следует заметить, что по положению отметки *I* можно определить азимут цели.

* * *

Современные радиолокационные станции представляют собой сложные радиотехнические устройства. Одним из наиболее сложных элементов станций является индикатор. Существует большое число типов индикаторов, собранных по самым различным схемам. Материал данной брошюры должен помочь читателю разобраться в устройстве и принципе действия любого конкретного индикатора.

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Введение	3
Классификация осциллографических индикаторов	6
Методы индикации отраженных сигналов	8
Параметры разверток	11
Прямая развертка	16
Кольцевая развертка	28
Спиральная развертка	34
Радиально-круговая развертка	36
Развертка типа азимут — дальность	49
Развертка типа азимут — угол места	53
Трехмерные развертки	55

Врублевский Александр Викентьевич
РАЗВЕРТКИ ИНДИКАТОРОВ

Редактор подполковник *Владимиров В. Т.*
Технический редактор *Медникова А. Н.*
Корректор *Якушина Т. Г.*

Сдано в набор 26.07.57 г.

Подписано к печати 4.11.57 г.

Г-32541.

Формат бумаги $84 \times 108^{1/32}$ — 2 печ. л.

3,28 усл. печ. л. 2,615 уч.-изд. л.

Военное Издательство

Министерства обороны Союза ССР

Москва, К-9, Тверской бульвар, 18.

Изд. № 5/8693. Зак. 534.

1-я типография имени С. К. Тимошенко

Управления Военного Издательства

Министерства обороны Союза ССР

Москва, К-6, проезд Скворцова-

Степанова, дом 3.

Цена 90 к.

ТОВАРИЩИ ЧИТАТЕЛИ!

С заказами на библиотеку «Радиолокационная техника» обращайтесь в магазины военторгов «Военная книга».

Свои отзывы и пожелания по библиотеке «Радиолокационная техника» просьба направлять по адресу: Москва, К-9, Тверской бульвар, 18, Управление Военного Издательства.

БИБЛИОТЕКА „РАДИОЛОКАЦИОННАЯ ТЕХНИКА“

В помощь офицерам, связанным с эксплуатацией радиотехнических средств, Военное издательство выпускает библиотеку «Радиолокационная техника». Эта библиотека может быть также использована широким кругом читателей, желающих подробно ознакомиться с работой отдельных узлов и элементов радиолокационных станций.

ВЫШЛИ ИЗ ПЕЧАТИ

- К. Н. ТРОФИМОВ. Радиолокация.
В. С. НЕЛЕПЕЦ. Антенны метровых волн.
С. И. БЫЧКОВ. Магнетрон.
А. П. КАРУСЬ. Антенные переключатели.
М. А. СОКОЛОВ. Преобразователи частоты.
З. Э. АШ. Реле.
Б. Ш. ГОРИН. Индикаторы дальности.
Г. Д. ЗАВАРИН. Усилители.

НАМЕЧЕНЫ К ИЗДАНИЮ

1. Координаты, определяемые радиолокатором.
2. Линии передачи.
3. Волноводы.
4. Объемные резонаторы.
5. Антенны сверхвысоких частот.
6. Управление диаграммами направленности.
7. Распространение радиоволн.
8. Электронные лампы.
9. Газоразрядные приборы.
10. Выпрямительные устройства.
11. Формирование импульсов.
12. Генераторы несинусоидальных колебаний.
13. Импульсные передатчики УКВ.
14. Клистрон.
15. Лампа обратной и бегущей волны.
16. Регулировка усиления и АПЧ.
17. Синхронно-следящие устройства.
18. Электронно-лучевая трубка.
19. Индикаторы направления.
20. Помехи радиолокации и борьба с ними.
21. Технические данные радиолокационной станции.
22. Электротехнические измерения.
23. Электронный осциллограф.

Цена 90 коп.