

СПРАВОЧНИК МОЛОДОГО РАДИСТА

СПРАВОЧНИК МОЛОДОГО РАДИСТА



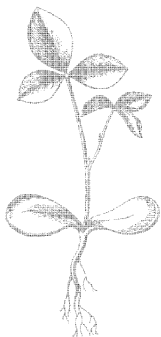
В. Г. БОДИЛОВСКИЙ, М. А. СМИРНОВА

СПРАВОЧНИК МОЛОДОГО РАДИСТА

*Издание второе,
переработанное и дополненное*



Издательство «В ы с ш а я ш к о л а»
Москва, 1971



Бодиловский В. Г. и Смирнова М. А.

Б75 Справочник молодого радиста. Изд. 2-е, перераб.
и доп. М., «Высш. школа», 1971.
312 с. с илл., 210 000 экз., 66 к.

В справочнике приведены краткие сведения по основам радиотехники, электровакуумным и полупроводниковым приборам, радиотехническим материалам и радиодеталям, освещены вопросы усиления электрических колебаний, их генерирования и приема, формирования импульсов, электропитания радиотехнических устройств.

В настоящем издании обновлены и расширены сведения по электровакуумным и полупроводниковым приборам, более систематизирован материал других глав.

Со всеми замечаниями и предложениями просим обращаться по адресу: *Москва, К-51, Неглинная, 29/14, издательство «Высшая школа».*

3-4-1
55-70

6Ф2(083)

Предисловие

Интенсивное развитие радиоэлектроники имеет важное значение для выполнения задач, поставленных Программой КПСС, по созданию в нашей стране материально-технической базы коммунизма. Радиоэлектроника составляет основу технического прогресса всех отраслей народного хозяйства.

Наряду с такими традиционными направлениями радиоэлектроники, как радиопередача и радиоприем, в настоящее время получили развитие новые направления электроники — импульсная техника, автоматика, счетно-решающие устройства и др.

В условиях быстрого прогресса радиоэлектроники расширяются области ее применения во многих отраслях промышленности. Увеличивается производство самой разнообразной радиоэлектронной аппаратуры, к качественным показателям и надежности которой предъявляются все более жесткие требования.

В решении этих задач большое значение имеет деловая квалификация радиомонтажников, регулировщиков и других специалистов, занятых в производстве и эксплуатации радиоэлектронной аппаратуры. Важной предпосылкой их успешной работы является понимание принципов действия различных радиотехнических устройств, умение разбираться в простейших расчетах.

С этой целью в справочнике кратко изложены физические основы радиосвязи; приведены основные сведения о радиомагнерналах и деталях, электровакуумных и полупроводниковых приборах; рассмотрены принципы действия и основные параметры важнейших радиотехнических устройств; приведены некоторые расчетные соотношения в них.

В справочнике применяется техническая система единиц МКСА. Единицы этой системы в основном совпадают с Международной системой единиц СИ. Имеющиеся расхождения в единицах оговорены в сносках.

Материал справочника разбит на ряд глав, имеющих самостоятельное значение, что облегчает пользование книгой.

Справочник предназначен для учащихся, мастеров производственного обучения и преподавателей ПТУ. Он может быть также использован радиолюбителями и широким кругом лиц, интересующихся современной радиоэлектроникой.

Справочник рекомендован к изданию Государственным комитетом Совета Министров СССР по профессионально-техническому образованию. Гл. I—III, VI—IX написаны инж. Смирновой М. А., гл. IV, V, X—XII — инж. Бодиловским В. Г.

Глава I. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

§ 1. Единицы измерения основных величин

С 1 января 1963 г. введен новый Государственный стандарт «Международная система единиц» (ГОСТ 9867—61) для предпочтительного применения во всех областях науки, техники и народного хозяйства, а также при преподавании.

В табл. 1 приведены основные единицы системы СИ (система интернациональная) и некоторые производные единицы, наиболее часто встречающиеся в радиотехнике.

Более крупные и более мелкие единицы измерения (кратные и дольные) образуются путем умножения единиц, приведенных в табл. 1, на степень числа 10. Наименование более крупной или более мелкой единицы получается прибавлением к простым наименованиям единиц приставок (табл. 2).

Например, 1 кВ (киловольт) $= 10^3 \text{ в}$; 1 Мгц (мегагерц) $= 10^6 \text{ гц}$; 1 мксек (микросекунда) $= 10^{-6} \text{ сек}$; 1 пф (пикофарада) $= 10^{-12} \text{ ф}$

Таблица 1

Единицы измерения физических величин по Международной системе единиц (СИ)

Наименование величины	Обозначение	Единица измерения	Сокращенное обозначение единицы измерения
-----------------------	-------------	-------------------	---

Основные единицы

Длина	l	метр	$м$
Масса	m	килограмм	$кг$
Время	t	секунда	$сек$
Сила электрического тока	I	ампер	$а$
Термодинамическая температура	T	градус Кельвина	$^{\circ}K$
Сила света	I, J	свеча	$св$

Продолжение табл. 1

Наименование величины	Обозначение	Единица измерения	Сокращенное обозначение единицы измерения
Производные единицы			
Механические единицы			
Период	T	секунда	сек
Частота	f	герц	гц
Частота угловая	ω	радиан в секунду	рад/сек
Сила (в частности, сила тяжести — вес)	$F; G$	ньютон	н
Работа	}	джоуль	дж
Энергия			
Тепловые единицы			
Количество теплоты	Q	джоуль	дж
Электрические и магнитные единицы			
Количество электричества, электрический заряд	Q	кулон	к
Плотность электрического тока	$\delta; I$	ампер на квадратный метр	а/м ²
Электрический потенциал	$V; \varphi$	вольт	в
Разность электрических потенциалов	$V_1 - V_2;$		
Электродвижущая сила	$\varphi_1 - \varphi_2$		
Электрическое напряжение	E		
Напряженность электрического поля	U	вольт на метр	в/м
Электрическая емкость	E	фарада	ф
Диэлектрическая проницаемость свободного пространства (электрическая постоянная)	C	фарада на метр	ф/м
Диэлектрическая проницаемость относительная	ϵ_0	безразмерная величина	
Электрическое сопротивление:	ϵ		
активное	}	ом	ом
реактивное			
полное			
	$r; R$ $x; X$ $z; Z$		

Продолжение табл. 1

Наименование величины	Обозначение	Единица измерения	Сокращенное обозначение единицы измерения
Электрическая проводимость:			
активная	$g; G$	сименс	сим
реактивная	$b; B$		
полная	$y; Y$		
Удельное электрическое сопротивление	ρ	ом-метр	ом·м
Удельная электрическая проводимость	$\sigma; \gamma$	сименс на метр	сим/м
Магнитный поток	Φ	вебер	вб
Магнитная индукция	B	тесла	тл
Магнитодвижущая сила	F	ампер	а
Напряженность магнитного поля	H	ампер на метр	а/м
Индуктивность	L	генри	гн
Взаимная индуктивность	M		
Магнитная проницаемость свободного пространства (магнитная постоянная)	μ_0	генри на метр	гн м
Магнитная проницаемость относительная	μ	безразмерная величина	
Электрическая энергия, работа	W	джоуль	дж
Мощность электрической цепи:			
активная	P	ватт	вт
реактивная	Q	вольт-ампер реактивный	вар
полная	S	вольт-ампер	в·а

Акустические единицы

Звуковое давление	p	ньютон на квадратный метр	н/м ²
Звуковая энергия	W	джоуль	дж
Поток звуковой энергии (звуковая мощность)	P	ватт	вт
Интенсивность звука	$I; J$	ватт на квадратный метр	вт/м ²

Таблица 2

**Приставки для образования кратных и дольных единиц
(ГОСТ 7663—55)**






Кратность и доль- ность	Приставка	Сокращен- ное обоз- начение	Кратность и доль- ность	Приставка	Сокращенное обозначение
10^{12}	Тера	<i>T</i>	10^{-1}	Деци	<i>д</i>
10^9	Гига	<i>G</i>	10^{-2}	Санتي	<i>с</i>
10^6	Мега	<i>M</i>	10^{-3}	Милли	<i>м</i>
10^3	Кило	<i>к</i>	10^{-6}	Микро	<i>мк</i>
10^2	Гекто	<i>г</i>	10^{-9}	Нано	<i>н</i>
10	Дека	<i>да</i>	10^{-12}	Пико	<i>п</i>

**§ 2. Условные графические обозначения
для электрических схем (ГОСТ 7624—62)**

Таблица 3

Номер п/п	Наименование	Обозначение
1	Ток постоянный. Напряжение постоянное	—
2	Ток переменный. Напряжение переменное. Общее обозначение	~
	<p>Примечание: Если на одной схеме необходимо указать различные диапазоны (или полосы) частот, следует применять обозначения:</p>	

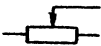
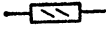
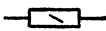
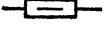
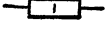
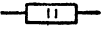
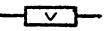
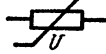



Продолжение табл. 3

Номер п/п	Наименование	Обозначение
	а) промышленная частота	
	б) звуковая частота	
	в) ультразвуковая и радиочастота	
3	Ток пульсирующий	
4	Заземление	
5	Корпус (аппарата, машины, прибора)	
6	Экран, соединенный с корпусом	
7	Вентиль. Общее обозначение	
8	Линия электрической связи. Общее обозначение	
9	Линий электрической связи пересекающиеся, электрически не соединенные	
10	Линии электрической связи пересекающиеся, электрически соединенные	
11	Линия электрической связи экранированная	

Продолжение табл. 3

Номер п/п	Наименование	Обозначение
12	Элемент гальванический или аккумуляторный	
13	Батарея из гальванических или аккумуляторных элементов	
14	Предохранитель плавкий. Общее обозначение	
15	Выключатель. Общее обозначение	
16	Переключатель на несколько положений	<p></p> <p>или</p> <p></p>
17	Сопротивление нерегулируемое (постоянное)	
18	Сопротивление регулируемое (реостат). Общее обозначение	
19	Сопротивление подстроечное (реостат с подстроечным регулированием). Общее обозначение	

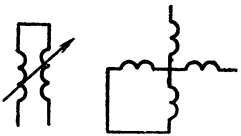





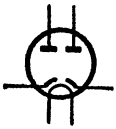
Продолжение табл. 3

Номер п/п	Наименование	Обозначение
20	Сопротивление регулируемое (потенциометр). Общее обозначение	
21	Для обозначения номинальной мощности рассеяния применяются обозначения:	
	0,12 Вт	
	0,25 Вт	
	0,5 Вт	
	1 Вт	
	2 Вт	
	5 Вт	
22	Варистор	
23	Конденсатор нерегулируемый (постоянный). Общее обозначение	
24	Конденсатор электролитический: а) полярный	
	б) неполярный	




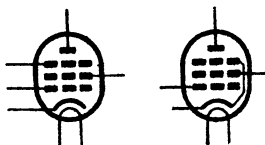
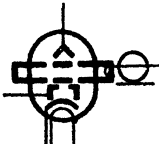
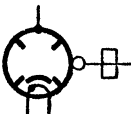
Продолжение табл. 3

Номер п/п	Наименование	Обозначение
25	Конденсатор регулируемый (переменной емкости)	
26	Конденсатор подстроечный	
27	Вариконд	
28	Сердечник катушки (магнитопровод): а) ферромагнитный	
	б) магнитодиэлектрический	
	в) немагнитный	
29	Катушка индуктивности, дроссель без сердечника	
30	Катушка индуктивности с магнитодиэлектрическим сердечником	
31	Катушка индуктивности, под- страиваемая магнитодиэлектри- ческим сердечником	







Продолжение табл. 3

Наименование	Обозначение
Вариометр	
Дроссель с ферромагнитным сердечником	
Трансформатор с магнитоди- электрическим сердечником	
Диод: а) прямого накала	
б) косвенного накала	
Диод двойной: а) с общим катодом	
б) с отдельными катодами	








Продолжение табл. 3

Номер п/п	Наименование	Обозначение
37	Триод	
38	Триод двойной с раздельными катодами с внутренним разделительным экраном и отводом от него	
39	Тетрод лучевой	
40	Пентод	
41	Клистрон отражательный с внешним резонатором с коаксиальным выходом	
42	Магнетрон ненастраиваемый с волноводным выходом	








Продолжение табл. 3

Номер п/п	Наименование	Обозначение
43	Газотрон с одним анодом	
44	Тиратрон с тремя сетками	
45	Тиратрон с холодным катодом	
46	Лампа тлеющего разряда (неоновая)	
47	Стабилитрон	
48	Стабилизатор тока (бареттер)	

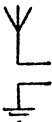
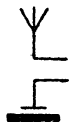








Продолжение табл. 3

Номер п/п	Наименование	Обозначение
49	Фотоэлемент электронный	
50	Фотоэлемент ионный	
51	Лампа накаливания. Общее обозначение	
	Примечание. Допускается в изображении сигнальных ламп сектора за- чернять	
52	Диод полупроводниковый	
53	Транзистор типа $p-n-p$	
54	Транзистор типа $n-p-n$	







Продолжение табл. 3

Номер п/п	Наименование	Обозначение
55	Диод туннельный	
56	Антенна несимметричная	
57	Антенна симметричная	
	<p>Примечание.</p> <p>Если необходимо уточнить назначение антенны, должны применяться следующие обозначения:</p> <p>а) передающая антенна</p>	
	б) приемная антенна	
	в) приемно-передающая антенна	
58	Противовес	

Продолжение табл. 3

Номер п/п	Наименование	Обозначение
59	Антенна несимметричная а) с заземлением	
	б) с противовесом	
60	Телефон. Общее обозначение	 или 
61	Микрофон. Общее обозначение	 или 
62	Громкоговоритель (репродуктор). Общее обозначение	 или 
63	Звукосниматель (адаптер). Общее обозначение	
64	Рекордер. Общее обозначение	

Продолжение табл. 3

Номер п/п	Наименование	Обозначение
65	Головка магнитная. Общее обозначение	
66	Головка магнитная воспроизводящая	
67	Головка магнитная записывающая	
68	Головка магнитная универсальная	
69	Головка магнитная стирающая	
70	Пьезоэлемент с двумя электродами	

Глава II. ПРИНЦИПЫ РАДИОСВЯЗИ И РАДИОЛОКАЦИИ

§ 3. Сведения о радиоволнах

Радиоволны представляют собой электромагнитное поле, распространяющееся в пространстве со скоростью около 300 тыс. км/сек ($3 \cdot 10^8$ м/сек). Радиоволны создаются при помощи переменного тока высокой частоты.

Длиной волны называется расстояние, которое проходит волна за время одного периода переменного тока. Длину волны обычно выражают в метрах, сантиметрах или миллиметрах. Радиоволны можно характеризовать и частотой, выражая ее в герцах (Гц), килогерцах (кГц), мегагерцах (МГц) или гигагерцах (ГГц) и терагерцах (ТГц).

Длина волны λ и частота f обратно пропорциональны друг другу:

$$\lambda \text{ (м)} = \frac{300\,000\,000}{f \text{ (Гц)}} = \frac{300}{f \text{ (МГц)}}.$$

Радиоволны различных диапазонов отличаются по своим свойствам и применяются для различных целей. В соответствии с регламентом радиосвязи диапазоны радиоволн, используемых в радиотехнике, имеют условные обозначения и номера, приведенные в табл. 4.

§ 4. Радиосвязь

Радиосвязь служит для обмена сообщениями. Передаваемое сообщение преобразуется в электрический сигнал. Преобразователем может служить микрофон, телеграфный ключ или аппарат, телевизионная передающая трубка и т. д.

Электрический сигнал управляет колебаниями высокой частоты, которые вырабатываются радиопередатчиком. Полученный радиосигнал передается в антенну и излучается в окружающее пространство в виде электромагнитных волн (рис. 1). В приемной антенне возникает слабая э. д. с. высокой частоты, которая изменяется по тому же закону, что и ток в антенне передатчика. В приемнике сигнал усиливается, детектируется и воздействует на воспроизводящее устройство (телефоны, громкоговоритель, телеграфный аппарат, приемная телевизионная трубка и др.).

Таблица 4

Диапазоны радиоволн				
Номер диапазона	Название диапазона		Длина волн	Частота
	новая классификация	старая классификация		
4	Мириметровые волны	Сверхдлинные волны	100—10 км	3—30 кгц
5	Километровые волны	Длинные волны	10—1 км	30—300 кгц
6	Гектометровые волны	Средние волны	1 км—100 м	300 кгц—3 Мгц
7	Декаметровые волны	Короткие волны	100—10 м	3—30 Мгц
8	Метровые волны	Ультракороткие волны (УКВ)	10—1 м	30—300 Мгц
9	Дециметровые волны		1 м—10 см	300 Мгц—3 Ггц
10	Сантиметровые волны		10—1 см	3—30 Ггц
11	Миллиметровые волны		1 см—1 мм	30—300 Ггц
12	Децимиллиметровые волны		1 мм—100 мк	300 Ггц—3 Тгц
				<div> <div> <div>Радиосвязь, радионавигация</div> </div> <div> <div>Радиосвязь, радиовещание, радионавигация</div> <div>Радиосвязь, радиовещание</div> </div> <div> <div>Радиосвязь, радиорелейная связь, радиовещание, радиолокация, телевидение, радионавигация</div> </div> <div> <div>Диапазоны осваиваются</div> </div> </div>

Так как при радиосвязи ведется взаимный обмен сообщениями, то в каждом пункте имеется и передатчик и приемник. Такая радиосвязь называется *двусторонней*.

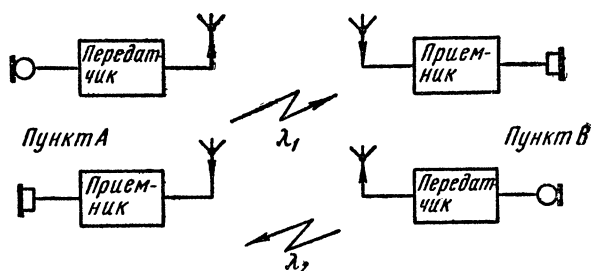


Рис. 1. Блок-схема двусторонней дуплексной радиосвязи

Корреспонденты в пунктах *А* и *В* могут передавать друг другу сообщения поочередно.

При передаче из пункта *А* в пункт *В* включен передатчик пункта *А* и приемник пункта *В*. При передаче в обратном направлении — приемник пункта *А* и передатчик пункта *В*. При этом оба передатчика работают на одной волне. Такая радиосвязь называется *симплексной*.

Если же передача в обоих направлениях ведется одновременно, то радиосвязь называется *дуплексной*. При этом передачи от *А* к *В* ведутся на одной волне, а от *В* к *А* — на другой. Так работают линии радиосвязи, осуществляющие большой обмен сообщениями.

§ 5. Радиорелейная связь

Радиорелейная связь между двумя пунктами осуществляется при помощи промежуточных станций, размещенных на трассе между корреспондентами (рис. 2). Оконечные и промежуточные станции образуют радиопередающую линию.

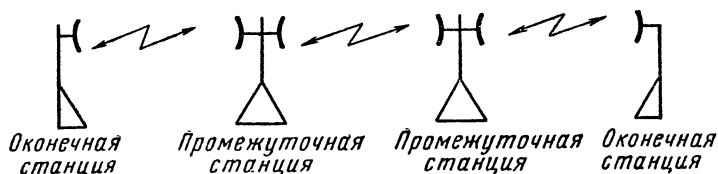


Рис. 2. Блок-схема радиорелейной линии

Каждая оконечная станция содержит передатчик, приемник и аппаратуру уплотнения, посредством которой можно использовать радиолинию для одновременной передачи большого числа сообщений. Промежуточная станция имеет два передатчика и два приемника для двух направлений обмена. Связь осуществляется в диапазоне сантиметровых или дециметровых волн. Расстояние между станциями 40—70 км.

Достоинства радиорелейной связи: возможность передачи большого потока сообщений (сотни и тысячи телефонных каналов) на большие расстояния; устойчивость работы (независимо от времени суток, времени года и других внешних условий).

§ 6. Радиовещание

Радиовещание является односторонней радиосвязью с большим числом корреспондентов. Передатчики радиовещательных станций могут иметь мощность сотни и тысячи киловатт, поскольку их должны принимать одновременно миллионы приемников.

Большое распространение имеет радиовещание по проводам. Радиозузел принимает по эфиру передачи радиовещательной станции или по проводам программу местной студии радиовещания, усиливает полученные сигналы и передает их по проводам к громкоговорителям абонентов (транслирует).

§ 7. Радиолокация

Радиолокацией называется определение местоположения какого-либо объекта (самолета, корабля и т. п.) при помощи радиоволн. В основе радиолокации лежит явление отражения радиоволн. Радиолокационными методами определяют координаты объекта: расстояние; азимут, т. е. угол в горизонтальной плоскости, величину которого отсчитывают от направления на север; угол места, который отсчитывают вверх от горизонтальной плоскости.

Для обнаружения объекта в пространстве необходимы антенны с очень острой диаграммой направленности. Такие антенны практически могут быть сконструированы для ультракоротких волн. Кроме того, радиоволны отражаются только от таких препятствий, размеры которых превышают длину волны. Поэтому радиолокационные станции работают в метровом, дециметровом и сантиметровом диапазоне волн.

Глава III. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАДИОТЕХНИКИ

§ 8. Колебательный контур

Простейшим колебательным контуром является цепь, состоящая из конденсатора и катушки (рис. 3).

Если сообщить контуру энергию, например зарядив конденсатор, то в контуре возникнут свободные электрические колебания: энергия заряженного конденсатора будет периодически превращаться в энергию магнитного поля катушки. На конденсаторе появится переменное напряжение, в контуре будет протекать переменный ток.

Частота свободных колебаний называется *собственной частотой контура* и определяется по формуле

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L \cdot C}},$$

где f_0 — частота свободных колебаний, $гц$;

L — индуктивность контура, $гн$;

C — емкость контура, $ф$.

Если выразить индуктивность в микрогенри, а емкость в пикофарадах, то можно подсчитать собственную частоту контура по формуле

$$f_0 (Мгц) = \frac{159}{\sqrt{L (мкгн) \cdot C (пф)}}.$$

Зная емкость и индуктивность контура, можно определить длину волны, которая соответствует частоте свободных колебаний (собственную длину волны контура).

$$\lambda (м) = 2\pi \cdot 3 \cdot 10^8 \sqrt{L (гн) \cdot C (ф)};$$

$$\lambda (м) = 1,88 \sqrt{L (мкгн) \cdot C (пф)}.$$

Если по заданной частоте свободных колебаний или собственной длине волны нужно найти емкость или индуктивность контура, то можно воспользоваться формулами

$$L \text{ (мкГн)} = \frac{253 \cdot 10^3}{f_0^2 \text{ (МГц)} \cdot C \text{ (пф)}} = \frac{\lambda^2 \text{ (м)}}{3,55 C \text{ (пф)}};$$

$$C \text{ (пф)} = \frac{253 \cdot 10^3}{f_0^2 \text{ (МГц)} \cdot L \text{ (мкГн)}} = \frac{\lambda^2 \text{ (м)}}{3,55 L \text{ (мкГн)}}.$$

В любом колебательном контуре имеются потери энергии. Энергия затрачивается на нагрев провода и каркаса катушки, диэлектрика конденсатора, соединительных проводов и др. Часть энергии излучается в окружающее пространство. Следовательно, каждый контур обладает активным сопротивлением. Кроме того, для получения

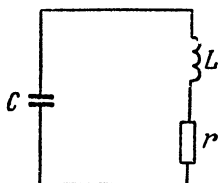


Рис. 3. Колебательный контур

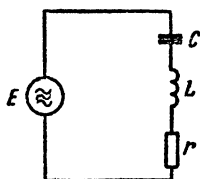


Рис. 4. Последовательный колебательный контур

нужных свойств контура в него иногда включают и дополнительное активное сопротивление.

Активное сопротивление контура r характеризует величину потерь энергии. Свободные колебания во всяком реальном контуре убывают по амплитуде, т. е. являются затухающими. Чем больше активное сопротивление в контуре, тем быстрее затухают колебания. Чтобы получить незатухающие, т. е. неизменные по амплитуде, колебания, нужно подключить контур к источнику переменного напряжения.

Последовательным колебательным контуром (рис. 4) называется цепь, состоящая из последовательно соединенных катушки, конденсатора и источника переменной э. д. с.

Полное сопротивление последовательного контура для синусоидального тока частоты f :

$$z = \sqrt{r^2 + (x_L - x_C)^2} = \sqrt{r^2 + \left(2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}\right)^2}.$$

Действующее значение тока в контуре:

$$I = \frac{E}{z}.$$

Если частота переменного напряжения, питающего контур, равна частоте его собственных колебаний ($f = f_0$), то в цепи возникнет *резо-*

напряжений. При этом реактивные сопротивления контура равны ($x_L = x_C$). Полное сопротивление контура равно его активному сопротивлению ($z_{\text{рез}} = r$), т. е. сравнительно мало.

Ток в контуре при резонансе напряжений имеет наибольшее значение.

$$I_{\text{рез}} = \frac{E}{r}.$$

Если изменять частоту f переменного напряжения, питающего контур, то изменится полное сопротивление контура z (рис. 5). Для

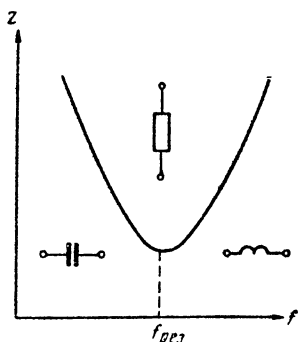


Рис. 5. Зависимость сопротивления последовательного контура от частоты

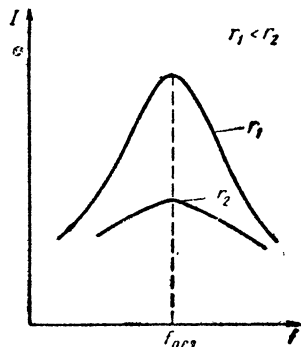


Рис. 6. Зависимость тока в последовательном контуре от частоты при различных значениях активного сопротивления контура

низких частот большое сопротивление имеет конденсатор, для высоких частот — катушка индуктивности. На резонансной частоте сопротивление контура имеет активный характер.

При изменении частоты будет изменяться и ток в контуре (рис. 6). Величина тока при резонансе зависит от активного сопротивления контура. Чем меньше активное сопротивление, тем больше ток при резонансе. Зависимость тока в контуре от частоты графически изображается *резонансной кривой контура*.

При резонансе напряжений на катушке и конденсаторе возникают большие напряжения. Они могут быть больше приложенного напряжения в десятки и сотни раз.

$$U_L = U_C = QU.$$

Добротность контура Q определяется по формуле

$$Q = \frac{1}{r} \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{2\pi f_0 L}{r} = \frac{1}{2\pi f_0 C}.$$

В этой формуле r выражено в омах, L — в генри, а C — в фарадах.

Для расчетов эта формула удобна в другом виде:

$$Q = \frac{1000}{r \text{ (ом)}} \cdot \sqrt{\frac{L \text{ (мкГн)}}{C \text{ (пф)}}}.$$

Параллельный колебательный контур можно получить, подключив катушку и конденсатор параллельно источнику переменной э. д. с. (рис. 7).

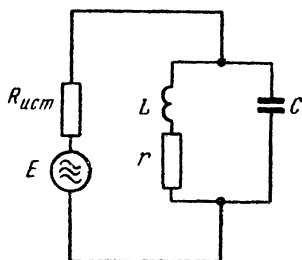


Рис. 7. Параллельный колебательный контур

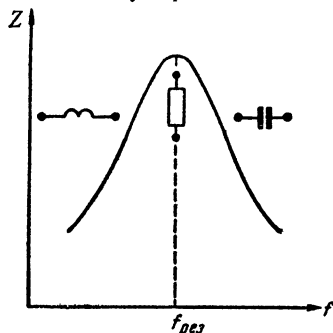


Рис. 8. Зависимость сопротивления параллельного контура от частоты

В параллельном контуре может возникнуть *резонанс токов*. При резонансе токов реактивные сопротивления ветвей равны друг другу ($x_L \approx x_C$). Токи в ветвях контура также одинаковы ($I_L \approx I_C$).

Сопротивление параллельного контура при резонансе велико и имеет чисто активный характер.

Величину сопротивления можно найти по формуле

$$z_{\text{рез}} = \frac{(\omega_0 L)^2}{r} = \frac{1}{(\omega_0 C)^2 \cdot r} = \frac{L}{Cr} = Q^2 r,$$

где $\omega = 2\pi f_0$ — угловая частота свободных колебаний;

r — сопротивление потерь в контуре.

Если выразить L в микрогенри, а C — в пикофарадах, то можно подсчитать $z_{\text{рез}}$ по формуле

$$z_{\text{рез}} = \frac{10^6 L \text{ (мкГн)}}{C \text{ (пф)} \cdot r \text{ (ом)}}.$$

В радиотехнической литературе резонансное сопротивление параллельного контура обычно обозначают через R_{oe} . Тогда ток в питающем проводе:

$$I = \frac{E}{R_{oe}}.$$

Токи в ветвях контура:

$$I_L \approx \frac{E}{x_L}; \quad I_C \approx \frac{E}{x_C}.$$

Если изменять частоту переменного напряжения, питающего контур, то будет изменяться и сопротивление контура. Токи низких частот будут протекать, в основном, в ветви с катушкой, токи высших

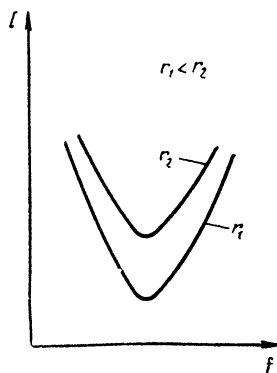


Рис. 9. Зависимость тока, питающего контур, от частоты

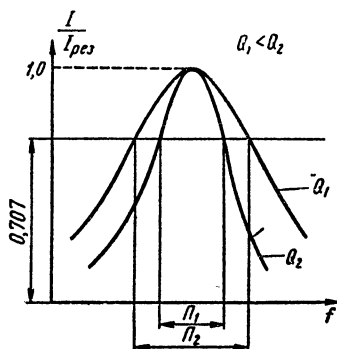


Рис. 10. Обобщенные кривые резонанса

частот — в ветви с конденсатором. Поэтому для токов нижних частот сопротивление контура имеет индуктивный, а для токов верхних частот — емкостный характер. На резонансной частоте контур имеет активное сопротивление (рис. 8).

При изменении частоты будет меняться и ток в питающем проводе. При резонансе этот ток имеет наименьшее значение (рис. 9). При этом токи в ветвях контура I_L и I_C могут быть в десятки и сотни раз больше тока I , питающего контур.

$$I_L \approx I_C = QI,$$

где Q — добротность контура.

Резонансные кривые, показанные на рис. 6, применимы и к параллельному контуру. Для параллельного контура такую же форму имеет кривая зависимости напряжения на контуре от частоты.

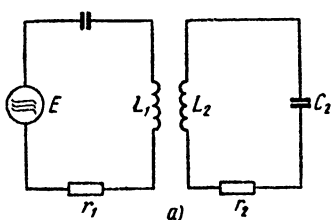
Полоса пропускания одиночного колебательного контура. Форма резонансной кривой контура зависит от его параметров r , L и C и наиболее просто характеризуется добротностью контура Q .

$$Q = \frac{1}{r} \sqrt{\frac{L}{C}}.$$

На рис. 10 показаны так называемые обобщенные кривые резонанса. По оси ординат отложено отношение тока на данной частоте

к току при резонансе. Чем больше добротность контура Q , тем острее кривая резонанса.

Полосой пропускания контура называется полоса частот, внутри которой значения тока отличаются от тока при резонансе не более



чем на 30% $\left(\text{в } \frac{1}{\sqrt{2}} \approx 0,707 \text{ раза} \right)$.

Полоса пропускания Π также зависит от добротности контура:

$$\Pi = \frac{f_0}{Q}.$$

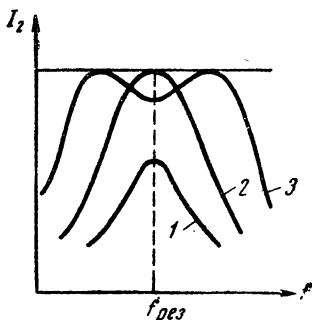
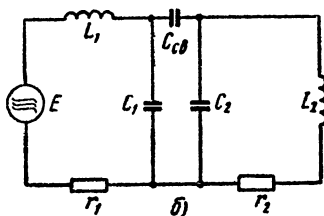


Рис. 11. Виды связи контуров:

а — индуктивная, *б* — емкостная

Рис. 12. Кривые резонанса связанных контуров

Избирательностью или *селективностью* контура называется величина, показывающая, во сколько раз ослабляются в контуре посторонние сигналы на близких частотах по сравнению с колебаниями резонансной частоты. Избирательность обозначают буквой d .

$$d = \frac{I_{\text{рез}}}{I},$$

где $I_{\text{рез}}$ — ток в контуре на резонансной частоте (на частоте собственных колебаний);

I — ток в контуре на частоте помехи.

Связанные колебательные контуры. Колебательные контуры называются *связанными*, если колебания, происходящие в одном из них, вызывают колебания и в другом. Контур, получающий колебательную энергию от источника переменной э. д. с., называется *первичным*, контур, получающий энергию от первичного, называется *вторичным*. Чем больше энергии переходит из одного контура в другой, тем сильнее связь. Степень связи характеризуется *коэффициентом связи* k .

Существуют различные виды связи (рис. 11). Наиболее часто применяют схему индуктивной, или трансформаторной, связи, где

используется взаимная индуктивность катушек (рис. 11, а). Контуры могут быть связаны через емкость (рис. 11, б). Связь между контурами тем сильнее, чем больше емкость $C_{св}$.

Связанные контуры обычно настроены на одну частоту. Зависимость тока I_2 во вторичном контуре (или напряжения на нем) от частоты генератора f графически изображается кривой резонанса связанных контуров.

Форма кривой резонанса зависит от степени связи (рис. 12). При слабой связи кривая резонанса острая (кривая 1), с увеличением связи она становится более тупой. При некотором значении связи ток во втором контуре достигнет наибольшего значения (кривая 2). Эта связь называется *критической*. При связи выше критической кривая резонанса становится двугорбой (кривая 3).

Применение связанных контуров дает возможность расширить полосу пропускания.

Индуктивная, или емкостная, связь часто возникает как *паразитная*. Для устранения паразитных связей провода и детали контуров помещают в металлические экраны.

§ 9. Распространение радиоволн

Распространение радиоволн зависит от свойств атмосферы. Нижняя, наиболее плотная часть атмосферы называется *тропосферой*. Верхняя граница тропосферы находится на высоте 10—12 км над землей. Выше расположена *стратосфера*, простирающаяся до высоты 60—80 км. Далее находится *ионосфера*, характеризующаяся малой плотностью газа.

Под действием солнечной радиации молекулы газа ионизируются, т. е. распадаются на ионы и свободные электроны. Ионизированный газ обладает свойством электропроводности и может отражать радиоволны. Ионосфера неоднородна, некоторые слои ее ионизированы наиболее сильно.

Расположение основных слоев ионосферы показано на рис. 13.

Степень ионизации атмосферы зависит от интенсивности солнечной радиации и изменяется в различное время суток и года. Днем и в летнее время увеличивается проводимость и толщина ионизированных слоев. Ночью и в зимнее время ионизация меньше. Кроме того, степень ионизации изменяется с периодом 11 лет, т. е. вместе с солнечной активностью.

В атмосфере происходят также нерегулярные, случайные изменения: магнитные бури, вторжения метеорных потоков, вызывающие дополнительную ионизацию, и другие явления, влияющие на распространение радиоволн.

Радиоволны, распространяющиеся вдоль земной поверхности, называются *поверхностными* или *земными волнами* (луч 1 на рис. 14). Радиоволны, которые распространяются под различными углами к поверхности земли, называются *пространственными*. Пространственные волны или отражаются от ионосферы и возвращаются на землю (луч 2), или уходят в космическое пространство (луч 3).

Распространение волн различных диапазонов. *Длинные волны* (радиоволны длиннее 1 км) при распространении вдоль земли огибают земной шар и различные препятствия (свойство дифракции). При этом часть энергии радиоволн поглощается землей. Для получения достаточно сильного сигнала в антенне нужна большая мощность передатчика (сотни и тысячи киловатт). В этом диапазоне наиболее сильно проявляются атмосферные и индустриальные помехи.

Средние волны (радиоволны длиной 0,1—1 км) сильно поглощаются землей и ионосферой (слоем *D*, см. рис. 13), особенно днем.

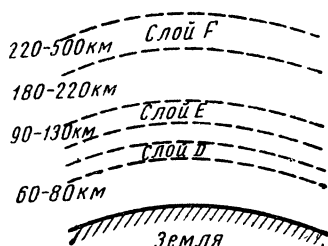


Рис. 13. Расположение основных слоев ионосферы

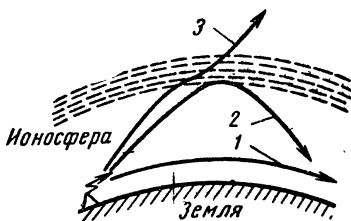


Рис. 14. Пути распространения радиоволн

При приеме средних волн сказываются атмосферные помехи, которые наиболее заметны летом.

Вечером после захода солнца слой *D* исчезает и пространственный луч отражается от слоя *E* и возвращается на землю. Это дает возможность принимать удаленные станции.

В пункт приема могут попасть одновременно поверхностные и пространственные волны или пространственные волны, прошедшие различные пути. Возникает *интерференция волн*. Вследствие разности фаз этих волн наблюдается усиление или ослабление волны. Прием становится неустойчивым, уровень сигнала меняется. Это явление называется *замиранием сигнала*.

Короткие волны (радиоволны длиной 10—100 м) сильно поглощаются землей при распространении вдоль земной поверхности. Но они достаточно хорошо отражаются от земли и ионосферы, что используется на практике.

Связь на большие расстояния (тысячи километров) возможна отраженными от слоя *F* ионосферы волнами. Дальнее распространение коротких волн иногда происходит путем нескольких последовательных отражений от ионосферы и земли (2—3 скачка). Ночью, когда ионизация слабее, наиболее короткие волны этого диапазона (10—30 м) отражаются от ионосферы плохо. Днем же более длинные волны (30—100 м) сильно поглощаются слоями *D* и *E*, более плотными, чем ночью. Поэтому для связи днем используют более короткие волны (дневные), а ночью — более длинные (ночные).

На коротких волнах наблюдаются сильные замирания сигнала. Вокруг коротковолнового передатчика имеется пространство, где прием его невозможен (мертвая зона, или зона молчания, рис. 15).

Метровые волны не отражаются от ионосферы, пронизывают ее и уходят во внешнее пространство. Они не огибают земную поверхность и крупные препятствия. Поэтому их используют для радиолокации, связи с космическими объектами и для радиосвязи на сравнительно небольшие расстояния — в пределах прямой видимости (рис. 16).

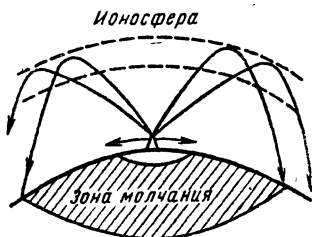


Рис. 15. Образование зоны молчания

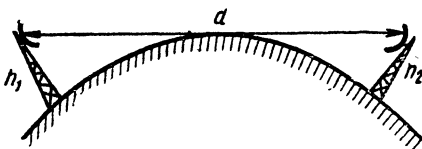


Рис. 16. Радиосвязь в пределах прямой видимости

Дальность радиосвязи в пределах прямой видимости можно определить по формуле

$$d \text{ (км)} \approx 4 \left(\sqrt{h_1 \text{ (м)}} + \sqrt{h_2 \text{ (м)}} \right),$$

где h_1 и h_2 — высота расположения антенн.

Практически расстояние d составляет 20—60 км. Вследствие рассеяния из-за неоднородностей в ионосфере можно получить устойчивый прием волн длиной 5—10 м на расстояния 800—2000 км. Но в этом случае применяют мощные передатчики и сложные антенные системы.

Для дальней связи на метровых волнах иногда используется отражение от ионизированных следов метеоров, но такая связь получается прерывистой.

Дециметровые и сантиметровые волны также применяются для радиолокации, космической связи и радиосвязи в пределах прямой видимости.

Радиоволны этого диапазона могут отражаться от неоднородностей (глобул) в тропосфере. Однако это отражение получается рассеянным, и для создания необходимой напряженности поля в пункте приема требуются передатчики мощностью в десятки киловатт. Дальность связи 20—700 км.

Волны короче 3 см сильно поглощаются каплями влаги в атмосфере; волны короче 2 см — водяными парами и кислородом воздуха.

На распространение миллиметровых волн влияют атмосферные осадки — дождь, снег, туман. Поэтому очень короткие волны почти не используются для связи между наземными пунктами.

§ 10. Антенно-фидерные устройства

Передающей антенной называется устройство, предназначенное для излучения радиоволн. Антенна соединяется с передатчиком *фидерной линией* (фидером). *Приемная антенна* — устройство, предназначенное для улавливания радиоволн. Антенна соединена со входом приемника также фидерной линией. Фидерные линии не должны излучать или принимать энергию, т. е. в них не должен наблюдаться антенный эффект.

Антенны обладают свойством обратимости: любая передающая антенна может работать как приемная, а любая приемная антенна может служить и для передачи. Однако во многих случаях конструкции передающих и приемных антенн различны.

Передающие антенны часто предназначены для излучения большой мощности, в них возникают большие токи и напряжения. В приемных антеннах протекают слабые токи, такие антенны имеют более простую конструкцию.

Антенны и фидерные линии являются колебательными системами с распределенными параметрами: активное сопротивление, проводимость, индуктивность и емкость распределены по всей длине антенны или фидера.

В линии, подключенной к источнику э. д. с. высокой частоты, образуются волны напряжения и тока. Скорость распространения волн в проводах, подвешенных в воздухе, практически равна скорости света.

Если сопротивление нагрузки на конце линии равно ее волновому сопротивлению, то в линии возникают бегущие волны тока и напряжения. В этом случае линия называется согласованной с нагрузкой. Волновое сопротивление линии для практических расчетов (без учета активных потерь в линии) определяется формулой

$$\rho = \sqrt{\frac{L_l}{C_l}},$$

где ρ — волновое сопротивление линии, ом;
 L_l — индуктивность единицы длины линии, гн/м;
 C_l — емкость единицы длины линии, ф/м.

Величины L_l и C_l , а следовательно, и ρ зависят от расстояния между проводами и толщины проводов.

Для двухпроводной воздушной линии:

$$\rho \text{ (ом)} = 276 \lg \frac{2a}{d},$$

где a — расстояние между осями проводов;
 d — диаметр провода.

Величины a и d могут быть выражены в любых одинаковых единицах, например в сантиметрах.

Для коаксиального кабеля:

$$\rho \text{ (ом)} = \frac{138}{\sqrt{\epsilon}} \cdot \lg \frac{D}{d},$$

где ϵ — относительная диэлектрическая проницаемость изоляции кабеля (для большинства марок кабеля равна приблизительно 1,5);

D — диаметр внешнего провода;

d — диаметр внутреннего провода.

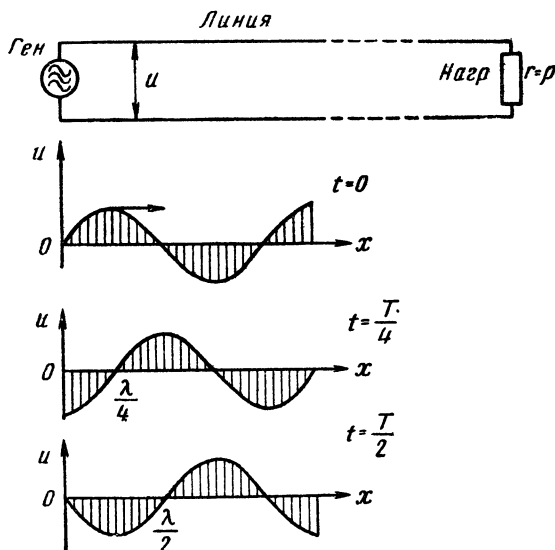


Рис. 17. Бегущие волны в линии

Величины D и d должны быть выражены в одинаковых единицах, например в миллиметрах.

Для четырехпроводного фидера:

$$\rho = 138 \lg \frac{\sqrt{2} \cdot D}{d},$$

где D — расстояние между осями проводов;

d — диаметр провода.

В режиме бегущих волн вдоль линии распространяются волны тока и напряжения. Как видно из графика, показанного на рис. 17, кривая распределения напряжения «бежит» от генератора к концу линии. За время, равное четверти периода переменного напряжения

генератора $\left(\frac{T}{4}\right)$, она перемещается на расстояние в четверть длины волны $\left(\frac{\lambda}{4}\right)$. Отражения от конца линии нет, вся энергия передается от генератора к нагрузке. Режим бегущих волн обеспечивается во всех фидерных линиях и в некоторых типах антенн.

Если сопротивление на конце линии не равно волновому (линия не согласована с нагрузкой), то возникает отражение волн и часть энергии возвращается к генератору в виде волн обратного направления. В линии, разомкнутой на конце, замкнутой на реактивное сопротивление или замкнутой накоротко, происходит отражение волны. При этом снижается к. п. д. фидера или антенны.

Прямая, или падающая, волна движется от генератора к концу линии, а отраженная — в противоположном направлении. При сложении прямой и отраженной волн при полном отражении получаются *стоячие волны*.

Движения волны вдоль линии нет, но в линии происходит колебательный процесс: энергия электрического поля периодически превращается в энергию магнитного поля и обратно.

Стоячие волны тока и напряжения возникают в некоторых антеннах (полуволновой вибратор, заземленный вибратор и др.).

Параметры антенн. *Диаграмма направленности* для передающей антенны — это зависимость интенсивности излучения от направления, для приемной антенны — зависимость амплитуды э. д. с., наведенной в антенне, от направления прихода волны. Диаграмма направленности не меняется при работе антенны на передачу и на прием.

Диаграмму рассматривают в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Ненаправленная антенна A_1 излучает и принимает одинаково во всех направлениях (рис. 18, а). Диаграмма направленности ее имеет вид круга. Остронаправленная антенна A_2 излучает и ведет прием только в пределах небольшого угла (рис. 18, б).

Коэффициент направленного действия (к. н. д.) — число, которое показывает, во сколько раз нужно увеличить мощность, излучаемую передатчиком, если вместо направленной антенны применить ненаправленную и обеспечить такую же напряженность поля в пункте приема. Обозначается этот коэффициент буквой D .

Коэффициент полезного действия — отношение полезной мощности, отдаваемой антенной, к мощности, которую она получает. К. п. д. многих антенн близок к единице.

Коэффициент усиления (к. у.) называется число, показывающее, во сколько раз мощность приема от направленной антенны больше мощности приема от ненаправленной антенны при условии, что к обеим сравниваемым антеннам подводятся одинаковые мощности. Коэффициент усиления учитывает не только направленные свойства антенны, но и теряемую в ней мощность, т. е. ее к. п. д. Обозначается коэффициент усиления буквой G .

Для коротковолновой антенны любого типа

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

Для антенн средних и длинных волн

$$G = \frac{D\eta}{3,28},$$

где η — к. п. д. антенны.

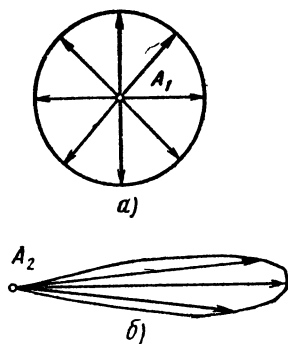


Рис. 18. Диаграммы направленности антенн:

a — ненаправленной, *б* — остронаправленной

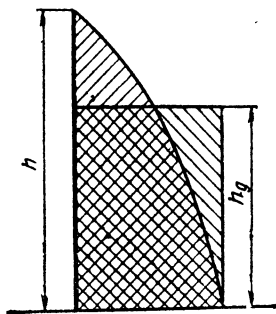


Рис. 19. Распределение тока в антенне (действующая высота)

Действующая высота. В антеннах наиболее распространенных типов (симметричный и заземленный вибратор, их разновидности и др.) возникают стоячие волны тока и напряжения. Вдоль провода антенны ток распределяется неравномерно. Для упрощения расчетов реальную антенну с неравномерным распределением тока заменяют идеализированной антенной, которая имеет равномерное распределение тока по длине и излучает такую же мощность, как и реальная антенна (рис. 19).

Действующей высотой антенны h_d называется высота такого прямоугольника, у которого основание равно максимальной амплитуде тока, а площадь равна площади кривой действительного распределения тока.

Входное сопротивление антенны — сопротивление переменному току между точками подключения антенны к фидерной линии. Входное сопротивление антенны зависит от частоты. Если антенна настроена в резонанс с излучаемым (или принимаемым) сигналом, то входное сопротивление имеет активный характер.

Перечисленные основные параметры характеризуют и передающие и приемные антенны. Кроме того, работа передающей антенны характеризуется *сопротивлением излучения* R_s .

При расчетах предполагают, что мощность, излучаемая антенной

в окружающее пространство, выделяется на эквивалентном сопротивлении

$$R_s = \frac{P_s}{I^2},$$

где R_s — сопротивление излучения, *ом*;

P_s — излучаемая мощность, *вт*;

I — наибольшее действующее значение тока в антенне, *а*.

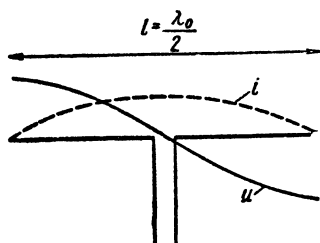


Рис. 20. Симметричный вибратор

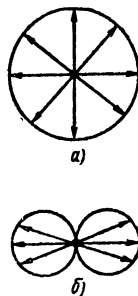


Рис. 21. Диаграмма направленности симметричного вибратора:

а — в вертикальной плоскости, *б* — в горизонтальной плоскости

Чем больше действующая высота антенны, тем больше сопротивление излучения.

$$R_s \approx 1600 \left(\frac{h_d}{\lambda_p} \right)^2,$$

где h_d — действующая высота антенны;

λ_p — рабочая длина волны.

Основные типы антенн, применяемые для радиосвязи. *Симметричный, или полуволновой, вибратор* (рис. 20) имеет длину, равную половине излучаемой волны. Эта волна соответствует частоте его собственных колебаний и называется *основной*.

$$\lambda_0 = 2l,$$

где l — длина вибратора.

Наибольшее излучение и наилучший прием происходят в направлениях, перпендикулярных к оси вибратора. Диаграмма направленности в вертикальной плоскости имеет вид круга, а в горизонтальной — вид «восьмерки» (рис. 21). Сопротивление излучения симметричного вибратора составляет около 70 *ом*.

Действующая высота:

$$h_d = \frac{\lambda}{\pi} \approx 0,3\lambda,$$

где λ — длина волны.

Симметричный вибратор и его различные разновидности (диапазонный, петлевой) широко применяют и для передачи и для приема.

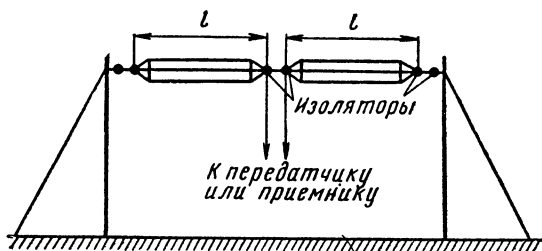


Рис. 22. Диапазонный вибратор Надененко

Диапазонный вибратор Надененко (антенна ВГД — вибратор горизонтальный диапазонный) широко используют на передающих и приемных центрах.

Каждая половина вибратора (рис. 22) состоит из шести — восьми проводов. Провода через изоляторы укрепляются на двух мачтах. Рабочий диапазон волн вибратора определяется соотношением

$$4l > \lambda > 1,56l,$$

где l — длина плеча (половины вибратора).

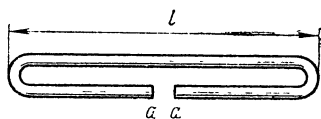


Рис. 23. Петлевой вибратор

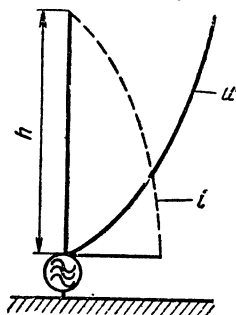


Рис. 24. Заземленный вибратор

Петлевой вибратор (вибратор Пистолькорса) состоит из двух полуволновых вибраторов длиной l , соединенных на концах (рис. 23). Фидер подключается в точках a, a . Действующая высота такого вибратора вдвое больше, чем у одиночного (линейного).

$$h_d = \frac{2\lambda}{\pi} \approx 0,6\lambda.$$

Входное сопротивление около 300 ом.

Заземленный (несимметричный) вибратор (рис. 24) представляет собой половину симметричного вибратора. Провод подвешивается на мачте, а иногда роль вибратора выполняет сама металлическая мачта или башня.

Собственная (основная) длина волны такого вибратора λ_0 в четыре раза больше его высоты h .

$$\lambda_0 = 4h.$$

В горизонтальной плоскости заземленный вибратор дает ненаправленное излучение. Его применяют для передачи и приема радиовещания и для связи с корреспондентами, направление на которых неизвестно, например с подвижными объектами.

Входное сопротивление заземленного вибратора в два раза меньше, чем у симметричного (около 35 ом).

Действующая высота вертикального заземленного вибратора, работающего на основной волне ($\lambda_p = \lambda_0$),

$$h_d = \frac{2}{\pi} \cdot h \approx 0,637h.$$

Если заземленный вибратор работает на волне, намного большей основной ($\lambda_p \gg \lambda_0$), то его действующая высота

$$h_d \approx \frac{h}{2}.$$

Для увеличения действующей высоты заземленного вибратора при той же высоте подвеса его выполняют с горизонтальной частью (Г-образная антенна).

Действующая высота Г-образной антенны при работе на волне, намного большей основной,

$$h_d = h_B \left(1 - \frac{h_B}{2l_G} \right),$$

где h_B — высота вертикальной части антенны;

l_G — длина горизонтальной части антенны.

Г-образная антенна высотой 15 м с длиной горизонтальной части около 30 м является стандартной приемной антенной, на которую рассчитываются входные цепи радиовещательных приемников. Антенна подвешивается на двух мачтах, вкопанных в землю или расположенных на крыше дома и на дереве. В многоэтажном доме в качестве антенны можно использовать провод, опускающийся с крыши к окну квартиры. Провод не должен проходить очень близко к стене.

Все наружные антенны во время грозы должны заземляться специальным переключателем — «грозопереключателем» или иметь защитный разрядник.

Современные радиоприемники имеют высокую чувствительность, т. е. могут работать от очень малой э. д. с. на входе. Хороший радиовещательный приемник нормально работает с небольшой комнатной антенной.

Рассмотренные конструкции антенн применяются для приема на длинных и средних волнах и работают на волне значительно длиннее собственной.

Для работы заземленного вибратора большое значение имеет надежное соединение его с землей. Для этого устраивают заземление. В простейшем случае это может быть вбитый в землю металлический штырь. В других случаях закапывают в землю металлический лист.

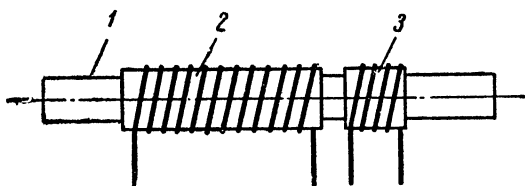


Рис. 25. Ферритовая антенна:

1 — ферритовый стержень, 2 — антенная катушка,
3 — катушка связи

В городских условиях заземляющий провод можно присоединить к трубе водопровода или отопления. Трубу нужно зачистить от краски и плотно обернуть голым проводом.

При больших размерах антенны, например для радиовещательной станции, заземление устраивают в виде сети проводов, расположенных на глубине 15—20 см под землей.

В тех случаях, когда заземление трудно осуществить, например в каменистом грунте, применяют противовес — несколько проводов, подвешенных над землей. В передвижных радиостанциях противовесом служит металлический корпус самого приемника, автомашины или самолета.

Все эти антенны называются *электрическими*, так как э. д. с. в них возбуждается электрической составляющей электромагнитного поля радиоволны.

Существуют антенны, воспринимающие магнитную составляющую поля; их называют *магнитными*.

Простейшая магнитная антенна — это рамка из изолированного провода.

Для приема на средних волнах при стандартном конденсаторе переменной емкости рамка размером 120×65 мм должна содержать 30—40 витков провода ПЭЛШО диаметром 0,5 мм. Катушка связи с антенной представляет собой 6—8 витков того же провода, намотанных поверх антенны. Такую антенну можно разместить внутри корпуса приемника. Наибольшая громкость приема будет в том случае, когда плоскость витков рамки расположена перпендикулярно

направлению на радиостанцию. Однако такая антенна малоэффективна и пригодна для приема лишь близко расположенных мощных станций.

Для повышения эффективности внутрь рамки вводят сердечник из материала с большой магнитной проницаемостью, обычно из феррита. Так как ферритовый сердечник чаще всего имеет вид стержня (диаметром 8—15 мм и длиной 5—25 см), рамка превращается в катушку, намотанную на стержне (рис. 25).

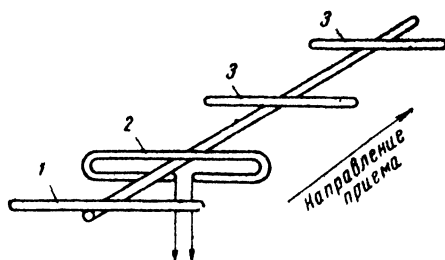


Рис. 26. Антенна типа «волновой канал»

Направленные свойства антенны сохраняются, диаграмма направленности ее имеет вид восьмерки. Направленность действия уменьшает уровень помех. Поэтому ферритовые антенны используются не только в переносных транзисторных, но и в стационарных ламповых приемниках для приема мощных станций на длинных и средних волнах.

Типовые данные ферритовых антенн для средних и длинных волн приведены в табл. 5.

Таблица 5

Типовые данные ферритовых антенн

Диаметр сердечника, мм	Количество витков		Индуктивность, мкн	
	СВ	ДВ	СВ	ДВ
8	60—80	150—175	0,2—0,3	1,2—1,6
10	40—50	100—120		
15	25—30	70—80		

Многовибраторные антенны. Для направленного излучения или приема применяют антенны, состоящие из ряда симметричных вибраторов.

Очень распространена антенна типа «волновой канал» (рис. 26). Несколько вибраторов длиной около $\frac{\lambda}{2}$ располагают параллельно вдоль линии максимального приема.

Один из вибраторов — активный 2 соединяют с приемником. Остальные вибраторы называются пассивными. Один из них находится позади активного вибратора, он называется рефлектором (1), другие, расположенные в направлении на передатчик, называются директорами (3). Рефлектор несколько длиннее $\frac{\lambda}{2}$, а директора — короче.

Антенну «волновой канал» выполняют из трех, пяти и более вибраторов. Чем больше вибраторов, тем более острую направленность имеет антенна и тем больше э. д. с. на входе приемника.

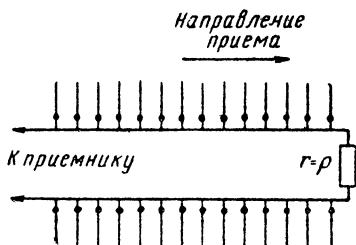


Рис. 27. Схема антенны бегущей волны

Антенны этого типа используют в качестве передающих и приемных антенн радиорелейных и радиолокационных станций, работающих в метровом диапазоне, и для приема телевизионных передач.

На радиоприемных центрах нашей страны используют антенну бегущей волны (АБВ). Она напоминает антенну «волновой канал», но имеет большее число вибраторов (рис. 27). Через емкости, индуктивности или активные сопротивления вибраторы присоединены к двух-

проводной собирающей линии. Линия на конце замкнута на сопротивление r , равное волновому ρ .

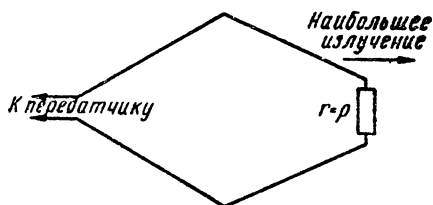


Рис. 28. Схема ромбической антенны

Радиоволна наводит в вибраторах э. д. с., сдвинутые по фазе. Эти э. д. с., складываясь в собирающей линии, образуют в ней бегущую волну. Антенна имеет острую направленность и применяется для приема очень удаленных станций. Для передачи она не используется, так как имеет низкий к. п. д.

Для магистральных радиосвязей, т. е. связей на большие расстояния, на передающих центрах Советского Союза очень распространены

ранены *ромбические антенны* (рис. 28). Провода антенны расположены в виде ромба. На конце антенна замкнута на сопротивление, подобранное так, что в ее проводах устанавливается режим бегущей волны.

Антенны дециметровых и сантиметровых волн. Антенны этих диапазонов конструктивно отличаются от антенн, работающих на более длинных волнах, и скорее напоминают акустические и оптические устройства. Передающие и приемные антенны этого диапазона выполняют одинаково.

Рупорная антенна является продолжением волновода. Открытый конец волновода излучает энергию в окружающее пространство. Для получения направленного излучения конец волновода делают расширенным в виде рупора. Такой плавный переход согласует волновод с открытым пространством и уменьшает отражение волн от конца волновода. Для получения хорошей направленности длина рупора должна быть во много раз больше длины волн.

Параболическая антенна (рис. 29) состоит из облучателя 1 и рефлектора 2, направляющего волны в нужном направлении. Облучателем служит симметричный вибратор, соединенный с аппаратурой фидером 3. Вместо вибратора может применяться рупор. В этом случае антенна называется *рупорно-параболической*. Для получения хорошей направленности диаметр параболического отражателя должен быть намного больше λ .

Если в стенке объемного резонатора или волновода прорезать отверстие, то через него электромагнитные волны будут излучаться в окружающее пространство. Так выполняются *щелевые антенны*. Для получения хорошей направленности по аналогии с многовибраторной антенной вырезают несколько щелей.

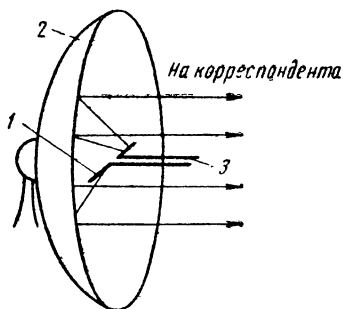


Рис. 29. Параболическая антенна

§ 11. Объемные резонаторы и волноводы

Объемный резонатор представляет собой металлическую коробку, внутри которой возбуждаются электромагнитные колебания. Форма резонаторов бывает различной (рис. 30).

Объемный резонатор служит для тех же целей, что и обычный колебательный контур, но имеет целый ряд преимуществ перед ним: отсутствует излучение энергии в окружающее пространство, нет паразитных связей с другими цепями, очень малы потери. В диапазоне

сантиметровых волн объемные резонаторы являются основным типом колебательных систем.

Частота собственных колебаний зависит от размеров резонатора. Для цилиндрического резонатора:

$$f_0 (\text{Мгц}) = \frac{23\,000}{D (\text{см})}.$$

Длина волны, соответствующая частоте собственных колебаний, $\lambda_0 = 1,3D (\text{см})$, где D — диаметр резонатора.

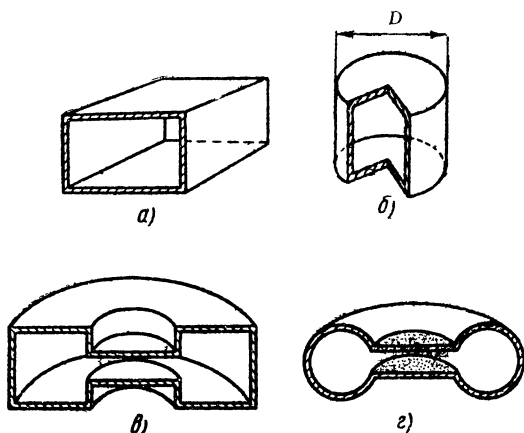


Рис. 30. Объемные резонаторы:

а—г — типы резонаторов

Настройка резонатора осуществляется изменением его объема или перемещением внутри резонатора винта с пластинкой (изменение емкости).

Резонатор связан с другими цепями аппаратуры при помощи штырька или витка, которыми оканчивается коаксиальная линия. Для связи с волноводом в стенке резонатора прорезано отверстие.

Волновод является одним из видов линии для передачи электрической энергии. Волноводы представляют собой металлические трубы прямоугольного или круглого сечения, внутри которых распространяются электромагнитные волны. Применяются волноводы в диапазоне сантиметровых волн (10 см и меньше), где нельзя использовать коаксиальные и тем более воздушные линии ввиду больших потерь энергии.

Для уменьшения потерь волноводы изготовляют из хорошо проводящего металла — меди и изнутри покрывают слоем серебра.

Каждый волновод характеризуется критической длиной волны $\lambda_{кр}$. Волны длиннее критической в волноводе распространяться не могут. Обычно $\lambda_{кр}$ приблизительно вдвое больше поперечного размера волновода.

Распространение волн в волноводе происходит путем многократного отражения от стенок. Возбуждение волновода и его связь с нагрузкой осуществляются, как и в случае объемного резонатора, при помощи штырька (вибратора) или витка провода.

В волноводе могут распространяться волны различных типов — магнитные, или волны типа Н, электрические, или волны типа Е.

Тип волны зависит от способа возбуждения волновода и от соотношения между длиной волны и размерами его сечения.

Если возбуждать волновод не одним, а двумя и более вибраторами, то возникнут магнитные или электрические волны более сложных типов.

Волноводная система состоит из целого ряда элементов и часто содержит несколько волноводных секций. При переходе от генератора к волноводу, от одной секции волновода к другой, от волновода к нагрузке требуется согласовать отдельные участки системы между собой. Чтобы достигнуть более полной передачи энергии по волноводной системе, используют согласующие элементы.

Для согласования применяют диафрагмы (пластинки с отверстиями, помещенные внутри волновода), шлейфы (короткозамкнутые отрезки волноводов, поршни или штыри, которые перемещают внутри волновода).

Волноводные секции могут быть прямолинейными, изогнутыми или скрученными. Резкие изгибы нежелательны из-за отражения волн, возникающего в месте изгиба. Секции соединяются при помощи фланцев, подвижных муфт или отрезков специальных гибких волноводов.

На волнах длиннее нескольких сантиметров вместо полых волноводов могут применяться ленточные. Они имеют меньший вес, размеры и требуют значительно меньшего расхода цветных металлов.

В ленточном симметричном волноводе (рис. 31) ленточный проводник 1 расположен между параллельными металлическими пластинами 2. Обе пластины заземлены. Между пластинами и центральным проводником находится диэлектрик 3.

Ленточный проводник изготовляют из металлической фольги или наносят на диэлектрик в виде слоя металла толщиной 0,05—0,1 мм. В качестве диэлектрика используют полиэтилен, полистирол, фторопласт и другие материалы с малыми высокочастотными потерями.

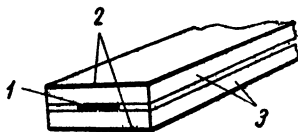


Рис. 31. Ленточная пластинчатая симметричная линия

Глава IV. ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫЕ ПРИБОРЫ

§ 12. Краткие сведения об электровакуумных приборах

Общие сведения. Электровакуумными называются приборы, действие которых основано на использовании электронных процессов в вакууме.

Наиболее распространенная двухэлектродная лампа — диод представляет собой баллон (колбу) 1 (рис. 32, а) из стекла, металла или металло-керамики, внутри которого создан вакуум и помещены два электрода — катод 3 и анод 2. По числу электродов (обычно увеличиваемых путем увеличения числа сеток) различают трех-, четырех- и пятиэлектродные лампы, называемые соответственно триодами (рис. 32, б), тетрами и пентодами. Более сложные лампы — шести- и семиэлектродные гексоды и гептоды — содержат, кроме анода и катода, четыре — пять сеток.

Катод в электронной лампе служит источником электронов. В современных электронных приборах преимущественное распространение получили термокатоды, испускающие электроны при нагревании.

Термокатоды подразделяются на однородные (из чистых металлов или сплавов) и активированные, поверхность которых покрыта слоем оксидной пасты, состоящей из окислов щелочноземельных металлов (бария, стронция, кальция), которые легко отдают свободные электроны.

По типу цепи накала термокатоды подразделяются на катоды прямого накала и катоды косвенного накала (подогревные). В прямонакальном катоде электроны испускаются самой нитью накала, а в подогревных — металлической трубкой, покрытой активатором, внутри которой находится нить накала. Прямонакальные катоды маломощных ламп питаются постоянным током, а подогревные могут питаться также и переменным током, поскольку они имеют большую массу и вместе с тем и большую тепловую инерцию.

Электроны, эмиттируемые разогретым катодом лампы, попадают в электрическое поле, действующее в пространстве между анодом и катодом. При наличии ускоряющего поля, создаваемого приложенной между анодом и катодом разностью потенциалов, электроны будут двигаться к аноду.

Аноды ламп изготавливают из металлов с высокой температурой

плавления, допускающих высокую рабочую температуру. Обычно в лампах применяют черенные аноды, обладающие хорошим теплоизлучением.

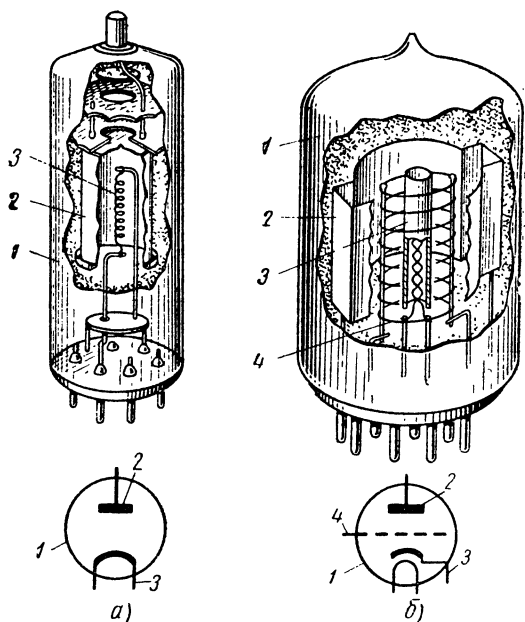


Рис. 32. Устройство электронных ламп:

а — диода, *б* — триода; 1 — баллон, 2 — анод, 3 — катод, 4 — сетка

Сетка расположена между анодом и катодом. На сетку относительно катода обычно подают отрицательный или положительный потенциал, с помощью которого управляют величиной электронного тока в лампе. Чтобы сетка не преграждала путь движению электронов, ее выполняют спиральной или решетчатой из тугоплавких металлов (никеля, молибдена, вольфрама) и покрывают защитными слоями.

§ 13. Характеристики ламп

Характеристики лампы выражают зависимость токов от напряжений в различных ее цепях.

Свойства диодов определяются анодными характеристиками (рис. 33), выражающими зависимость анодного тока I_a от анодного

напряжения U_a при постоянном напряжении накала U_n , т. е. $I_a = \varphi(U_a)$.

Свойства приемно-усилительных ламп оценивают по анодно-сеточным или анодным характеристикам.

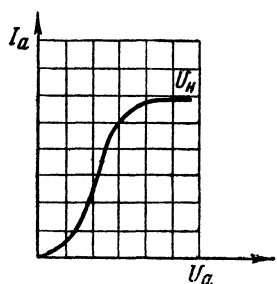


Рис. 33. Анодная характеристика диода

Анодно-сеточные характеристики (рис. 34, а) представляют собой зависимость анодного тока I_a от напряжения на сетке при постоянном напряжении на аноде и других электродах лампы. Для триодов эта зависимость записывается $I_a = \varphi(U_a)$ при $U_a = \text{const}$. Несколько анодно-сеточных характеристик, снятых при различных постоянных значениях анодных напряжений и напряжений на других электродах, образуют семейство, более полно отражающее зависимость токов от напряжений на электродах лампы.

Анодные характеристики (рис. 34, б) представляют собой зависимость анодного тока от напряжения на аноде при постоянном напряжении на сетке и других электродах лампы. Для триодов эта зависимость записывается $I_a = \varphi(U_a)$ при $U_c = \text{const}$. Несколько анодных характеристик, снятых

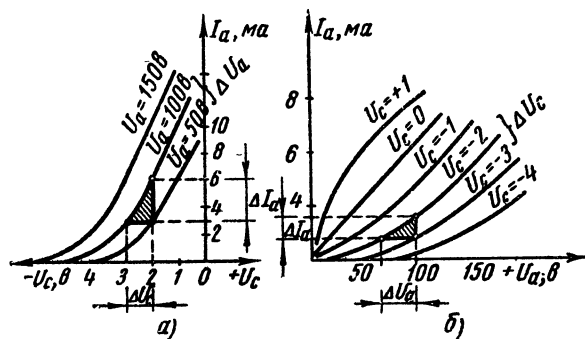


Рис. 34. Характеристики триода:

а — анодно-сеточные, б — анодные

при иных постоянных значениях напряжений на управляющей и других сетках (для многосеточных ламп), являются семейством анодных характеристик. Семейство анодных характеристик позволяет выбрать

режим и произвести графический расчет усилительного каскада (определить оптимальную нагрузку, усиление, выходную мощность и т. д.).

§ 14. Электрические параметры электронных ламп

Свойства электронных ламп характеризуются их параметрами. Параметры связывают изменение анодного и сеточного токов с изменениями напряжений в их цепях. Рассмотрим основные электрические параметры приемно-усилительных и генераторных ламп.

Внутреннее сопротивление лампы представляет собой сопротивление промежутка анод — катод лампы для переменной составляющей анодного тока и определяется по формуле

$$R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} \text{ (ком) при } U_c = \text{const},$$

где ΔU_a — изменение напряжения на аноде, в;
 ΔI_a — изменение анодного тока, ма.

Крутизна характеристики показывает, на сколько миллиампер изменяется анодный ток лампы при изменении напряжения на управляющей сетке на 1 в при постоянных напряжениях на аноде и остальных сетках (у многоэлектродных ламп).

$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_{c1}} \text{ (ма/в)},$$

где ΔI_a — изменение анодного тока, ма;
 ΔU_{c1} — изменение сеточного напряжения, в.

Характеристики, которые снимаются без нагрузки в анодной цепи лампы, называются статическими.

При наличии нагрузки в анодной цепи (динамический режим) анодный ток будет изменяться меньше, поэтому крутизна характеристики в динамическом режиме S_d также уменьшится и может быть рассчитана по статическим S и R_i параметрам:

$$S_d = S \frac{R_i}{R_i + R_a} \text{ (ма/в)},$$

где R_a — величина анодной нагрузки.

Статический коэффициент усиления лампы μ показывает, во сколько раз напряжение на первой сетке сильнее действует на изменения анодного тока, чем анодное напряжение. Численно коэффициент усиления определяется отношением изменения анодного напряжения к изменению сеточного напряжения, одинаково воздействующих на электронный ток;

$$\mu = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_{c1}} \text{ при } I_a = \text{const},$$

где ΔU_a и ΔU_{c1} — изменения напряжений на аноде и первой сетке лампы.

По коэффициенту усиления можно судить, какое изменение анодного напряжения по своему воздействию на анодный ток равноценно изменению на 1 в напряжения на первой сетке.

Для определения параметров лампы величины ΔI_a , ΔU_a и ΔU_{c1} обычно находят по анодно-сеточным или анодным характеристикам (см. рис. 34, а и б).

Коэффициент усиления, крутизна характеристики S и внутреннее сопротивление R_i связаны между собой соотношением, носящим название уравнения связи параметров лампы:

$$\mu = SR_i.$$

В динамическом режиме коэффициент усиления зависит от величины анодной нагрузки R_a и рассчитывается по формуле

$$\mu_d = \mu \frac{R_a}{R_a + R_i}.$$

Крутизна преобразования $S_{пр}$ — параметр частотопреобразовательных ламп, показывающий, какую амплитуду тока промежуточной частоты создает в лампе напряжение сигнала с амплитудой 1 в.

Мощность, рассеиваемая на аноде, P_a определяется по формуле

$$P_a = I_a U_a (\text{вт}),$$

где I_a и U_a — постоянные составляющие анодного тока и анодного напряжения лампы при выбранном режиме работы.

Выходная мощность $P_{вых}$ характеризует полезную мощность, отдаваемую лампой во внешнюю цепь.

Эквивалентное сопротивление шумов $R_{ш}$ характеризует уровень внутриламповых шумов усилительных и преобразовательных ламп. Под эквивалентным сопротивлением шумов обычно понимают такое условное омическое сопротивление, на зажимах которого вследствие теплового движения электронов возникает напряжение тепловых шумов, эквивалентное напряжению внутренних шумов лампы, пересчитанному в цепь сетки.

Величина эквивалентного шумового сопротивления при средней комнатной температуре на низких частотах приближенно определяется:

для диодов

$$R_{ш} \approx 0,65 R_i = \frac{0,65}{S} (\text{ком});$$

для триодов

$$R_{ш} \approx \frac{2,5 \div 3}{S} \text{ (ком);}$$

для экранированных ламп

$$R_{ш} = \frac{2,5}{S} \cdot \frac{I_a}{I_a + I_{с2}} \left(1 + 8 \frac{I_{с2}}{S} \right),$$

где S — крутизна характеристики лампы;
 I_a и $I_{с2}$ — токи анода и экранирующей сетки.

Входная емкость $C_{вх}$ — емкость управляющей сетки относительно других электродов, на которых при работе лампы отсутствует напряжение частоты сигнала, приложенного к цепи управляющей сетки. В триодах — это емкость управляющей сетки относительно соединенных вместе катода и баллона лампы. Для пентодов входная емкость равна емкости управляющей сетки относительно соединенных между собой катода, баллона, второй и третьей сеток.

Прходная емкость $C_{пр}$ — емкость между управляющей сеткой и анодом лампы (для схем с общим катодом). Через эту емкость возникает связь между сеточной и анодной цепями. В усилительных каскадах такая связь нежелательна, так как иногда приводит к самовозбуждению каскадов.

Выходная емкость $C_{вых}$ — емкость анода относительно других электродов, на которых при работе лампы отсутствует переменное напряжение частоты сигнала, действующее в цепи анода. В триодах выходная емкость определяется емкостью анода относительно катода и баллона, соединенных вместе. Для пентода выходная емкость равна емкости анода относительно соединенных между собой катода, баллона, второй и третьей сеток.

Коэффициент широкополосности γ характеризует пригодность лампы для широкополосного усиления и определяется как отношение крутизны характеристики лампы к сумме его входной и выходной емкостей.

$$\gamma = \frac{S}{C_{вх} + C_{вых}} \text{ (ма/в} \cdot \text{пф)}.$$

§ 15. Условные обозначения электровакуумных приборов

Электронные приборы, применяющиеся в настоящее время, имеют обозначения, предусмотренные ГОСТ 10862—64. Согласно ГОСТ условные обозначения приемно-усилительных ламп состоят (в порядке расположения знаков) из четырех элементов (табл. 6).

Таблица 6

Элементы обозначения электронных приборов

Группы приборов	Элементы обозначений				Примеры обозначений
	первый	второй	третий	четвертый	
1. Приемно-усилительные лампы, индикаторы и кенотроны, относящиеся к категории приемно-усилительных ламп:	Число, обозначающее (округленно) напряжение накала в вольтах	Д			6Д20П
диоды					6Х2П
двойные диоды					6Г3П
диод-триоды					6Б2П
диод-пентоды					6С3П
триоды					6Н14П
двойные триоды					6Ф1П
триоды-пентоды					6Э5П
тетроды					6Ж1П
пентоды с короткой характеристикой					6К4П
пентоды с удлиненной характеристикой		К			6Р2П
двойные тетроды и пентоды					

Продолжение табл. 6

Группы приборов	Элементы обозначений				Примеры обозначений
	первый	второй	третий	четвертый	
лампы со вторичной эмиссией	Число, обозначающее (округленно) напряжение накала в вольтах	В	Число, обозначающее порядковый номер типа прибора	Буква, обозначающая тип конструктивного оформления (см. ниже)	6В12К
пентоды и лучевые тетроды выходные		П			6П1П
частотопреобразовательные лампы		А			6А2П
триод - гексода, триод-гептоды, триод - октоды		И			6И1П
лампы с поперечным отклонением луча		Л			6Л4П
электронно-световые индикаторы		Е			6Е2П
кенотроны, относящиеся к категории приемно-усилительных ламп		Ц			5Ц4С
2. Стабилизаторы: напряжения тока	СГ СТ	Число, обозначающее порядковый номер типа прибора	Буква, обозначающая тип конструктивного оформления (см. ниже)	— —	СГ1П СТ2С

Продолжение табл. 6

Группы приборов	Элементы обозначений				Примеры обозначений
	первый	второй	третий	четвертый	
3. Электронно-лучевые приборы: осциллографические трубки и кинескопы с электростатическим отклонением луча	Число, обозначающее (округленно) величину диаметра или диагонали экрана в сантиметрах	ЛО	Число, обозначающее порядковый номер типа прибора	Буква, обозначающая тип люминофора экрана (А — синий, Б — белый, В — желто-оранжевый, И — зеленый, М — голубой)	13ЛО19И
осциллографические трубки с электромагнитным отклонением луча		ЛМ			23ЛМЗС
кинескопы с электромагнитным отклонением луча		ЛК			53ЛК5Б
передающие телевизионные приборы		И			ЛИ415
Запоминающие трубки (накопительные)		Н			ЛН-102

Конструктивное оформление приборов обозначают следующими буквами:

Лампы в стеклянной оболочке диаметром больше 24 мм С

Лампы в керамической оболочке К

Лампы миниатюрные диаметром 19 и 22,5 мм . . П

Лампы сверхминиатюрные диаметром, мм:

выше 10 Г

до 10 Б

» 6 А

» 4 Р

Лампы в металлокерамической оболочке миниатюрные и сверхминиатюрные Н

Лампы с замком в ключе цоколя Л

Лампы с дисковыми впамями Д

Лампы в металлической оболочке четвертого элемента обозначения не имеют.

Обозначение приборов, отличающихся от основных типов какими-то свойствами, дополняется пятым элементом — буквой В для ламп повышенной надежности и механической прочности, буквой Е для ламп повышенной долговечности (5 тыс. ч и более), буквой Д для особо долговечных ламп (10 тыс. ч и более), буквой И для ламп, предназначенных для импульсной работы.

Примеры обозначения электровакуумных приборов. 1Ц11П — напряжение канала 1,2 в, кенотрон, одиннадцатый тип, миниатюрная лампа.

6СЗП — напряжение накала 6,3 в, триод, третий тип, миниатюрная лампа.

6Ж1П — напряжение накала 6,3 в, пентод с короткой характеристикой, первый тип, миниатюрная лампа.

§ 16. Справочные данные электровакуумных приборов

Все приборы по числу электродов и преимущественной области применения подразделены на следующие группы: кенотроны и детекторные диоды (табл. 7); триоды (табл. 8); пентоды (табл. 9); выходные пентоды и тетроды (табл. 10); частотопреобразовательные лампы и электронно-световые индикаторы (табл. 11); стабилитроны и бареттеры (табл. 12); осциллографические электронно-лучевые трубки (табл. 13); кинескопы (табл. 14).

В табл. 7—14 приведены основные параметры, рекомендуемый режим работы и схема соединений электродов с внешними выводами (цоколевка) электровакуумных приборов широкого применения. Данные типового режима приведены рядом с цоколевкой ламп. В числителе указано напряжение на электроде относительно катода в вольтах, в знаменателе — ток в амперах или миллиамперах. Для некоторых ламп у вывода катода приведено значение сопротивления, включаемого в цепь катода для получения автоматического смещения. У комбинированных ламп (двойных триодов, двойных кенотронов и др.) значения параметров приведены для одного анода. Расположение внешних выводов (штырьков) на каждом цоколе лампы соответствует виду снизу на цоколь (счет ведется по часовой стрелке).

В каждой таблице лампы расположены в порядке нумерации их условных наименований. В табл. 7—14 приняты следующие сокращения и условные обозначения:

S — крутизна характеристики, ma/v ;

S_n — крутизна преобразования, ma/v ;

S_r — крутизна гетеродинной части лампы, ma/v ;

μ — коэффициент усиления;

R_i — внутреннее сопротивление, $ком$;

$R_{ш}$ — эквивалентное сопротивление внутриламповых шумов, $ом$;

R_a — сопротивление нагрузки, $ком$;

$P_a, P_{э}, P_{к.с}$ — максимально допустимая мощность, рассеиваемая на аноде, экранирующей и катодной сетках, $вт$;

$P_{вых}$ — выходная мощность, $вт$;

$C_{ак}$ — емкость анод — катод у диодов, $пф$;

$C_{вх}$ — входная емкость, $пф$;

$C_{пр}$ — проходная емкость, $пф$;

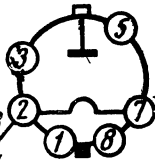
$C_{вых}$ — выходная емкость, $пф$;

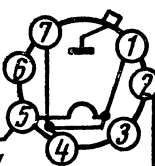
γ — коэффициент широкополосности, $ma/v \cdot пф$;

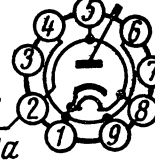
- U_a — напряжение на аноде, *в*;
 U_c — напряжение на управляющей сетке, *в*;
 $U_{к.с}$ — напряжение на катодной сетке, *в*;
 $U_{обр}$ — амплитуда обратного напряжения между анодом и катодом, *в*;
 $U_{к.п}$ — напряжение между катодом и подогревателем, *в*;
 $U_{зж}$ — напряжение зажигания, *в*;
 $U_{ст}$ — напряжение стабилизации, *в*;
 I_a — ток анода, *ма*;
 I_0 — средний выпрямленный ток (на один анод), *ма*;
 I_m — амплитуда тока через вентиль (для кенотрона на один анод), *ма*;
 $I_{ст}$ — ток стабилизации, *ма*;
 I_n — ток накала, *а*;
УННЧ — усиление напряжений низких частот;
УМНЧ — усиление мощности низких частот;
УНВЧ — усиление напряжения высоких частот;
УВЧ — усиление высоких частот;
ГВЧ — генерирование высоких частот;
УСВЧ — усиление сверхвысоких частот;
ГСВЧ — генерирование сверхвысоких частот;
Дет — детектирование;
ГИ — генерирование импульсов;
РЛСт — регулирующая лампа стабилизатора;
УНВЧШ — широкополосное усиление напряжения высоких частот;
ВУ — усиление видеосигналов;
ВВ — высоковольтный;
ВЧ — высокочастотный;
БСР, БКР — работа соответственно в блоке строчной и кадровой развертки телевизионных приемников;
ПрЧ — преобразование частоты.

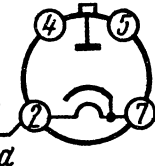
Таблица 7

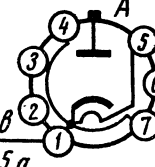
Справочные данные кенотронов, демпферных
и детекторных диодов

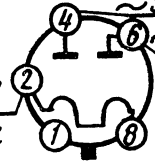
1Ц7С	ВВ кенотрон			
				
I_a		I_m		$U_{обр}$
2		17		30000
R_i		$C_{ак}$		
14		1,6		
$1,25\theta$ $0,2a$				

1Ц11П	ВВ кенотрон			
				
I_a		I_m		$U_{обр}$
0,3		2		20000
R_i		$C_{ак}$		
20		1		
$1,2\theta$ $0,2a$				

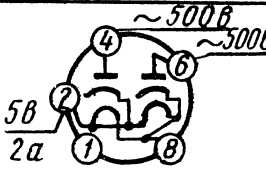
1Ц21П	ВВ кенотрон			
				
I_o		I_m		$U_{обр}$
0,6		40		25000
R_i		$C_{ак}$		
3				
$1,4\theta$ $0,69a$				


2Ц2С	ВВ кенотрон			
				
I_o		I_m		$U_{обр}$
7,5		45		12500
R_i		$C_{ак}$		
4,5		2,2		
$2,5\theta$ $1,75a$				

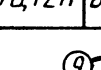
3Ц18П	ВВ кенотрон			
				
I_o		I_m		$U_{обр}$
1,5		15		25000
R_i		$C_{ак}$		
1,5				
$3,15\theta$ $0,215a$				


5Ц3С	Кенотрон			
				
I_o		I_m		$U_{обр}$
125		750		1700
R_i		$C_{ак}$		
0,2				
5θ $3a$				

Продолжение табл. 7.


5Ц4С		Кенотрон	
			
I_o	I_m	$U_{обр}$	R_i
62,5	375	1350	0,15

5Ц9С		Кенотрон	
			
5В		P_a	
3а		12	
I_o	I_m	$U_{обр}$	R_i
102	600	1700	0,3

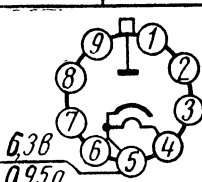
5Ц12П		ВВ кенотрон	
			
		P_a	
		5	
I_o	I_m	$U_{обр}$	R_i
50	350	5000	0,4

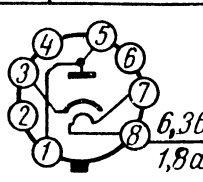
6Ц4П		Кенотрон	
		P_a	3
I_o	I_m	$U_{обр}$	R_i
37	300	1000	0,25

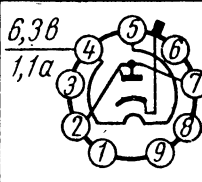
6Ц5С		Кенотрон	
~400В		~400В	
I_o	I_m	$U_{обр}$	R_i
37	300	1100	0,25

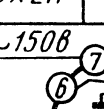
6Ц10П		Демпферный диод	
			
6,3В 1,05а		C_{ak}	5
I_o	I_m	$U_{обр}$	R_L
120	450	4500	0,1

Продолжение табл. 7

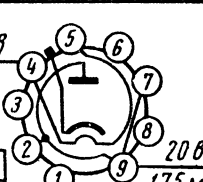
6Ц13П		Кенотрон	
			
6,3В	Q95a		
I_0	I_m	$U_{обp}$	P_a
120	900	1600	8

6Ц17С		Демпферный диод	
			
I_0	$U_{обp}$	$C_{ак}$	R_i
200	4500	11	0,045

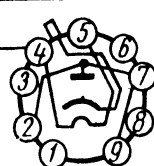
6Ц19П		Демпферный диод	
$\frac{6,3B}{1,1a}$			
		R_L	
		$\theta, 1$	
I_0	I_m	$U_{обp}$	$U_{к-п}$
120	450	4500	700


6Х2П		Детекторный диод	
<div><div>~150В</div><div>6,3В 0,3а</div></div>			
I_0	$U_{обp}$	S	P_a
10	450	6	0,5
		$C_{ак}$	3,6

6Х6С		Детекторный диод		
I_0	$U_{обp}$	S	P_a	$C_{ак}$
9	465	2	0,2	4

6Д14П		Демпферный диод	
<div><div><div><div>6,3В</div><div>1,1А</div></div><div></div></div></div>			
P_a			20 В
4,5			175 мА
I_o	I_m	$U_{обр}$	R_i
150	600	5600	0,09


Продолжение табл. 7

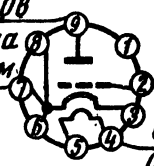
6Д20П		Демпферный диод		
6,3В 1,8А				
I_o	$U_{обр}$	I_m	$C_{ак}$	ρ_a
220	6500	600	9	5

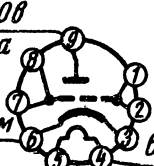
6Д22С		Демпферный диод		
6,3В 1,9А				
		$C_{ак}$ 12		
I_o	I_m	$U_{обр}$	ρ_a	$C_{кп}$
300	1000	6000	8	5

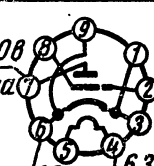
Справочные данные триодов

Таблица 8

6С2П		УНВЧ		
+150В 14мА				
P_a 2,5		$C_{вых}$ 4,2		
S	μ	R_i	$R_{ш}$	$C_{вх}$
11,5	48	4,2	0,4	5,3
		$C_{пр}$		
		0,19		

6С3П		УНВЧ		
+150В 16мА				
P_a 2,5		$C_{вых}$ 4,2		
S	μ	R_i	$R_{ш}$	$C_{вх}$
19,5	50	2,5	0,2	6,7
		$C_{пр}$		
		2,4		


6С4П		УНВЧ		
+150В 16мА				
P_a 2,5		$C_{вых}$ 4,2		
S	μ	R_i	$R_{ш}$	$C_{вх}$
20	50	2,5	0,2	11,4
		$C_{пр}$		
		0,17		

6С15П		УНВЧ		
+150В 40мА				
P_a 4,5		$C_{вых}$ 1,8		
S	μ	R_i	$R_{ш}$	$C_{вх}$
52	52	1,1	0,1	6,5
		$C_{пр}$		
		11		


Продолжение табл. 8

6Н14П		УНВЧ				
S	μ	R_i	P_a	$C_{\theta x}$	C_{np}	$C_{\theta_{\text{вых}}}$
6,8	25	3,2	1,5	4,9	1,8	2,9

6Н15П		УННЧ и ГВЧ				
S	μ	R_i	P_a	$C_{\theta x}$	C_{np}	$C_{\theta_{\text{вых}}}$
5,6	3,8	6,8	1,6	2	1,4	0,4

6Н23П		УНВЧ и ГЦ				
						
S	μ	$R_{ш}$	P_a	$C_{\theta x}$	C_{np}	$C_{\theta_{\text{вых}}}$
12,7	32,5	0,3	1,8	3,6	1,5	2,1

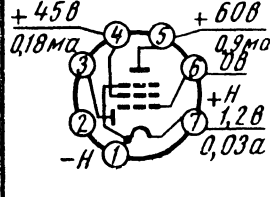
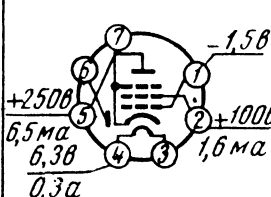
6Н24П		УНВЧ			
S	P_a	$C_{\theta x}$	C_{np}	$C_{\theta_{\text{вых}}}$	μ
12,5	1,8	3,9	2	1,3	33

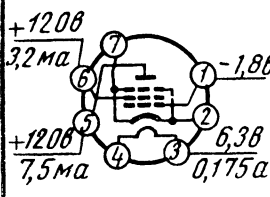
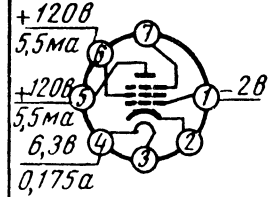
6Н26П		Импульсный триод			
<div></div>					
S	μ	P_a	$C_{\theta x}$	$C_{\theta_{\text{вых}}}$	C_{np}
9,5	48	2,6	4	2,2	1,9

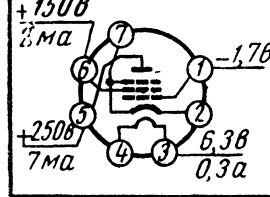
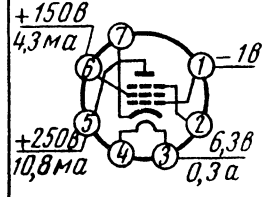
6Н27П		УНВЧ4			
<div><div><div><div>6,3В</div><div>0,3а</div></div><div><div>0В</div><div>12,6В</div><div>2,6мА</div></div></div><div><p>Pinout diagram for 6Н27П. The diagram shows a circular arrangement of 9 pins. The pins are numbered 1 through 9. The values for each pin are: Pin 1: 2,6мА; Pin 2: 12,6В; Pin 3: 0В; Pin 4: 0,3А; Pin 5: 6,3В; Pin 6: 0В; Pin 7: 12,6В; Pin 8: 2,6мА; Pin 9: 0В.</p></div></div>					
S	μ	P _a	C _{θx}	C _{np}	C _{θ_{вых}}
4,9	15	0,6	3	1,3	2

Таблица 9

Справочные данные пентодов

162П	УННЧ и дет.	662П	УННЧ и дет.				
							
S	R_i	P_a	$C_{\theta x}$	C_{np}	$C_{\theta_{вых}}$		
0,55	1000	0,15	1,85	0,27	2,1	2,7	700

6Ж1П	УНВЧШ	6Ж2П	УНВЧШ					
								
S	R_i	P_a	$C_{\theta x}$	C_{np}	$C_{\theta_{вых}}$	δ		
5,2	300	1,8	4,3	0,03	2,3	0,77	3,85	195

6Ж3П	УНВЧШ	6Ж4П	УНВЧ					
								
S	R_i	P_a	$C_{\theta x}$	C_{np}	$C_{\theta_{вых}}$	δ		
5	650	2,5	6,5	0,025	1,4	0,625	5,9	900

Продолжение табл. 9

БЖ44П		УНПЧ													
<p>6,3В 0,55а 150В 25мА 150В 11мА 18В 48мА 220М 0,9</p>		<table><tr><th>S</th><th>P_a</th><th>$C_{вх}$</th><th>$C_{пр}$</th><th>$C_{вых}$</th><th>P_3</th></tr><tr><td>25</td><td>4,5</td><td>8,6</td><td>0,006</td><td>3,6</td><td>1,6</td></tr></table>		S	P_a	$C_{вх}$	$C_{пр}$	$C_{вых}$	P_3	25	4,5	8,6	0,006	3,6	1,6
S	P_a	$C_{вх}$	$C_{пр}$	$C_{вых}$	P_3										
25	4,5	8,6	0,006	3,6	1,6										
БЖ49П-Д		УНВЧШ													
<p>6,3В 0,3а 800мА +150В 14мА 0В +150В 2,4мА $C_{пр}=0,03; P_a=2,85$</p>		<table><tr><th>S</th><th>R_i</th><th>$R_{ш}$</th><th>$C_{вх}$</th><th>$C_{вых}$</th><th>γ</th></tr><tr><td>14</td><td>100</td><td>0,35</td><td>8,2</td><td>2,7</td><td>1,5</td></tr></table>		S	R_i	$R_{ш}$	$C_{вх}$	$C_{вых}$	γ	14	100	0,35	8,2	2,7	1,5
S	R_i	$R_{ш}$	$C_{вх}$	$C_{вых}$	γ										
14	100	0,35	8,2	2,7	1,5										


1К2П		УНВЧ													
<p>+4,5В 0,35мА 0В +H 1,2В 0,03а -H</p>		<table><tr><th>S</th><th>R_L</th><th>P_a</th><th>$C_{вх}$</th><th>$C_{пр}$</th><th>$C_{вых}$</th></tr><tr><td>0,7</td><td>1500</td><td>0,3</td><td>3</td><td>0,01</td><td>4,9</td></tr></table>		S	R_L	P_a	$C_{вх}$	$C_{пр}$	$C_{вых}$	0,7	1500	0,3	3	0,01	4,9
S	R_L	P_a	$C_{вх}$	$C_{пр}$	$C_{вых}$										
0,7	1500	0,3	3	0,01	4,9										
БК1П		УНВЧ													
<p>+100В 2,7мА +2,50В 0,7мА 6,3В 0,15мА</p>		<table><tr><th>S</th><th>R_L</th><th>P_a</th><th>$C_{вх}$</th><th>$C_{пр}$</th><th>$C_{вых}$</th></tr><tr><td>1,3</td><td>700</td><td>1,0</td><td>3,8</td><td>0,01</td><td>4,2</td></tr></table>		S	R_L	P_a	$C_{вх}$	$C_{пр}$	$C_{вых}$	1,3	700	1,0	3,8	0,01	4,2
S	R_L	P_a	$C_{вх}$	$C_{пр}$	$C_{вых}$										
1,3	700	1,0	3,8	0,01	4,2										

БК4П		УНВЧ													
<p>+100В 4,9мА -1В +2,50В 11мА 6,3В 0,3а</p>		<table><tr><th>S</th><th>R_L</th><th>P_a</th><th>$C_{вх}$</th><th>$C_{пр}$</th><th>$C_{вых}$</th></tr><tr><td>4,4</td><td>800</td><td>3</td><td>6,4</td><td>0,004</td><td>6,7</td></tr></table>		S	R_L	P_a	$C_{вх}$	$C_{пр}$	$C_{вых}$	4,4	800	3	6,4	0,004	6,7
S	R_L	P_a	$C_{вх}$	$C_{пр}$	$C_{вых}$										
4,4	800	3	6,4	0,004	6,7										
БК13П		УНВЧ													
<p>6,3В 0,3а 1200мА 12мА +2,00В 12мА +9,0В</p>		<table><tr><th>S</th><th>R_i</th><th>P_a</th><th>$C_{вх}$</th><th>$C_{пр}$</th><th>$C_{вых}$</th></tr><tr><td>12,5</td><td>500</td><td>2,5</td><td>10</td><td>0,006</td><td>3,3</td></tr></table>		S	R_i	P_a	$C_{вх}$	$C_{пр}$	$C_{вых}$	12,5	500	2,5	10	0,006	3,3
S	R_i	P_a	$C_{вх}$	$C_{пр}$	$C_{вых}$										
12,5	500	2,5	10	0,006	3,3										

Продолжение табл. 10

6П18П		УМНЧ, БКР		
S	R_L	R_a	P_a	$P_{вых}$
11	22	3	12	3,5

6П23П		УМ+ГВЧ		
S	R_L	$P_{вых}$	P_a	$C_{вх}$
4,5	44	11	11	7,5

6П33П		УМНЧ		
				
S	$P_{вых}$	P_a	$C_{вх}$	$C_{вых}$
10	4,2	12	12	7

6Э5П		УНВЧШ		
S	R_L	P_a	$C_{вх}$	$C_{пр}$
30,5	8	8,3	16	0,75

6П6П		УНВЧШ		
6,3В 0,6а				
		150В 44мА 150В 10мА		
S	R_L	P_a	$C_{вх}$	$C_{вых}$
30,5	15	8,4	15	5,8

6П7П		ВВРЛСТ		
S	μ	$C_{вх}$	$C_{вых}$	$C_{пр}$
1,6	2000	5,6	1,1	0,05

2, 3, 6, 7-внутреннее
соединение. (к схеме
не подключать)

Продолжение табл. 10

6Ф1П	Пр4+ГВ4; УНВЧ	6Ф3П	УННЧ;БКР
6,3В	170В	6,3В	170В
0,43а	3,2ма	0,85а	41ма
170В		-11,5В	170В
4ма		14ма	
-2В		-1,5В	170В
100В		2,5ма	
13,3ма			
S^*	R_i^*	μ^*	P_a^*
5/6,2	-1400	20/-	1,5/2,5

6Ф4П	УННЧ+Вых. УНЧ и ВУ	6Ф5П	ГВ4+Вых.БКР
6,3В	170В	6,3В	185В
0,72а	18ма	0,9а	41ма
600ом	100ом	-	185В
200В	170В	100В	2,7ма
3ма	7ма	5,5ма	
S^*	R_i^*	μ^*	P_a^*
4/11	16/100	65/-	1/4

6Ф3П	УННЧ;БКР	6Ф5П	ГВ4+Вых.БКР
6,3В	170В	6,3В	185В
0,85а	41ма	0,9а	41ма
-11,5В	170В	-	185В
14ма		100В	2,7ма
-1,5В	170В	5,5ма	
2,5ма		S^*	R_i^*
		μ^*	P_a^*
		7/7,5	-123
		70/-	0,5/9

*) в числителе параметры для триода,
в знаменателе — для пентода

Таблица 11

Справочные данные частотопреобразовательных ламп
и электронно-световых индикаторов

1А2П	Пр4	6А2П	Пр4
1,2В	0,03а	-1,5В	20ком
0В	+60В	+100В	7ма
	0,7ма	+250В	3ма
51ком	+45В	6,3В	0,3а
	1,1ма		
S_n	S_z	R_i	$C_{вх}$
0,24	0,82	4,5	800
		$C_{пр}$	$C_{вых}$
		8	0,35
			10,5

Продолжение табл. 11

6А4П	Пр4цмп			
6,3В	200В			
0,44а	34ма			
0В	200В			
-5,5В	34ма			
100В	100В			
32ма	26ма			
S_1	S_2	R_a	$C_{вх}$	$C_{вых}$
16	5,5	2	10,5	2,8

6И1П		Пр4	
		$+100В$ $11мА$ $0В$ $+100В$ $3,5мА$ $-2В$	
S_1	S_2	R_i	$C_{вх}$
$C_{пр}$	$C_{вых}$		
0,77	3,7	700	5,1
0,006	7,4		

6ИЗП	Триод-гептод				
6,3В	250В				
0,3а	5,3ма				
0В	0В				
-2В	100В				
100В	100В				
2,8ма	6,8ма				
S_1	S_2	R_i	$C_{вх}^*$	$C_{вых}^*$	R_a^*
2,5	2,6	700	2,6/5,1	2/1,4	1/1,9

6Е1П	Индикатор настройки	
+100В 2ма	+250В 4ма -2В	

6Е2П	Индикатор настройки
6,3В	-4В
0,6а	
150В	
1,6ма	
150В	-4В
1,6ма	250В
$S = 1,4 \text{ ма/В}$	
$R_a = 0,48 \text{ м}$	
2 - индикаторная сетка	
9 - световой экран	

6Е3П	Индикатор настройки
+250В/0,35ма	
$R_a = 470 \text{ к}$	
-2В	
6,3В	+250В
0,23а	$R_g = 100 \text{ к}$
	$R_a = 0,58 \text{ м}$
2,6,8 - светящийся и луче- образующий экраны	
3 - катод, катодная сетка, фокусирующий электрод	
7 - отклоняющий элект- род	

* Для 6ИЗП в числителе указаны значения для триода, в знаменателе — для гептода

Таблица 12

Справочные данные стабилитронов и бареттеров

СГ1П		
$U_{зак}$	$U_{см}$	$I_{см}$
180	150	$5 \div 30$

СГ2П		
$U_{зак}$	$U_{см}$	$I_{см}$
133	108	$5 \div 30$

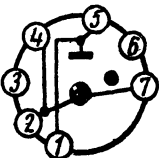
СГ2С		
$U_{зак}$	$U_{см}$	$I_{см}$
105	75	$5 \div 40$

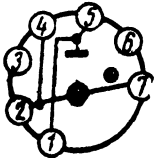
СГ3С		
$U_{зак}$	$U_{см}$	$I_{см}$
127	105	$5 \div 40$


СГ4С		
$U_{зак}$	$U_{см}$	$I_{см}$
180	150	$5 \div 30$


СГ13П		
$U_{зак}$	$U_{см}$	$I_{см}$
175	150	$5 \div 30$


Продолжение табл. 12


СГ15П		
		
$U_{заж}$	$U_{см}$	$I_{см}$
150	105	$5 \div 30$

СГ16П		
		
$U_{заж}$	$U_{см}$	$I_{см}$
130	83	$5 \div 30$

0,3517-35	
	
$U_{см}$	$I_{см}$
17-35	$0,275-0,325$

0,3565-135	
	
$U_{см}$	$I_{см}$
65-135	$0,27-0,33$

0,42555,5-12	
	
$U_{см}$	$I_{см}$
5,5-12	$0,39-0,46$

0,8555,5-12	
	
$U_{см}$	$I_{см}$
5,5-12	$0,78-0,92$

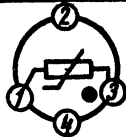
1510-17	
	
$U_{см}$	$I_{см}$
10-17	$0,96-1,04$

Таблица 13

Справочные данные осциллографических трубок

Тип	Отклонение (фокусировка)	Ток накала $I_{H.A}$	$U_{K.P.}, \text{в}$	Напряжение на первом аноде $U_{a1}, \text{в}$	Напряжение на втором аноде $U_{a2}, \text{в}$	Запирание напряжение $U_{c.з.ап}, \text{в}$	Напряжение модулятора, в	Ток первого анода $I_{a1}, \text{мА}$	Ток второго анода, $I_{a2}, \text{мА}$	Чувствительность верхних пластин, мм/в	Чувствительность нижних пластин, мм/в	Цоколевка (см. рис. 35)
5ЛЮ38И	Э*	0,6	125	300	1 000	70	50	0,15	—	0,11	0,13	Рис. 35, а
8ЛЮ29И	Э	0,6	—	500	1 500	70	40	0,3	—	0,17	0,23	Рис. 35, б
8ЛЮ30И	Э	0,6	125	500	1 500	70	40	0,5	1,0	0,18	0,24	Рис. 35, в
13ЛЮ36В	Э	0,6	—	700	4 000*	100	55	0,5	—	0,29	0,36	Рис. 35, г
13ЛЮ37И	Э	0,6	125	500	3 000**	70	40	—	—	0,57	0,43	
13ЛЮ48И***	Э	0,6	125	650	2 500	90	60	0,3	0,8	0,22	0,25	Рис. 35, д
13ЛЮ54В	Э	0,6	125	400	8 000	95	50	0,2	0,5	0,18	0,20	Рис. 35, е
13ЛЮ101М	Э	0,6	—	1100	6 000	140	—	—	—	0,10	0,15	Рис. 35, ж
13ЛЮ102М	Э	0,75	—	4000	40 000	400	—	—	—	0,10	0,20	Рис. 35, з
13ЛЮ104А	Э	0,6	—	850	18 000	150	90	0,1	0,4	0,19	0,23	Рис. 35, и
16ЛЮ2И***	Э	0,6	—	650	3 500	100	50	0,5	1,0	0,28	0,60	Рис. 35, к
18ЛЮ47А****	Э	0,6	—	700	6 000	150	90	0,5	1,0	0,15	0,17	Рис. 35, л

* Э — электростатические фокусировка и отклонение луча.

** Третий анод.

*** Двухлучевая.

**** Комбинированный экран.

Таблица 14

Справочные данные кинескопов

Тип	Фокусировка	Ток накала I_n, a	Напряжение на первом аноде U_{a1}, e	Напряжение на втором аноде U_{a2}, kB	Напряжение ускоряющего электрода, e	Запирающее напряжение модулятора, e	Модуляция (амплитуда), e	Ток луча (макс.), mA	Цоколевка (см. рис. 35)
13ЛК2Б	М*	0,5	—	4	—	—(40—70)	25	—	Рис. 35, н
18ЛК2Б	М	0,55	—	15	—	—90	30	100	Рис. 35, м
18ЛК 13Л	М	0,55	—	25	—	—140	50	200	
23ЛК2Б	М	0,55	—	10	—	—90	18	100	
23ЛК7Б	М	0,55	—	8	—	—55	30	100	Рис. 35, о
31ЛК2Б	М	0,6	—425	10	—	—55	30	—	
35ЛК2Б	Э**	0,6	—425	12	300	—60	25	—	
35ЛК4Б***	Э, ЭМ	0,52	—250	14	—	—60	30	—	Рис. 35, п
40ЛК1Б	М	0,5	—	12	—	—100	35	150	Рис. 35, р
43ЛК2Б	Э	0,6	425	14	300	—90	25	100	Рис. 35, с
43ЛК5Б	Э	0,6	425	14	300	—90	25	—	
43ЛК6Б	Э	0,6	750	14	300	—90	25	100	
43ЛК7Б	Э	0,6	425	14	300	—90	25	—	Рис. 35, т
43ЛК8Б	Э	0,6	300	13	300	—80	25	—	Рис. 35, у
43ЛК9Б	Э	0,6	425	14	300	—90	20	—	
43ЛК10Б	Э	0,6	425	14	300	—90	25	100	
47ЛК2Б	Э	0,3	400	16	400	—(30÷80)	25	300	Рис. 35, в
53ЛК2Б	Э	0,6	425	16	300	—90	35	—	Рис. 35, г
53ЛК4Ц	Э	1,8	4000	25	500	—110	70	—	Рис. 35, д
53ЛК6Б	Э	0,6	425	16	300	—90	30	—	Рис. 35, е
53ЛК7Б	Э	0,6	425	16	300	—90	35	—	Рис. 35, ж
59ЛК2Б	Э	0,3	400	16	400	—(30÷80)	44	300	Рис. 35, з

* М — магнитная фокусировка.

** Э — электростатическая фокусировка.

*** С повышенной четкостью.

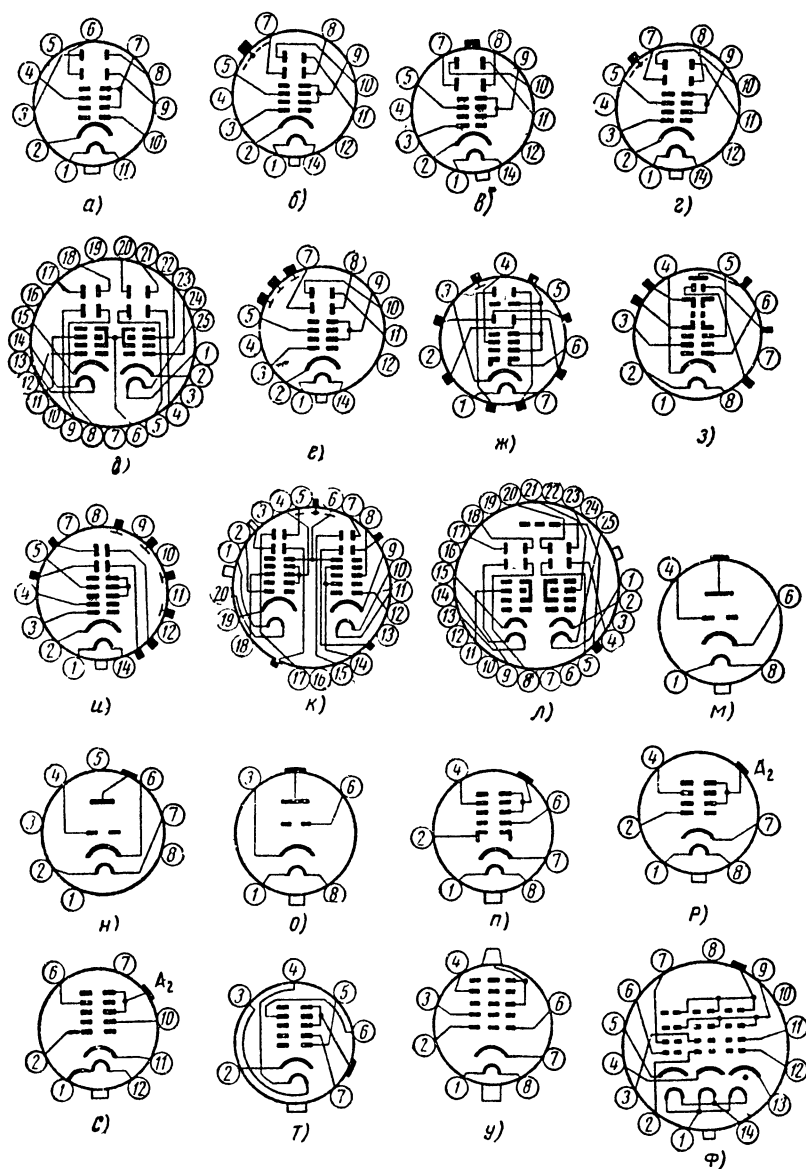


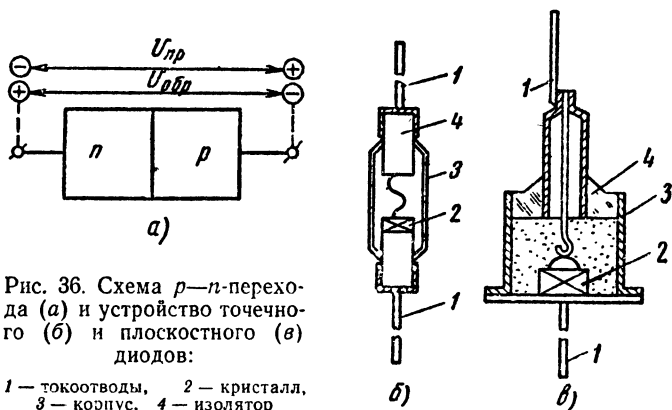
Рис. 35. Цоколевка:

а-л — осциллографических трубок, м-ф — кинескопов

Глава V. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДИОДЫ И ТРИОДЫ

§ 17. Краткие сведения

Полупроводниковые диоды относятся к электронным приборам, действие которых основано на использовании односторонней проводимости электронно-дырочных переходов. Если к p — n -переходу



(рис. 36, а) приложено прямое напряжение $U_{пр}$ (положительное к структуре p и отрицательное к области n), то через переход проходит прямой ток. При смене полярности внешнего приложенного напряжения на обратное $U_{обр}$ переход p — n обладает большим сопротивлением и ток в цепи нагрузки почти отсутствует. В действительности через переход и нагрузку возможен некоторый небольшой обратный ток $I_{обр}$ лишь за счет неосновных носителей зарядов. Если к p — n -переходу приложено переменное напряжение, через переход и внешнюю цепь проходит прямой ток лишь во время действия полуволны прямого напряжения.

По конструкции электронно-дырочного перехода полупроводниковые диоды делятся на точечные диоды (рис. 36, б) и плоскостные

(рис. 36, в). Основными элементами диодов являются: кристалл полупроводникового материала 2 с $p-n$ -переходом, внешние токоотводы 1, герметичный корпус 3 с изоляторами 4.

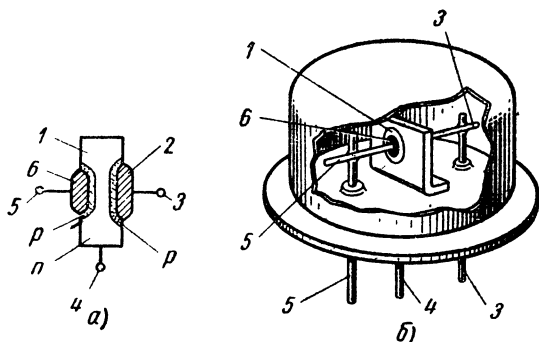


Рис. 37. Устройство плоскостного триода:

а — схема, б — внешний вид; 1 — монокристалл, 2 и 6 — полупроводник с примесью, 3, 4 и 5 — токоотводы

Полупроводниковые триоды (транзисторы) представляют собой электронные приборы, состоящие из двух близко расположенных электронно-дырочных переходов. Основным элементом триода

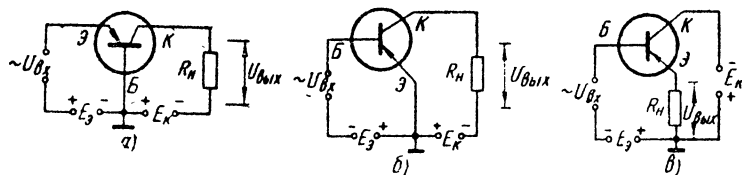


Рис 38. Схемы включения триода:

а — с общей базой ОБ, б — с общим эмиттером ОЭ, в — с общим коллектором ОК

(рис. 37) является кристалл германия или кремния 1, в котором при помощи примесей созданы три области с различной по типу (чередующейся) проводимостью. Если средняя область имеет электронную проводимость типа n , а две примыкающие области — дырочную проводимость типа p , то такой триод принадлежит к типу $p-n-p$ в отличие от триодов $n-p-n$, имеющих среднюю область с дырочной проводимостью.

Средняя область триода между двумя переходами называется *базой*, а крайние — *эмиттером* и *коллектором*. От них сделаны выводы, называемые соответственно эмиттерным 5, базовым 4 и коллекторным 3 тоководами.

В зависимости от того, какой электрод является общим для входной и выходной цепей, различают три способа включения транзистора: с общей базой ОБ (рис. 38, а), с общим эмиттером ОЭ (рис. 38, б) и с общим коллектором ОК (рис. 38, в).

Усредненные параметры схем включения транзистора с общей базой ОБ, общим эмиттером ОЭ и общим коллектором ОК в усилителях, работающих при малых выходных мощностях (единицы милливатт) и типовом режиме (1 ма при 5—10 в) приведены в табл. 15.

Таблица 15

Сравнительные характеристики схем включения транзисторов

Характеристика схемы	Схема включения транзистора		
	ОБ	ОЭ	ОК
Входное сопротивление	Малое (30—100 ом)	Среднее (400—2000 ом)	Большое (5—200 ком)
Выходное сопротивление	Большое (0,2—1 Мом)	Среднее (25—100 ком)	Малое (30—10 000 ом)
Усиление по току (при коротком замыкании выхода)	Отсутствует (около 1)	10—100	10—100
Усиление по напряжению	1000—5000	1000—5000	Отсутствует (около 1)
Усиление по мощности при согласовании	Среднее (30 дб)	Большое (40 дб)	Малое (15 дб)

§ 18. Характеристики и параметры полупроводниковых диодов

Характеристики. Зависимость величины тока, проходящего через диод, от величины приложенного напряжения графически изображают при помощи вольт-амперных характеристик (рис. 39).

Характеристики $I_{пр} = \varphi(U_{пр})$ соответствуют включению диода в прямом направлении, а характеристики $I_{обр} = \varphi(U_{обр})$ — в обратном направлении. Увеличение температуры диода сопровождается ростом величины прямого и обратного токов. Величина прямого тока (участок ОА) сильно зависит от значения приложенного прямого напряжения. Ток резко возрастает с увеличением напряжения. Внутреннее сопротивление прямому току приближенно определяется как

отношение приращения напряжения на диоде к вызвавшему его приращению тока:

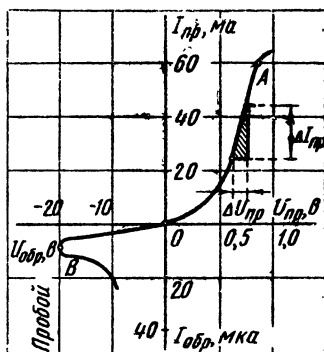


Рис. 39. Вольт-амперная характеристика диода

$$R_i = \frac{\Delta U_{\text{пр}}}{\Delta I_{\text{пр}}} \text{ (ом)}.$$

Внутреннее сопротивление меньше на прямолинейном и больше на криволинейном участке характеристики.

Величина обратного тока (участок *ОВ*) очень мало зависит от приложенного обратного напряжения. При большом значении обратного напряжения (точка *В* на характеристике) наступает электрический пробой *p-n*-перехода. Сопротивление диода обратному току велико (десятки — сотни килоом). При повышении температуры оно снижается.

Параметры. Диоды, используемые в схемах выпрямления, должны обладать малым сопротивлением среднему за период прямому току $I_{\text{пр}}$ или выпрямленному току $I_{\text{выпр}}$, а следовательно, малым средним за период падением напряжения на диоде $U_{\text{пр}}$.

В схемах выпрямления, работающих на емкостную нагрузку, амплитудное значение выпрямленного тока I_m может значительно превысить его среднее значение $I_{\text{пр}}$. Среднее значение за период обратного тока $I_{\text{обр}}$ должно быть возможно меньшим при данном значении среднего обратного напряжения $U_{\text{обр}}$.

Важным параметром диода является максимальная рабочая частота f_m , при превышении которой значительно возрастают потери.

Свойства высокочастотных диодов характеризуются также значением проходной емкости $C_{\text{пр}}$ между выводами диода при заданном обратном напряжении.

§ 19. Характеристики транзисторов

Свойства транзисторов в основном оценивают при помощи семейства входных и выходных статических характеристик, снимаемых в схеме с общей базой ОБ и общим эмиттером ОЭ. Статические характеристики можно использовать для выбора смещения, стабилизации режима, приближенного расчета усилителей и конечных состояний (режима отсечки и насыщения) ключевых схем.

Входные характеристики в схеме с общей базой ОБ (рис. 40, а) выражают зависимость тока эмиттера I_3 от его напряжения относительно базы U_3 , т. е. $I_3 = \varphi(U_3)$ при $U_k = \text{const}$. Входные характеристики в схеме с общим эмиттером ОЭ (рис. 40, б) выражают зависимость тока базы I_6 от напряжения базы относительно эмиттера

U_6 , т. е. $I_6 = \Phi(U_6)$ при $U_K = \text{const}$. При повышении температуры транзистора характеристики смещаются в область меньших входных напряжений и идут более круто.

Выходные характеристики в схеме с общей базой ОБ (рис. 41, а) выражают зависимость тока коллектора I_K от его напряжения относительно базы U_K , т. е. $I_K = \Phi(U_K)$ при $I_3 = \text{const}$.

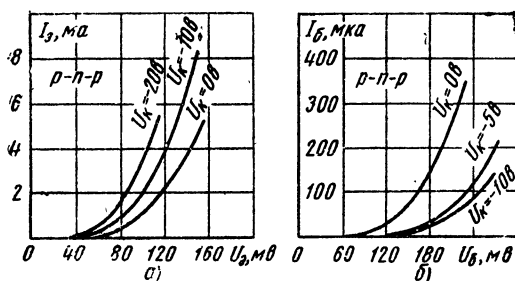


Рис. 40. Входные характеристики триодов:

а — в схеме с ОБ, б — в схеме с ОЭ

Выходные характеристики в схеме с общим эмиттером ОЭ (рис. 41, б) выражают зависимость тока коллектора I_K от его напряжения относительно эмиттера U_K , т. е. $I_K = \Phi(U_K)$ при $I_6 = \text{const}$.

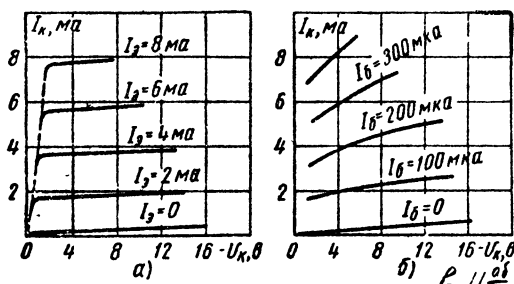


Рис. 41. Выходные характеристики триодов:

а — в схеме с ОБ, б — в схеме с ОЭ

Особенностью выходных характеристик транзистора является слабая зависимость тока коллектора от напряжения коллекторной цепи. В этом смысле транзистор аналогичен пентоду. При повышении температуры транзистора растет обратный ток коллектора $I_{K.0}$.

а выходные характеристики смещаются в область больших коллекторных токов. При больших значениях коллекторного напряжения может наступить электрический пробой коллекторного перехода.

§ 20. Параметры транзисторов

Различают параметры постоянного тока, характеризующие величину неуправляемых (обратных) токов через транзистор (связанных с обратными токами переходов), и малосигнальные параметры, характеризующие работу транзисторов в схемах усилителей.

Параметры постоянного тока используют для расчета режима транзистора по постоянному току. К ним относят:

Обратный ток коллекторного перехода $I_{к.о}$ — ток через переход коллектор — база при отключенном эмиттере и заданном напряжении на коллекторе.

Обратный ток эмиттерного перехода $I_{э.о}$ — ток через переход эмиттер — база при отключенном коллекторе и заданном напряжении на эмиттере.

Начальный ток коллектора $I_{к.н}$ — ток в цепи коллектора при замкнутых эмиттере и базе и заданном напряжении на коллекторе.

Ток коллектора запертого транзистора $I_{к.з}$ — ток коллектора при подаче обратного напряжения смещения на эмиттерный переход и заданных напряжениях на эмиттере и коллекторе.

Малосигнальные параметры устанавливают связь между переменными токами и напряжениями на входе и выходе транзистора.

Характеристики транзисторов нелинейны, поэтому малосигнальные параметры сильно зависят от выбора исходного режима (выбора рабочей точки).

При малом уровне сигнала транзистор удобно рассматривать как активный линейный четырехполюсник, у которого переменные напряжения и токи малых сигналов, действующие во внешних цепях на входе $U_1 I_1$ и выходе $U_2 I_2$, можно связать между собой системой уравнений

$$\Delta U_1 = h_{11} \Delta I_1 + h_{12} \Delta U_2;$$

$$\Delta I_2 = h_{21} \Delta I_1 + h_{22} \Delta U_2.$$

Коэффициенты h_{11} , h_{12} , h_{21} , h_{22} отражают электрические свойства транзистора в отношении малых сигналов низкой частоты в выбранной рабочей точке и называются h -параметрами. Их легко определить, осуществив режим короткого замыкания (к. з.) по переменному току на выходе ($\Delta U_2=0$), и режим холостого хода (х. х.) на входе ($\Delta I_1=0$) транзистора.

Подставляя значения напряжения $\Delta U_2=0$ при к. з. на выходе и тока $\Delta I_1=0$ при х. х. на входе в приведенные выше уравнения, легко определить h -параметры.

Параметр h_{11} выражает входное сопротивление транзистора в режиме к. з. выходной цепи:

$$h_{11} = \frac{\Delta U_1}{\Delta I_1} \text{ при } \Delta U_2 = 0.$$

Параметр h_{12} показывает, какая часть напряжения сигнала ΔU_2 , действующего на выходных зажимах транзистора, передается обратно во входную цепь, и называется коэффициентом обратной связи по напряжению в режиме х. х. во входной цепи:

$$h_{12} = \frac{\Delta U_1}{\Delta U_2} \text{ при } \Delta I_1 = 0.$$

Параметр h_{21} является коэффициентом усиления по току в режиме к. з. выходной цепи:

$$h_{21} = \frac{\Delta I_2}{\Delta I_1} \text{ при } \Delta U_2 = 0.$$

Параметр h_{22} выражает выходную проводимость транзистора в режиме х. х. во входной цепи:

$$h_{22} = \frac{\Delta I_2}{\Delta U_2} \text{ при } \Delta I_1 = 0.$$

Параметр h_{11} имеет размерность сопротивления, h_{22} — проводимости, а параметры h_{12} и h_{21} безразмерны, поэтому систему h -параметров часто называют гибридной (смешанной).

Для краткости записей цифровой индекс параметра дополняют буквой, указывающей, для какой схемы включения транзистора определен параметр, например, $h_{21б}$, $h_{21э}$, что означает соответственно коэффициент усиления по току для схемы с ОБ и ОЭ.

Иногда коэффициент усиления по току для схемы включения с ОБ обозначается символом α , а для схемы с ОЭ — символом β . Соотношение между ними устанавливается выражением:

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha} = \frac{-h_{21б}}{1 + h_{21б}}; \quad \alpha = \frac{\beta}{1 + \beta} = \frac{h_{21э}}{1 + h_{21э}}.$$

В соответствии с этим выражением на рис. 42 приведена номограмма пересчета коэффициентов усиления по току в схемах с ОБ и ОЭ.

Напряжения и токи при измерениях параметров должны быть значительно меньшими значений напряжений и токов, определяющих положение рабочей точки на характеристиках. Измерение параметров производят при низких (50—1000 гц) частотах, на которых можно пренебречь реактивными проводимостями, т. е. фазовым сдвигом между токами и напряжениями на входе и выходе.

На высоких частотах усиительные свойства транзисторов характеризуются величиной модуля коэффициента усиления по току α или β . Высоочастотные свойства транзисторов характеризуются

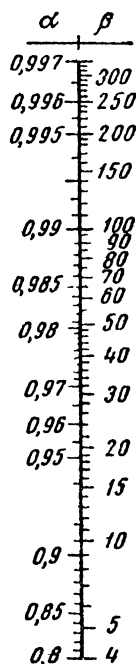


Рис. 42. Номограмма пересчета коэффициентов усиления

следующими специфическими параметрами, относящимися к классу предельных частот.

Предельная частота усиления по току f_α — частота, на которой величина α уменьшается до 0,7 своего низкочастотного значения. На частотах выше 20—30 Мгц непосредственное измерение коэффициента α затруднительно. В этом случае предельная частота

$$f_\alpha = m\alpha f,$$

где m равно 1,2 для сплавных и 1,6 для диффузионных дрейфовых транзисторов;

f — частота, на которой измерен модуль коэффициента усиления по току α .

Предельная частота непосредственно не определяет частотный предел применимости транзистора. Она ограничивает ту область частот, в пределах которой можно пренебречь частотной зависимостью параметров транзистора.

Емкость коллекторного перехода C_k — емкость, измеренная между базовым и коллекторным выводами при отключенном эмиттере и обратном смещении на коллекторе.

Емкость эмиттерного перехода C_ϵ — емкость, измеренная между выводами эмиттера и базы при отключенном коллекторе и обратном смещении на эмиттере.

Постоянная времени цепи обратной связи на высокой частоте $r'_6 C_k$ определяется как произведение омического сопротивления базы r'_6 на емкость коллектора C_k .

Максимальная частота генерации $f_{\text{ген. макс}}$ характеризует наибольшую частоту, на которой может работать генератор на транзисторе. Частота $f_{\text{ген. макс}}$ связана с другими параметрами малого сигнала соотношением:

$$f_{\text{ген. макс}} \approx \sqrt{\frac{f_\alpha}{30r'_6 C_k}},$$

где f_α — в гигагерцах, r'_6 — в омах, C_k — в пикофарадах, $f_{\text{ген. макс}}$ в мегагерцах. Транзисторы с f_α до 5 Мгц имеют $f_{\text{ген. макс}} = (2 \div 3)f_\alpha$.

Высокочастотные транзисторы ($f_\alpha \geq 20$ Мгц) имеют $f_{\text{ген. макс}} \leq f_\alpha$.

Коэффициент шума $F_{\text{ш}}$ характеризует уровень шумов, создаваемых транзистором. Он показывает, во сколько раз полная мощность шумов, выделяемая на нагрузке транзистора, больше той части их мощности, которая создается на нагрузке тепловыми шумами сопротивления источника сигнала. Коэффициент шума $F_{\text{ш}}$ зависит от частоты, на которой производится измерение, и для большинства транзисторов имеет минимальное значение на частотах 1000—4000 гц.

Коэффициент шума принято измерять на частоте 1000 гц в полосе частот 1 гц при активной составляющей внутреннего сопротивления источника сигнала 600 ом. Численно коэффициент шума определяют из соотношения:

$$F_{ш} = 10 \lg \frac{P_{ш.вых}/P_{сиг.вых}}{P_{ш.вх}/P_{сиг.вх}} \text{ (дб)},$$

где $P_{ш.вых}$ и $P_{сиг.вых}$ — мощности шумов и сигнала, выделяемые на нагрузку транзистора;
 $P_{ш.вх}$ — мощность тепловых шумов, выделяемая на входе транзистора;
 $P_{сиг.вх}$ — мощность, выделяемая генератором сигнала на входном сопротивлении транзистора.

При повышении температуры, а также на низких и высоких частотах шумы возрастают. Минимальное значение $F_{ш}$ соответствует работе транзистора при малых токах коллектора (0,1—0,5 мА) и малом коллекторном напряжении (0,5—1,5 в).

Параметры большого сигнала характеризуют работу в режимах, при которых токи и напряжения между выводами транзистора меняются в широких пределах. Эти параметры используют для характеристики режима работы транзисторов в схемах предоконечных и оконечных усилителей, автогенераторов, импульсных схемах. К основным параметрам большого сигнала относятся следующие.

Статический коэффициент усиления по току

$$\beta_{ст} = \frac{I_k - I_{к.о}}{I_{б} + I_{к.о}} \approx \frac{I_k}{I_{б}}, \text{ так как } I_{к.о} \ll I_{б} \text{ и } I_{к.о} \ll I_k.$$

Статическая крутизна прямой передачи

$$S_{ст} = \frac{I_k}{U_э} \text{ для схемы с ОБ и } S_{ст} = \frac{I_k}{U_б} \text{ для схемы с ОЭ,}$$

где I_k — постоянный ток коллектора;
 $U_э$ и $U_б$ — постоянное напряжение на входе (на эмиттере и базе) транзистора.

Напряжение насыщения $U_{к.н}$ измеряют между коллектором и эмиттером транзистора в режиме насыщения. Обычно в режим насыщения транзистор переходит при $U_k \geq 0$. В этом режиме коллекторный ток практически перестает возрастать при увеличении управляющего тока базы. В режиме насыщения базовая область получает дополнительный заряд, создаваемый подвижными носителями. При включении и выключении транзистора, работающего в режиме насыщения, необходимо дополнительное время для накопления и рассасывания избыточного заряда, что увеличивает время переключения.

Время рассасывания τ_p характеризует время между моментом подачи на базу транзистора запирающего импульса и моментом, когда напряжение на коллекторе достигает 0,1—0,3 от величины напряжения питания коллекторной цепи E_k .

Параметры предельных режимов устанавливают исходя из условий обеспечения надежной работы транзисторов. К этим параметрам относятся следующие.

Предельно допустимая температура коллекторного перехода $T_{к.п.макс}$ характеризует наибольшую температуру коллектора, при которой гарантируется работоспособность и сохранность транзистора. Рабочая температура коллектора зависит от мощности, рассеиваемой в основном на коллекторном переходе, температуры окружающей среды и условий теплоотвода. Значение $T_{к.п.макс}$ определяется физическими свойствами полупроводниковых материалов.

Предельно допустимая мощность $P_{к.макс}$, *рассеиваемая коллектором*, характеризует наибольшую мощность, длительно рассеиваемую коллектором, при которой обеспечивается сохранность транзистора. Превышение $P_{к.макс}$ ведет к перегреву и тепловому пробоему транзистора.

Максимальное допустимое напряжение на коллекторе $U_{к.макс}$ определяется электрической прочностью коллекторного перехода. Превышение этой величины приводит к росту коллекторного тока и электрическому или тепловому пробоему перехода. В некоторых схемах (схема с ОЭ) предельное напряжение на коллекторе $U_{к.макс}$ лимитируется также возможностью лавинообразного роста тока коллектора, проходящего через эмиттерный переход.

Максимальное допустимое обратное напряжение на эмиттере $U_{э.макс}$ имеет тот же смысл, что и $U_{к.макс}$ для коллекторного перехода.

Максимальный допустимый ток коллектора $I_{к.макс}$ *и эмиттера* $I_{э.макс}$ устанавливается для того, чтобы в период эксплуатации не нарушался механизм движения носителей зарядов в полупроводнике из-за большой плотности тока.

Максимальные значения токов, напряжений и мощности определяют границы области гарантированной надежности работы. Работа в предельном режиме соответствует самой низкой надежности прибора, поэтому использование транзисторов в схемах с таким режимом не рекомендуется, а **работа в совмещенных предельных режимах (например, по току и рассеиваемой мощности) вообще не допускается.**

В импульсном (прерывистом) режиме работы допускается превышение предельных значений параметров длительного режима, при этом указывается скважность или длительность импульсов, при которых возможен такой форсированный режим

§ 21. Классификация полупроводниковых приборов и их обозначение

В соответствии с принятой классификацией транзисторы по величине мощности, рассеиваемой коллектором, делятся на транзисторы малой ($P_k \leq 300 \text{ мвт}$), средней ($P_k \leq 3 \text{ вт}$) и большой ($P_k > 3 \text{ вт}$) мощности. По значению предельной частоты, на которой могут ра-

ботать транзисторы, их делят на низкочастотные ($f_{\alpha} \leq 3 \text{ МГц}$), среднечастотные ($f_{\alpha} \leq 30 \text{ МГц}$), высокочастотные ($f_{\alpha} \leq 300 \text{ МГц}$) и сверхвысокочастотные ($f_{\alpha} > 300 \text{ МГц}$).

У полупроводниковых приборов, разработанных до 1964 г., условные обозначения состоят из двух или трех элементов (например, Д226, П42А).

Первый элемент обозначения: буква Д для диодов, П для плоскостных транзисторов.

Второй элемент обозначения — число, которое указывает на область применения.

Диоды:

точечные германиевые	1—100
» кремниевые	101—200
плоскостные кремниевые	201—300
» германиевые	301—400
смесительные СВЧ детекторы	401—500
умножительные	501—600
видеодетекторы	601—700
параметрические германиевые	701—749
» кремниевые	750—800
опорные (стабилитроны)	801—900
варикапы	901—950
туннельные	951—1000
выпрямительные столбы	1001—1100

Триоды:

маломощные германиевые низкочастотные	1—100
маломощные кремниевые низкочастотные	101—200
мощные германиевые низкочастотные	201—300
» кремниевые »	301—400
маломощные германиевые высокочастотные	401—500
маломощные кремниевые высокочастотные	501—600
мощные германиевые высокочастотные	601—700
мощные кремниевые высокочастотные	701—800

Третий элемент обозначения — буква, указывающая разновидность прибора. Полупроводниковые приборы, не имеющие разновидности типа, третьего элемента обозначения не имеют.

Наряду с приведенной выше системой обозначений полупроводниковых приборов в настоящее время введена в соответствии с ГОСТ 10862—64 новая более совершенная четырехэлементная система обозначений вновь разрабатываемых полупроводниковых приборов (например, ГТ309Б, 1Т303В, 2Т301А).

Первый элемент — буква или цифра, указывающая исходный

материал (Г или 1 — германий, К или 2 — кремний, А или 3 — арсенид галлия).

Второй элемент — буква, указывающая класс или группу приборов (Д — выпрямительные, импульсные, универсальные диоды; Т — транзисторы; В — варикапы; А — сверхвысокочастотные диоды; Ф — фотоприборы; Н и У — соответственно неуправляемые и управляемые многослойные переключающие приборы; И — туннельные диоды; С — стабилитроны; Ц — выпрямительные столбы и блоки).

Третий элемент — число, указывающее назначение или электрические свойства прибора.

Диоды низкой частоты:

выпрямительные	101—399
универсальные	401—499
импульсные	501—599
варикапы	101—999

СВЧ диоды:

смесительные	101—199
видеодетекторы	201—299
модуляторные	301—399
параметрические	401—499
переключающие	501—599
умножительные	601—699
фотодиоды	101—199
фототранзисторы	201—299

Туннельные диоды:

усилительные	101—199
генераторные	201—299
переключающие	201—399

Выпрямительные столбы:

малой мощности	101—199
средней »	201—299

Выпрямительные блоки:

малой мощности	301—399
средней »	401—499
большой »	501—599

Неуправляемые и управляемые многослойные переключающие приборы:

малой мощности	101—199
средней »	201—299
большой »	301—399

Стабилитроны малой мощности:

напряжение стабилизации 1—9,9 в .	101—199
» » 10—99 в .	201—299
» » 100—199 в .	301—399

Стабилитроны средней мощности:

напряжение стабилизации 1—9,9 в .	401—499
» » 10—99 в .	501—599
» » 100—199 в .	601—699

Стабилитроны большой мощности:

напряжение стабилизации 1—9,9 в .	701—799
» » 10—99 в .	801—899
» » 100—199 в .	901—999

Транзисторы малой мощности:

низкой частоты	101—199
средней »	201—299
высокой »	301—399

Транзисторы средней мощности:

низкой частоты	401—499
средней »	501—599
высокой »	601—699

Транзисторы большой мощности:

низкой частоты	701—799
средней »	801—899
высокой »	901—999

Четвертый элемент — буква, указывающая разновидность типа из данной группы приборов.

Примеры обозначений. 2С156А — кремниевый маломощный стабилитрон с напряжением стабилизации 1—9,9 в, разновидность типа А. ГТ310А — германиевый маломощный высокочастотный транзистор, разновидность типа А.

Правила включения и монтажа. Полупроводниковые диоды включают в схему в соответствии с их полярностью, указанной на корпусе. Включение транзисторов определяется их структурой $p-n-p$ или $n-p-n$ и рабочей схемой.

При подключении транзистора к источнику питания первым следует присоединять вывод базы, а последним — вывод коллектора. Отключение транзистора от цепи питания ведется в обратном порядке. Полупроводниковые приборы соединяют с элементами схем пайкой, сваркой и другими способами, при которых нагрев прибора не должен превышать 150°C *. Обычно пайку производят припоем ПОС-40 на расстоянии не менее 10 мм от корпуса. Мощность паяльника не должна превышать 50—60 вт. Продолжительность пайки не более 2—3 сек с обязательным применением дополнительных теплоотводов между корпусом прибора и местом пайки. Изгибы внешних выводов производят не ближе 3—5 мм от проходного изолятора.

* В системе СИ температура измеряется в градусах Кельвина ($^{\circ}\text{K}$). $1^{\circ}\text{K} = 273 + 1^{\circ}\text{C}$.

Приборы, особенно мощные, располагают так, чтобы обеспечивалось хорошее охлаждение. При работе диодов в тяжелых условиях целесообразно уменьшение выпрямленного тока и обратного напряжения. При использовании диодов, которые крепят к шасси винтами, площадь теплоотводящего шасси на диод должна быть не меньше 40 см^2 при толщине 1 мм. Транзисторы нельзя укреплять на выводах. С целью улучшения теплоотвода мощные транзисторы снабжают дополнительными радиаторами.

§ 22. Справочные данные выпрямительных диодов

Германиевые сплавные диоды Д7

Предназначены для выпрямления переменного тока частотой до 20 кГц. Оформлены в металлическом сварном корпусе со стеклянными изоляторами и гибкими выводами (рис. 43, а). Вес диода 1,4 г.

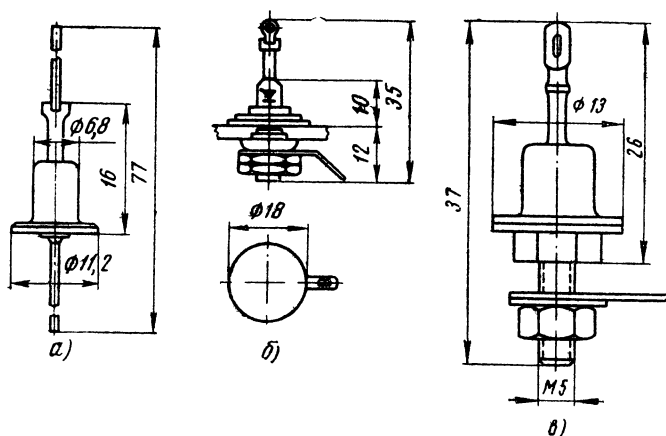


Рис. 43. Габаритные размеры диодов:

а — типов Д7Б—Д7Ж, Д206—Д211, Д217, Д218, Д226, б — типов Д202—Д205, в — типов КД202

Интервал рабочих температур от -60 до $+70^\circ \text{C}$. Допустимая относительная влажность при температуре 40°C до 98%. Атмосферное давление от 5 мм рт. ст. до 2 ат. Допустимые ускорения при вибрациях до 10 г в диапазоне частот 10—600 Гц. Постоянные и ударные ускорения до 150 г. Срок службы не менее 5000 ч.

Электрические параметры диодов при температуре $+20^\circ \text{C}$ приведены в табл. 16.

Таблица 16

Параметры	Типы диодов				
	Д7Б	Д7Г	Д7Д	Д7Е	Д7Ж
Наибольшее обратное напряжение, <i>в</i>	100	200	300	350	400
Прямое падение напряжения, <i>в</i>	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Выпрямленный ток, <i>ма</i>	300	300	300	300	300
Среднее значение обратного тока, <i>мка</i>	100	100	100	100	100
Амплитуда тока при переходных процессах в течение 0,1 сек, <i>а</i> . .	25	25	25	25	25

Примечание. Допускается последовательное и параллельное соединение однотипных диодов. При последовательном соединении каждый диод шунтируют сопротивлением 100 ком на каждые 100 в напряжения.

Кремниевые сплавные диоды Д202—Д205

Предназначены для выпрямления переменного тока частотой до 50 кГц. Оформлены в металлическом герметичном корпусе с винтом для крепления к шасси (рис. 43, б). Вес диода 7,2 г.

Таблица 17

Параметры	Типы диодов			
	Д202	Д203	Д204	Д205
Наибольшее обратное напряжение, <i>в</i>	100	200	300	400
Прямое падение напряжения, <i>в</i>	1	1	1	1
Выпрямленный ток, <i>ма</i>	400	400	400	400
Среднее значение обратного тока, <i>мка</i>	500	500	500	500

Примечания: 1. Параметры приведены для температуры окружающей среды от -60 до +125° С при наличии теплоотводящего шасси.

2. При работе без теплоотводящего шасси рабочая температура должна быть не более 80° С, а величина выпрямленного тока снижена на 50%.

3. Допускается последовательное и параллельное соединение однотипных диодов. При последовательном соединении каждый диод следует шунтировать выравнивающим сопротивлением около 70 ком на каждые 100 в обратного напряжения. При параллельном соединении диодов последовательно после каждого из них включают сопротивления 10—50 ом.

4. На частотах до 20 кГц диоды работают без снижения выпрямленного тока.

Интервал рабочих температур от -60 до $+125^{\circ}\text{C}$ (при теплоотводе площадью 40 см^2). Допустимая относительная влажность при температуре 40°C до 98%. Атмосферное давление от 5 мм рт. ст. до 2 ат. Вибрационные ускорения до 12 г в диапазоне частот 10—1000 гц. Постоянные и ударные ускорения до 150 г. Срок службы не менее 5000 ч.

Электрические параметры приведены в табл. 17.

Кремниевые диффузионные диоды КД202В-С

Предназначены для выпрямления переменного тока частотой до 5000 гц. На частотах 1200—5000 гц допустимый прямой ток необходимо снижать вдвое, не снижая обратного напряжения. Вес диода 6 г.

Интервал рабочих температур окружающей среды от -60 до $+125^{\circ}\text{C}$. Конструктивно выполнены в нормализованном диодном корпусе, допускающем мощность рассеяния 6—10 вт, с винтом для крепления к шасси (рис. 43, в).

Электрические параметры диодов приведены в табл. 18.

Кремниевые сплавные диоды Д206—Д211

Предназначены для выпрямления переменного тока в радиоэлектронных и электротехнических устройствах. Оформлены в металлическом герметичном корпусе с гибкими выводами (см. рис. 43, а). Вес диода 2 г.

Интервал рабочих температур от -60 до $+125^{\circ}\text{C}$. Относительная влажность при температуре 40°C до 98%. Атмосферное давление от 5 мм рт. ст. до 3 ат. Допустимые постоянные и ударные ускорения до 150 г. Вибрационные ускорения до 15 г в диапазоне частот 5—2000 гц. Срок службы не менее 5000 ч.

Электрические параметры приведены в табл. 19.

Кремниевые сплавные диоды Д217 и Д218

Предназначены для выпрямления переменного тока частотой до 1 кгц. Оформлены в металлическом герметичном корпусе с гибкими выводами (см. рис. 43, а). Вес диода 2 г.

Интервал рабочих температур от -60 до $+125^{\circ}\text{C}$. Относительная влажность при температуре 40°C до 98%. Постоянные и ударные ускорения до 150 г. Вибрации с ускорением до 15 г в диапазоне частот 5—2000 гц. Атмосферное давление от 5 мм рт. ст. до 3 ат. Срок службы не менее 10 000 ч.

Электрические параметры приведены в табл. 20.

Кремниевые сплавные диоды Д226—Д226Е

Предназначены для выпрямления переменного тока. Могут применяться взамен диодов Д7 в схемах, где величина прямого падения напряжения не является критической. Оформлены в металлическом герметичном корпусе со стеклянным изолятором и гибкими выводами (см. рис. 43, а). Вес диода 2 г.

Таблица 18

Параметры	Типы диодов									
	КД202В	КД202Г	КД202Д	КД202Е	КД202Ж	КД202И	КД202К	КД202Л	КД202М	КД202Н
Наибольшее обратное напряжение, v	100	100	200	200	300	300	400	400	500	600
Прямое падение напряжения, v , при температуре корпуса 130°С:										
при $I_{пр.ср} = 3 a$	1	—	1	—	1	1	1	—	1	—
при $I_{пр.ср} = 1 a$	—	1	—	1	—	—	—	1	—	1
Обратный ток, ma	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Выпрямленный ток, a , при температуре среды 20°С:										
без радиатора	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
с радиатором из дюралюминия толщиной 3 мм, площадью 50 cm^2	4,5	3	4,5	3	4,5	4,5	4,5	3	4,5	3

Примечание. В импульсном режиме диоды допускают токи до 50 a длительностью импульса до 10 мксек при частоте повторения $f=3000$ гц и температуре корпуса до 75°С.

Интервал рабочих температур от -60 до $+125^{\circ}\text{C}$. Относительная влажность при температуре 40°C до 98%. Постоянные и ударные ускорения до 150 *г*. Вибрации с ускорением до 15 *г* в диапазоне частот 10—2000 *гц*. Атмосферное давление от 5 *мм рт. ст.* до 2 *ат*. Срок службы не менее 5000 ч.

Электрические параметры приведены в табл. 21.

Таблица 19

Параметры	Типы диодов					
	Д206	Д207	Д208	Д209	Д210	Д211
Наибольшее обратное напряжение, <i>в</i>	100	200	300	400	500	600
Прямое падение напряжения, <i>в</i>	1	1	1	1	1	1
Выпрямленный ток, <i>ма</i>	100	100	100	100	100	100
Среднее значение обратного тока, <i>мка</i>	100	100	100	100	100	100

Примечания: 1. На частотах до 1 *кГц* диоды работают устойчиво без ухудшения параметров во всем интервале температур.

2. Допускается параллельное соединение диодов одной группы. Последовательное соединение диодов может производиться без их подбора по параметрам; при этом каждый диод шунтируют выравнивающей емкостью.

Таблица 20

Параметры	Типы диодов	
	Д217	Д218
Наибольшее обратное напряжение, <i>в</i>	800	1000
Прямое падение напряжения, <i>в</i>	0,7	0,7
Выпрямленный ток, <i>ма</i> :		
при $+20$ и -60°C	100	100
при $+120^{\circ}\text{C}$	50	50
Среднее значение обратного тока, <i>мка</i> :		
при $+20$ и -60°C	100	100
при $+120^{\circ}\text{C}$	50	50

Примечания: 1. Допускается применение диодов на частотах выше 1 *кГц* при условии, что величина обратного тока на рабочей частоте в заданном режиме не будет превышать 500 *мка*.

2. Диоды можно соединять последовательно и параллельно. При последовательном соединении каждый из диодов шунтируют выравнивающей емкостью 50 *пф*. При параллельном соединении последовательно с каждым диодом должно включаться сопротивление 5 *ом*.

Таблица 21

Параметры	Типы диодов		
	Д226	Д226А	Д226Е
Наибольшее обратное напряжение, <i>в</i>	400	300	400
Прямое падение напряжения, <i>в</i> , при +20 и -60°С	1	1	1
Выпрямленный ток, <i>ма</i> , при +20 и -60°С	300	300	300
Среднее значение обратного тока, <i>мка</i> , при +20 и -60°С	30	30	100

Примечание. Диоды допускают параллельное и последовательное соединение. При параллельном соединении однотипных диодов последовательно с каждым из них включают сопротивление 5 ом. При последовательном соединении каждый диод шунтируют выравнивающим сопротивлением 100 ком на каждые 100 *в* амплитудного значения обратного напряжения.

Кремниевые сплавные диоды Д242—Д243БП

Предназначены для выпрямления переменного тока частотой до 1 *кГц*. Оформлены в металлическом герметичном корпусе со стеклянными изоляторами и винтом для крепления к шасси (рис. 44, *а*). Вес без радиатора 22 *г*.

Интервал рабочих температур от -60 до +125°С. Допустимая относительная влажность при температуре 40°С до 98%. Допусти-

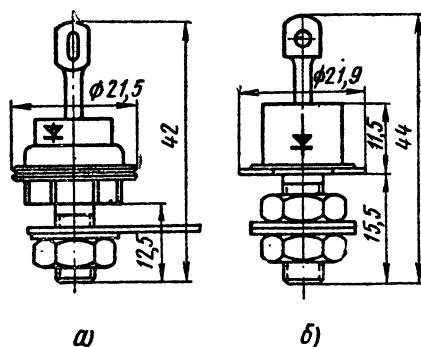


Рис. 44. Габаритные размеры диодов:

а — типов Д242—Д243Б, *б* — типов Д302—Д305

мое изменение давления окружающего воздуха от 5 мм рт. ст. до 2 ат. Допустимые постоянные и ударные ускорения до 150 г. Выдерживают вибрационные ускорения до 20 г с частотами 10—2000 гц. Электрические параметры приведены в табл. 22.

Таблица 22

Параметры	Типы диодов					
	Д242; Д242П	Д242А; Д242АП	Д242Б; Д242БП	Д243; Д243П	Д243А; Д243АП	Д243Б; Д243БП
Наибольшее обратное напряжение, в	100	100	100	200	200	200
Прямое падение напряжения, в	1	1	1	1	1	1
Выпрямленный ток, а	5	10	2	5	10	2
Среднее значение обратного тока, ма	3	3	3	3	3	3

Примечания: 1. Диоды с индексом П имеют обратную полярность.
2. При последовательном соединении диодов они должны шунтироваться сопротивлением 10—15 ком на каждые 100 в амплитуды обратного напряжения.

Диоды должны укрепляться на теплоотводящем шасси или радиаторах. Ориентировочные размеры радиаторов приведены в табл. 23.

Таблица 23

Выпрямленный ток, а	Площадь алюминиевого радиатора при температуре окружающей среды, см ²		Толщина пластин радиатора, мм
	до 25 °С	до 125 °С	
2—5	25	100	3
10	50	200	3

Германиевые сплавные диоды Д302—Д305

Предназначены для выпрямления переменного тока частотой 50 гц. Оформлены в металлическом герметичном корпусе со стеклянным изолятором и винтом для крепления на теплоотводящем шасси (рис. 44, б). Вес диода без изолятора 16 г.

Интервал рабочих температур от -60 до $+70^{\circ}\text{C}$. Допустимая относительная влажность воздуха при температуре 40°C до 98%. Атмосферное давление от 5 мм рт. ст. до 2 ат. Допустимые вибрации в диапазоне 10—1000 гц с ускорением до 15 г. Ударные ускорения до 150 г. Срок службы не менее 5 000 ч.

Электрические параметры диодов приведены в табл. 24.

Таблица 24

Параметры	Типы диодов			
	Д302	Д303	Д304	Д305
Наибольшее обратное напряжение, в	200	150	100	50
Прямое падение напряжения, в	0,2	0,3	0,4	0,5
Выпрямленный ток, а	1	3	5	10
Среднее значение обратного тока, ма:				
при 20°C	1	1	3	3
при 70°C	5	6	15	25

Примечание. Диоды можно соединять последовательно и параллельно; при последовательном соединении каждый диод шунтируют сопротивлением 10—15 ком.

Кремниевые высоковольтные выпрямительные столбы Д1004—Д1011А

Предназначены для выпрямления переменного тока. Оформлены в прямоугольном пластмассовом корпусе, залитом полимеризованной смолой (рис. 45). Вес столбов до 80 г.

Интервал рабочих температур от -60 до $+125^{\circ}\text{C}$. Допустимая относительная влажность воздуха при температуре 40°C до 98%. Атмосферное давление от 5 мм рт. ст. до 2 ат. Постоянные и ударные ускорения до 150 г. Срок службы столбов Д1004—Д1008 — до 10 000 ч, столбов Д1009—Д1011А — до 5000 ч.

Электрические параметры столбов приведены в табл. 25.

Однотипные столбы можно соединять параллельно, при этом ток, проходящий через столбы, не должен превышать номинальный. При обратных напряжениях до 50 кв однотипные столбы можно соединять последовательно. При этом каждый столб шунтируют емкостью

$$C_n = 2,8C_3 n^2,$$

где C_3 — емкость столбов относительно Земли;

n — число последовательно соединенных столбов.

Емкость столба относительно Земли не должна превышать 3 пф. Для этого воздушный промежуток между шасси и корпусом столба следует брать не менее 5 мм. Для уменьшения емкости столбы целесообразно располагать вертикально относительно шасси.

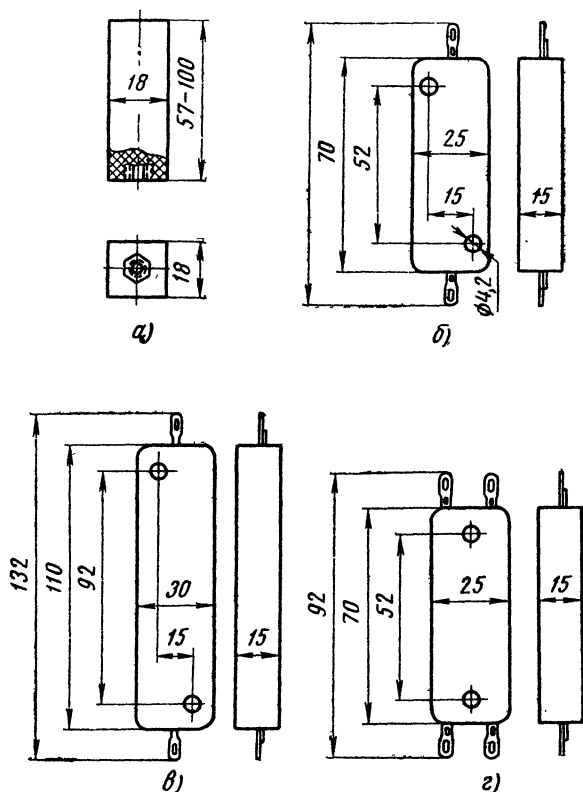


Рис. 45. Габаритные размеры высоковольтных выпрямительных столбов:

а — типов Д1004—Д1008, б — типа Д1009, в — типа Д1010,
г — типов Д1009А и Д1011А

Кремниевые выпрямительные блоки КЦ401А и КЦ401Б

Предназначены для выпрямления переменного тока в радиотехнических устройствах. Внутри блоков диоды можно соединять по схеме удвоителя напряжения, а также по мостовой схеме (рис. 46). Оформлены в пластмассовом корпусе с жесткими выводами (рис. 47).

Интервал рабочих температур от -55 до $+70^{\circ}\text{C}$. Допустимая температура корпуса до 85°C . Допустимая относительная влаж-

Таблица 26

Параметры	Типы блоков	
	КЦ401А	КЦ401Б
Наибольшее обратное напряжение на одно плечо при соединении по схеме удвоителя или мостовой, в	500	500
Прямое падение напряжения на каждое плечо, в	2,5	2,5
Выпрямленный ток, ма:		
первого плеча	400	400
второго плеча	300	400
Средние значения обратного тока, мка . . .	100	100

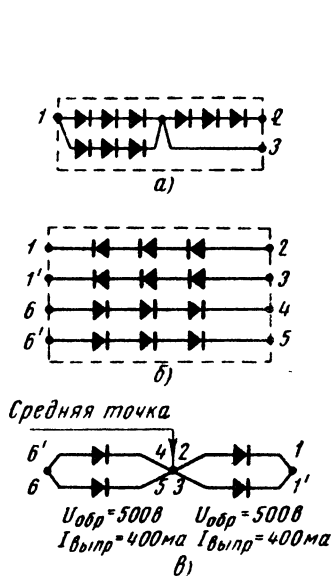


Рис. 46. Схемы соединения диодов в блоках:

а — блок КЦ401А, б — блок КЦ401Б, в — блок КЦ401Б в качестве удвоителя

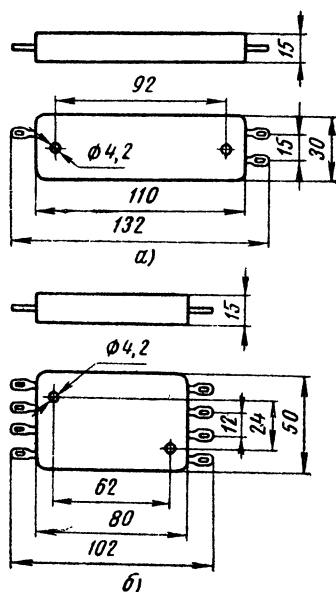


Рис. 47. Габаритные размеры столбов:

а — типа КЦ401А, б — типа КЦ401Б

ность окружающего воздуха при температуре 40°C до 98%. Срок службы не менее 10 000 ч.

Допускается работа блоков на емкостную нагрузку. При этом амплитуда обратного напряжения на блоках должна не превышать предельного значения, а действующее значение тока через блок — не превышать 1,57 от номинального значения выпрямленного тока. Запрещается последовательное и параллельное включение блоков.

Электрические параметры блоков приведены в табл. 26.

§ 23. Справочные данные высокочастотных диодов

Германиевые точечные диоды Д9Б—Д9Л

Предназначены для работы на частотах до 40 Мгц в качестве детекторов и преобразователей частоты, а также вентилях в схемах маломощных выпрямителей. Оформлены диоды в стеклянном корпусе с гибкими выводами (рис. 48, а). Вес до 0,3 г.

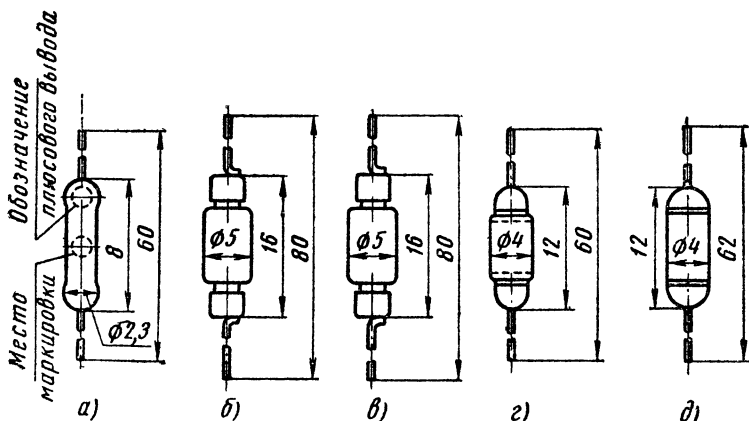


Рис. 48. Габаритные размеры диодов:

а — типов Д9Б—Д9Л, б — типов Д11—Д14А, в — типов Д101—Д103А, г — типов Д104—Д106А, д — типов Д223—Д223Б

Интервал рабочих температур от -60 до $+70^{\circ}\text{C}$. Допустимая относительная влажность воздуха при температуре 40°C до 98%. Атмосферное давление не ниже 5 мм рт. ст. Срок службы не менее 5000 ч.

Плюсовой вывод диодов обозначают красной точкой. Маркируют диоды в соответствии с табл. 27 путем нанесения на среднюю часть корпуса цветных точек.

Электрические параметры приведены в табл. 28

Таблица 27

Тип диода	Цвет точки или точек	Число точек
Д9Б	Красная	1
Д9В	Оранжевая	1
Д9Г	Желтая	1
Д9Д	Белая	1
Д9Е	Голубая	1
Д9Ж	Зеленая	1
Д9И	Желтые	2
Д9К	Белые	2
Д9Л	Зеленые	2

Таблица 28

Параметры	Типы диодов								
	Д9Б	Д9В	Д9Г	Д9Д	Д9Е	Д9Ж	Д9И	Д9К	Д9Л
Наибольшее обратное напряжение, <i>в</i> :									
при +25 и —60° С .	10	30	30	30	50	100	30*	30*	100*
при +70° С	10	20	20	20	30	45	20	20	45
Прямой ток, <i>ма</i> , при напряжении 1 <i>в</i>	90	10	30	60	30	10	30	60	30
Выпрямленный ток, <i>ма</i> , при +25 и —60° С .	40	20	30	30	20	15	30	30	15
Обратный ток, <i>мка</i> , при наибольшем обратном напряжении	250	250	250	250	250	250	120	60	250
Наибольшая мощность рассеивания, <i>мвт</i>	50	50	50	50	50	50	50	50	50

* При температуре 25 и 40° С.

Германиевые точечные диоды Д11—Д14А

Предназначены для работы в различных радиоэлектронных устройствах на частотах до 150 Мгц. Оформлены в металлическом корпусе со стеклянными изоляторами с гибкими выводами (рис. 48, б). Вес диода 0,9 г.

Интервал рабочих температур от -60 до $+70^{\circ}\text{C}$. Допустимая относительная влажность воздуха при 40°C до 98%. Интервал допустимых изменений атмосферного давления 5—800 мм рт. ст. Наибольшее ускорение при вибрации 10 г с частотами 15—600 гц. Постоянные и ударные ускорения 100—150 г. Срок службы не менее 4000 ч.

Электрические параметры диодов приведены в табл. 29.

Таблица 29

Параметры	Типы диодов					
	Д11	Д12	Д12А	Д13	Д14	Д14А
Наибольшее обратное напряжение, в	40	75	75	100	125	125
Обратное напряжение, в, при токе 250 мка	30	50	50	75	100	100
Прямой ток, ма, при напряжении 1 в	100	50	100	100	30	100
Выпрямленный ток, ма	20	20	20	20	20	20
Средние значения обратного тока, мка, при напряжении 10 в	100	70	50	50	70	70
Наибольшие значения постоянного тока при длительной нагрузке, ма	50	50	50	50	50	50
Пропускная емкость, пф	1	1	1	1	1	1

Примечания: 1. При температуре 70°C значения обратных напряжений снижают на 40% по сравнению с приведенными в таблице.

2. На частотах до 0,1 Мгц диоды работают без снижения величины выпрямленного тока. На частоте 25 Мгц при нагрузке 1 ком и частоте 50 Мгц при нагрузке 100 ком величина выпрямленного тока может снизиться в два раза.

3. Плюсовой конец корпуса диодов окрашен в красный цвет, минусовый — в черный.

Кремниевые точечные диоды Д101—Д106А

Предназначены для работы в радиоэлектронных устройствах на частотах до 200 Мгц (диоды Д101—Д103А) и до 600 Мгц (диоды Д104—Д106А). Диоды оформлены в металлостеклянном корпусе с гибкими выводами (рис. 48, в и г). Вес диодов Д101—Д103А—1,3 г, диодов Д104—Д106А—0,53 г.

Интервал рабочих температур от -60 до $+150^{\circ}\text{C}$. Допустимая относительная влажность воздуха при температуре 40°C до 98%. Интервал изменения атмосферного давления от 5 мм рт. ст. до 2 ат. Вибрационные ускорения до 10 г при длительной вибрации с частотой 10—600 гц. Постоянные и ударные ускорения до 150 г.

Срок службы не менее 2000 ч (Д101—Д103А) и 5000 ч (Д104—Д106А).

На частотах до 0,1 Мгц диоды работают без снижения выпрямленного тока. На частотах выше 100 Мгц снижение выпрямленного тока не ограничивается.

Электрические параметры диодов приведены в табл. 30.

Таблица 30

Параметры	Типы диодов					
	Д101; Д104	Д101А; Д104А	Д102; Д105	Д102А; Д105А	Д103; Д106	Д103А; Д106А
Наибольшее обратное напряжение, в, при 25°С . . .	100	100	75	75	30	30
Обратное напряжение, в . . .	75	75	50	30	30	30
Прямое напряжение, в:						
при 1 ма	—	1	—	1	—	1
при 2 ма	2	—	2	—	2	—
Выпрямленный ток, ма:						
при —60 и +20°С . . .	30	30	30	30	30	30
при +120°С	8	8	8	8	8	8
Обратный ток, мка, при указанном выше обратном напряжении:						
при 25°С	10	10	10	10	30	30
при 125°С	100	75	100	100	100	100
Пропускная емкость, пф, на частоте 100 Мгц и обратном напряжении 10 в . . .	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

Кремниевые точечные микросплавные диоды Д223—Д223Б

Предназначены для работы в схемах радиоэлектронных и измерительных устройств на частотах до 20 Мгц. Диоды оформлены в металlostеклянном герметичном корпусе с гибкими выводами (рис. 48, д). Вес 0,3 г.

Интервал рабочих температур от —60 до +125°С. Допустимая относительная влажность воздуха при температуре 40°С до 98%. Интервал изменения атмосферного давления от 5 мм рт. ст. до 3 ат. Допустимые постоянные и ударные ускорения до 150 г. Ускорения при вибрациях 15 г с частотой 10—2000 гц. Срок службы не менее 5000 ч.

Маркируют диоды в соответствии с табл. 27 путем нанесения на корпус красных точек. Для указания полярности диода плюсовой конец его корпуса окрашивают в красный цвет, а минусовый — в черный.

Электрические параметры диодов приведены в табл. 31.

Таблица 31

Параметры	Типы диодов		
	Д223	Д223А	Д223В
Число красных точек	Четыре	Две	Три
Наибольшее обратное напряжение, <i>в</i>	50	100	150
Прямое падение напряжения, <i>в</i>	1	1	1
Выпрямленный ток, <i>ма</i> :			
при 20° С	50	50	50
при 125° С	20	20	20
Обратный ток при наибольшем обратном напряжении, <i>мка</i> :			
при 20° С	1	1	1
при 125° С	50	50	50

§ 24. Справочные данные маломощных низкочастотных транзисторов

Германиевые сплавные транзисторы П25—П26Б (*p—n—p*)

Предназначены для работы в схемах радиоэлектронных устройств в режимах усиления и переключения. Конструктивно выполнены в электросварном металлическом герметичном корпусе* со стеклянными изоляторами и гибкими выводами (рис. 49, *а*). Вес транзистора до 1 г.

Интервал рабочих температур от —60 до +70° С. Допустимая относительная влажность воздуха 98% при температуре 40° С. Давление окружающего воздуха от 5 мм рт. ст. до 2 ат. Вибрационные ускорения до 10 *г* в диапазоне частот 5—2000 *гц*. Срок службы не менее 5000 ч. Электрические параметры при температуре 20° С приведены в табл. 32.

Германиевые плоскостные транзисторы МП39Б—МП41А

(*p—n—p*)

Предназначены для усиления и генерирования электрических сигналов низких частот. Конструктивно выполнены в металлическом корпусе холодносварной конструкции** с гибкими выводами.

Габаритные размеры и цоколевка транзисторов приведены на рис. 49, *б*, а электрические параметры — в табл. 33.

* Аналогичные параметры имеют транзисторы МП25—МП26Б более поздних выпусков в металлических корпусах холодносварной конструкции.

** Транзисторы более ранних выпусков с аналогичными параметрами, изготовленные с помощью электроконтактной сварки, обозначались одной буквой, например П41А.

Таблица 32

Параметры	Типы транзисторов					Режим измерения		
	П25	П25А	П25Б	П26	П26А	П26Б	$I_{\text{э}}, \text{мА}$	напряжение на коллекторе $U_{\text{к}}, \text{мВ}$
Предельная частота усиления по току $f_{\text{а}}$, кГц, при $U_{\text{к}}=20 \text{ В}$	200	200	500	200	200	500	1,5	-35
Коэффициент усиления по току β	10—25	20—50	30—80	10—25	20—50	30—80	1,5	-70
Ток эмиттера $I_{\text{а}}, \text{мА}$	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	—	—100
Обратный ток коллектора $I_{\text{н.о.}}, \text{мкА}$	150	150	150	150	150	150	—	—100
Обратный ток эмиттера $I_{\text{а.о.}}, \text{мкА}$	150	150	150	150	150	150	—	—100
Выходная проводимость $h_{22}, \text{мкОм}$	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	1,5	-35
Емкость коллектора $C_{\text{к}}, \text{пФ}$	70	70	70	50	50	50	1,5	-35
Сопротивление базы $r_{\text{б}}, \text{Ом}$	500	500	500	500	500	500	1,5	-35
Максимальное сопротивление базы на высокой частоте $r_{\text{б}}, \text{Ом}$	150	150	150	150	150	150	1,5	-35
Время переключения $\tau_{\text{пер}}, \text{мксек}$, при $R_{\text{н}}=1 \text{ кОм}$	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,5	-30
Напряжение на коллекторе $U_{\text{к}}, \text{В}$, при 35°C	40	40	40	70	70	70	—	—
Параметры предельных режимов								
Ток коллектора в импульсном режиме, мА	400	400	400	400	400	400	—	—
Напряжение на коллекторе при температуре до 35°C $U_{\text{к.макс}}, \text{В}$	-60	-60	-60	-100	-100	-100	—	—
Мощность $P_{\text{к.макс}}$, рассеиваемая на коллекторе, при 35°C , мВт	200	200	200	200	200	200	—	—

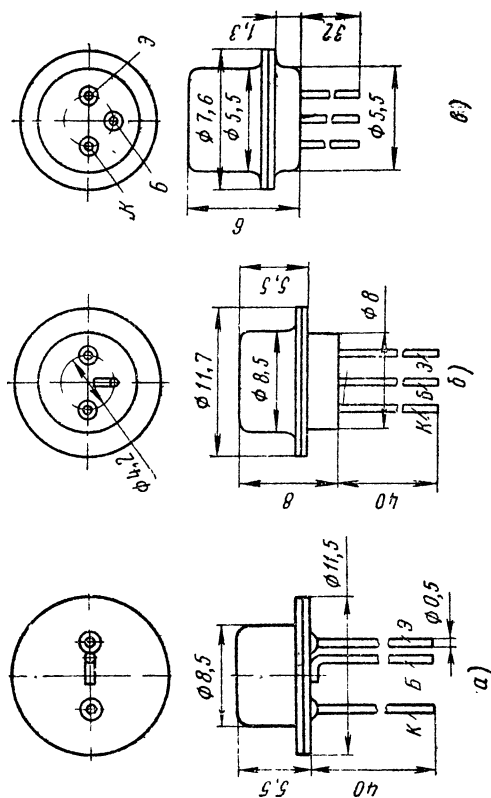


Рис. 49. Габаритные размеры транзисторов:

а — типов П25—П26Б, б — типов МП39—42, в — типов МГТ108А—Г

Таблица 33

Параметры	Типы транзисторов				
	МП39Б	МП40	МП40А	МП41	МП41А
Предельная частота усиления по току f_{α} , МГц, при $I_3 = 1$ ма, $U_K = 5$ в	0,5	1	1	1	1
Коэффициент усиления по току β при $I_3 = 1$ ма, $U_K = -5$ в, $f = 1$ кГц	20—60	20—40	20—40	30—60	50—100
Обратный ток коллектора $I_{K.0}$ мка, при $U_3 = -5$ в	15	15	15	15	15
Обратный ток эмиттера $I_{Э.0}$ мка, при $U_3 = -5$ в	30	30	30	30	30
Емкость коллектора C_K , пф, при $f = 500$ кГц	60	60	60	60	60
Выходная проводимость h_{22} , мкмо, при $U_K = -5$ в, $I_3 = 1$ ма, $f = 1$ кГц	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3
Сопротивление базы на высокой частоте r'_b , ом, при $U_K = -5$ в, $I_3 = 1$ ма, $f = 500$ кГц	220	220	220	220	220
Параметры предельных режимов					
Ток коллектора в режиме переключения при насыщении или в импульсном режиме, ма	150	150	150	150	150
Среднее напряжение $U_{K-б}$, в, при температуре до 40° С	10	10	20	10	10
Мощность, $P_{K.макс}$, рассеиваемая при температуре среды 55° С, мвт	150	150	150	150	150

Примечание. В системе СИ электрическая проводимость измеряется в сименсах (1 сим=1 мо).

Германиевые сплавные транзисторы МП42А и МП42Б (р—n—р)

Предназначены для работы в переключающих и импульсных схемах. Конструктивно оформлены в металлическом герметичном корпусе со стеклянными изоляторами и гибкими выводами (см. рис. 49, б). Вес до 2 г.

Интервал рабочих температур от —60 до +70° С. Допустимая относительная влажность окружающего воздуха до 95% при тем-

пературе 40°С. Давление окружающего воздуха от 5 мм рт. ст. до 2 ат. Вибрационные ускорения до 12 г в диапазоне частот 5—2000 гц. Срок службы не менее 5000 ч.

Электрические параметры транзисторов при температуре 20°С приведены в табл. 34.

Т а б л и ц а 34

Параметры	Типы транзисторов		Режим измерения	
	МП42А	МП42Б	напряже- ние на коллекто- ре U_K , в	сопротив- ление в цепи коллекто- ра, ком
Предельная частота усиления по току f_{α} , кГц, при $I_{\Sigma}=1$ ма	1000	2000	—5	—
Коэффициент усиления по то- ку β при $I_K=10$ ма	30—50	45—100	—1	—
Ток коллектора закрытого транзистора $I_{K.з}$, мка	25	25	—15	—
Напряжение $U_{K-э}$ в режиме насыщения, в	0,15	0,2	—15	1,5
Напряжение $U_{б-э}$ в режиме насыщения, в	0,35	0,4	—15	1,5
Время переключения при $I_K=10$ ма, мксек	1,5	1	—15	1,5
Параметры предельных режимов				
Ток коллектора $I_{K.макс}$, ма	10	10	—	—
Ток в импульсе $I_{K.макс.имп}$, ма	150	150	—	—
Напряжение U_K в схеме с ОЭ, в	—15	—15	—	—
Мощность $P_{K.макс}$, рассеивае- мая на коллекторе, при темпе- ратуре до 45°С, мвт	200	200	—	—

Германиевые сплавные транзисторы МГТ 108А-Г (р—п—р)

Предназначены для усиления и генерирования электрических сигналов миниатюрных радиоэлектронных устройств. Выполнены в металлическом герметичном корпусе со стеклянными изоляторами и гибкими выводами. Вес до 0,5 г.

Габаритные размеры транзисторов показаны на рис. 49, в, а их электрические параметры при температуре $\pm 20^\circ\text{C}$ — в табл. 35.

Таблица 35

Параметры	Типы транзисторов			
	МГТ108А	МГТ108Б	МГТ108В	МГТ108Г
Предельная частота усиления по току f_α при $I_3=1$ ма, $U_K=-5$ в, Мгц	0,5	1	1	1
Коэффициент усиления по току β при $I_3=1$ ма, $U_K=-5$ в, $f=270$ гц	20—50	35—80	60—130	110—250
Обратный ток коллектора $I_{K.0}$, мка, при $U_K=-5$ в, $I_3=0$	10	10	10	10
Обратный ток эмиттера $I_{Э.0}$, мка, при $U_3=-5$ в	15	15	15	15
Выходная проводимость h_{22} , мкмо, при $U_K=-5$ в, $I_3=1$ ма, $f=270$ гц	3,3	3,3	3,3	3,3
Емкость коллектора C_K , пф, при $U_K=-5$ в, $f=465$ кгц . .	50	50	50	50
Постоянная времени цепи обратной связи τ_6 C_K , псек, при $U_K=-5$ в, $I_3=1$ ма, $f=465$ кгц	3500	3500	3500	3500
Параметры предельных режимов				
Ток коллектора $I_{K.макс}$, ма .	50	50	50	50
Напряжение $U_{K-б}$, в	—10	—10	—10	—10
Мощность $P_{K.макс}$, рассеиваемая транзистором, мвт: при $t=+20^\circ\text{C}$	75	75	75	75
при $t=+55^\circ\text{C}$	$P_{K.макс} = \frac{80-t}{0,8}$			

§ 25. Справочные данные маломощных среднечастотных транзисторов

Германиевые сплавные транзисторы П29—П30 (р—n—р)

Предназначены для работы в переключающих и импульсных схемах. Конструктивно выполнены в металлическом герметичном корпусе со стеклянными изоляторами и гибкими выводами (рис. 50, а). Вес до 1,5 г. Интервал рабочих температур от -60 до $+70^\circ\text{C}$.

Электрические параметры при температуре 20°C приведены в табл. 36.

Таблица 36

Параметры	Типы транзисторов			Режим измерения	
	П29	П29А	П30	ток коллектора I_K , ма	напряжение на коллекторе U_K , в
Предельная частота усиления f_α , Мгц	5	5	10	20	—0,5
Коэффициент усиления по току β	25—50	45—90	80—160	20	—0,5
Обратный ток коллектора $I_{K.0}$, мка, при $I_3 = 0$, ма	4	4	4	—	—12
Обратный ток эмиттера $I_{Э.0}$, мка, при $U_{Э.0} = -12$ в	4	4	4	0	—
Напряжение $U_{6-э}$ в режиме насыщения, в, при $I_6 = 1$ ма	0,4	0,4	0,4	20	—
Напряжение $U_{K-э}$ в режиме насыщения, в, при $I_6 = 1$ ма	0,2	0,2	0,2	20	—
Емкость коллектора C_K , пф	20	20	20	—	—6
Параметры предельных режимов					
Ток коллектора*, ма	100	100	100	—	—
Напряжение* U_{K-6} , в	12	12	12	—	—
Напряжение* $U_{K-э}$, в	12	12	12	—	—
Напряжение* $U_{э-6}$, в	12	12	12	—	—
Мощность $P_{K.макс}$, рассеиваемая коллектором, мвт	30	30	30	—	—

* В режиме переключения.

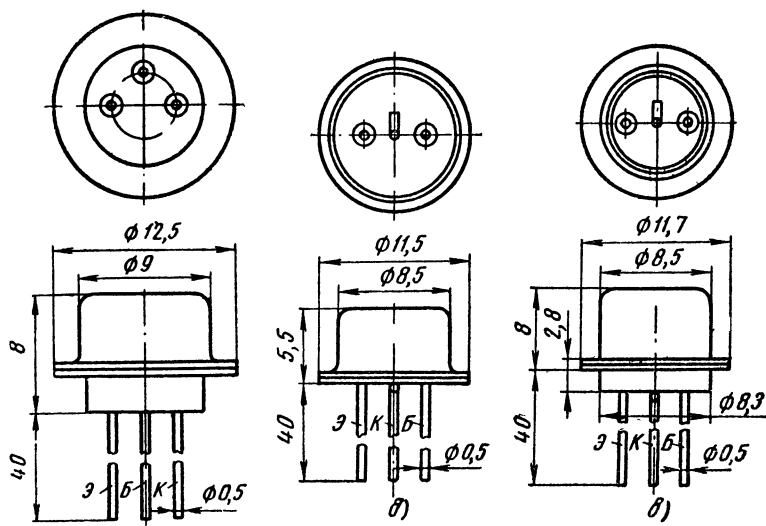


Рис. 50 Габаритные размеры транзисторов:

а — типов П29—П30, б — типов П401—П403А, в — типов П416—П416Б, П-423

§ 26. Справочные данные маломощных высокочастотных транзисторов

Германиевые диффузионные транзисторы П401—П403А

($p-n-p$)

Предназначены для генерирования и усиления электрических сигналов высокой частоты и для работы в импульсных схемах. Конструктивно выполнены в металлическом герметичном корпусе со стеклянными изоляторами и гибкими выводами (рис. 50, б). Вес транзистора до 2 г.

Интервал рабочих температур от -60 до $+70^\circ\text{C}$. Допустимая относительная влажность окружающего воздуха до 98% при температуре 40°C . Давление окружающего воздуха от 5 мм рт. ст. до 2 ат. Вибрационные ускорения до 10 г в диапазоне частот 10—500 гц.

Электрические параметры при температуре 20°C приведены в табл. 37.

Таблица 37

Параметры	Типы транзисторов				Режим измерения		
	П401	П402	П403	П403А	ток эмит- тера I_{Σ} , ма	частота f , гц	напряже- ние на коллекто- ре U_K , в
Предельная частота усиления f_{α} , Мгц	30	60	120	120	5	—	—5
Коэффициент усиления по току α в схеме с ОБ	0,94	0,94	0,97	0,94	5	50— 1000	—5
Обратный ток коллек- тора $I_{K.0}$, мка	10	5	5	5	0	—	—5
Выходная проводи- мость h_{22} , мкмо	5	5	5	5	5	50— 1000	—5
Емкость коллектора C_K , пф	15	10	10	10	0	$5 \cdot 10^8$	—5
Постоянная времени цепи обратной связи на высокой частоте $t'_b C_K$, нсек	3500	1000	500	500	5	$5 \cdot 10^8$	—5
Параметры предельных режимов							
Ток коллектора, ма	10	10	10	10	—	—	—
Ток эмиттера, ма	10	10	10	10	—	—	—
Напряжение U_K , в	—10	—10	—10	—10	—	—	—
Мощность $P_{K.макс}$, рас- сеиваемая коллектором, мвт	50	50	50	50	—	—	—

Германиевые диффузионные транзисторы П416—П416Б

(*n—p—n*)

Предназначены для генерирования и усиления электрических сигналов в диапазоне до 120 Мгц и для работы в импульсных схемах. Конструктивно выполнены в металлическом герметичном корпусе со стеклянными изоляторами и гибкими выводами (рис. 50, в). Вес до 2 г.

Интервал рабочих температур от -60 до $+70^\circ\text{C}$. Допустимая относительная влажность окружающего воздуха 98% при температуре 40°C . Давление окружающего воздуха от 5 мм рт. ст. до 2 ат. Допустимые постоянные и ударные ускорения до 150 г. Вибрацион-
8—228

Таблица 38

Параметры	Типы транзисторов			Режим измерения			
	П416	П416А	П416Б	напряже- ние кол- лектор— база $U_{К-Б}, в$	ток эмиттера $I_э, ма$	частота $f, гц$	сопротив- ление ба- зы $R_б, ом$
Предельная частота генерации f_{α} , $Мгц$	120	120	120	5	5	—	—
Коэффициент усиления по току β	25—80	60—125	100—200	5	5	1000	100—3000
Обратный ток коллектора $I_{К.о.}, мка$	3	3	3	10	0	—	—
Обратный ток эмиттера $I_{э.о.}, мка$	100	100	100	—	0	—	—
Выходная проводимость $h_{22}, мкмо$	5	5	5	5	5	1000	200—2000
Емкость коллектора $C_K, пф$	8	8	8	5	—	$5 \cdot 10^6$	150
Постоянная времени цепи обратной связи на высокой частоте $r_6', C_K, псек$	500	500	500	5	5	$5 \cdot 10^6$	—
Параметры предельных режимов							
Ток коллектора в импульсе, $ма$	120	120	120	—	—	—	—
Ток коллектора, $ма$	15	15	15	—	—	—	—
Напряжение $U_{К-э}, в$, при сопротив- лении в цепи базы $1 ком$	12	12	12	—	—	—	—
Обратное напряжение $U_{э-б}, в$, при обратном токе менее $100 мка$	3	3	3	—	—	—	—
Мощность $P_{К.макс}$, рассеиваемая кол- лектором, $мвт$	100	100	100	—	—	—	—

ные ускорения до 15 *г* в диапазоне частот 5—2500 *гц*. Срок службы не менее 10 000 ч. Электрические параметры для температуры 20°С приведены в табл. 38.

Германиевые транзисторы П423 (р—п—р)

Предназначены для генерирования и усиления электрических сигналов высокой частоты в усилителях промежуточной частоты телевизионных приемников на полупроводниковых приборах.

Габаритные размеры и цоколевка приведены на рис. 50, а, а электрические параметры при температуре 25°С — в табл. 39.

Таблица 39

Параметры	Транзистор П423
Предельная частота генерации f_{α} , Мгц, при $U_k = -5$ в, $I_3 = 5$ ма	120
Статический коэффициент усиления по току β при $U_k = -5$ в, $I_3 = 5$ ма, $f = 50 \div 1000$ гц	30—100
Обратный ток коллектора $I_{к.о.}$, мка, при $U_k = -5$ в	5
Выходная проводимость $h_{22б}$, мкмо, при $U_k = -5$ в, $I_3 = 2$ ма	5
Емкость коллектора C_k , пф, при $U_k = -5$ в, $f = 5$ Мгц	10
Постоянная времени $r_6 C_k$, нсек, при $U_k = -5$ в, $I_3 = 1$ ма, $f = 5$ Мгц	500
Выходное сопротивление $h_{11б}$, ом, при $U_k = -5$ в, $I_3 = 5$ ма, $f = 50—1000$ гц	38
Коэффициент шума $F_{ш}$, дб, при $U_k = -5$ в, $I_3 = 1$ ма, $f = 8$ кгц	10
Параметры предельных режимов	
Ток коллектора, ма	10
Напряжение $U_{к-э}$, в, при сопротивлении в цепи базы до 1000 ом	—10
Мощность $P_{к.макс}$, рассеиваемая на коллекторе, мвт	50
Температура перехода $T_{к.п.макс}$, °С	70

Диффузионные кремниевые транзисторы 2Т301—2Т301Ж

(n—p—n)

Предназначены для генерирования и усиления электрических сигналов на частотах до 60 Мгц. Конструктивно транзисторы выполнены в металлическом герметичном корпусе со стеклянными изоляторами и гибкими выводами (рис. 51, а). Интервал рабочих температур от —60 до +120°С. Электрические параметры для температуры 20°С приведены в табл. 40.

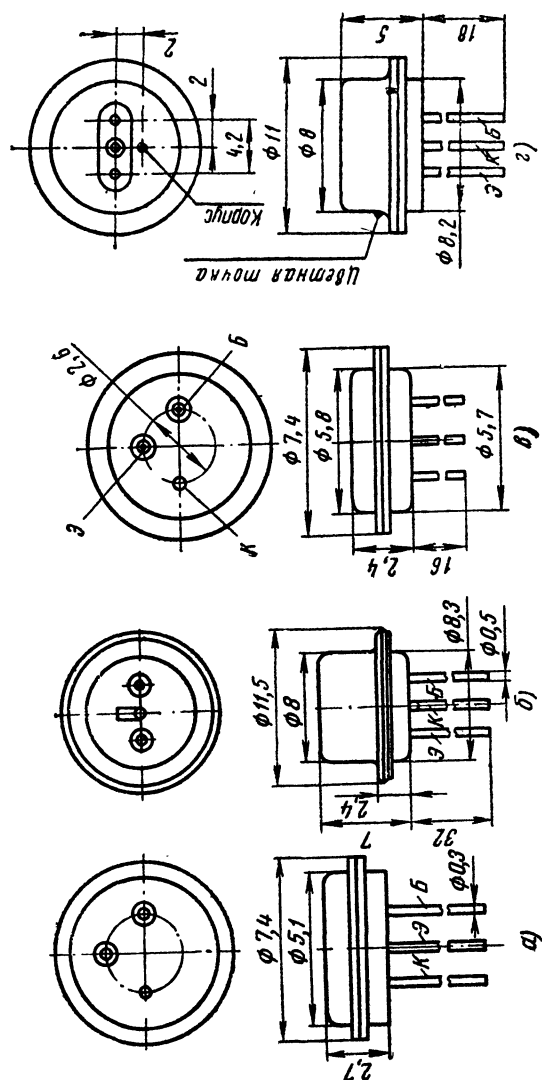


Рис. 51. Габаритные размеры транзисторов:

а — типов 2Г301—2Г301Ж, б — типов 1Г308А—1Г308Г, в — типа 1Г309А-В, е — типа 1Г309А-Е, з — типов 1Г311, 1Г313

Таблица 40

Параметры	Типы транзисторов							Напряжение $U_{к.в}$ на коллекторе
	2Т301	2Т301А	2Т301Б	2Т301В	2Т301Г	2Т301Д	2Т301Е	2Т301Ж
Предельная частота генерации f_a , Мгц	30	30	30	30	60	60	60	10
Коэффициент усиления по току β при токе $I_0 = 3$ ма, $f = 1$ кгц	20—60	40—120	10—32	20—60	10—32	20—60	40—120	10
Обратный ток коллектора $I_{к.о}$, мка	40	40	40	40	40	40	40	20
Обратный ток эмиттера $I_{э.о}$, мка, при $U_0 = 3$ в	50	50	50	50	50	50	50	50
Выходная проводимость h_{22} , мкмо	3	3	3	3	3	3	3	10
Емкость коллектора C_k , пф, при $f = 5$ Мгц	10	10	10	10	10	10	10	10
Параметры предельных режимов								
Ток эмиттера, ма	10	10	10	10	10	10	10	—
Ток базы, ма	10	10	10	10	10	10	10	—
Напряжение $U_{к-б}$, в	20	20	30	30	20	20	20	—
Напряжение $U_{к-э}$, в, при к.з. выходах эмиттера и базы	20	20	30	30	20	20	20	—
Обратное напряжение эмиттер — база, в	3	3	3	3	3	3	3	—
Мощность $P_{к.макс}$ рассеиваемая на коллекторе при 60°С, ват	150	150	150	150	150	150	150	—

Таблица 41

Параметры	Типы транзисторов				Напряжение на коллекторе $U_{К'}$, в
	1Т308А	1Т308Б	1Т308В	1Т308Г	
Частота генерации $f_{\text{макс}}$, МГц	90	120	120	120	—
Предельная частота усиления по току f_{α} при $I_{\text{э}}=5$ ма	150	150	200	200	5
Коэффициент уси- ления по току β при $I_{\text{к}}=10$ ма	25—75	50—120	80—150	100—300	1
Модуль коэффици- ента усиления по то- ку на $f=20$ МГц . . .	4,5	6	6	6	—
Обратный ток кол- лектора $I_{\text{к.о}}$, мка . .	0,1—2	0,1—2	0,1—2	0,1—2	5
Обратный ток эмит- тера $I_{\text{э.о}}$, мка, при $U_{\text{э-б}}=2$ и 3 в	0,01—50	0,01—50	0,01—50	0,01—50	—
Начальный ток кол- лектора $I_{\text{к.н}}$, мка, при $U_{\text{к-э}}=12$ в и $R_{\text{б.э}}=0$	0,6—50	0,6—50	0,6—50	0,6—50	—
Выходная проводи- мость h_{22} в схеме с ОЭ на $f=270$ гц, мкмо . .	30—180	50—130	80—200	80—200	5
Постоянная време- ни цепи обратной свя- зи на высокой частоте $r_{\text{б}}' C_{\text{к}}$, псек	500—400	500—400	100—500	100—500	—
Параметры предельных режимов*					
Ток коллектора, ма	50	50	50	50	—
Ток коллектора в импульсе, ма, при длительности импуль- са до 5 мсек	120	120	120	120	—
Напряжение $U_{\text{к-б}}$, в, при $I_{\text{э}}=0$	20	20	20	20	—
Импульсное напря- жение $U_{\text{к-б}}$, в, при $I_{\text{э}}=0$ и длительности импульса до 1 мсек . .	30	30	30	30	—

Продолжение табл. 41

Параметры	Типы транзисторов				Напряжение на коллекторе $U_{к'}$, в
	1Т308А	1Т308Б	1Т308В	1Т308Г	
Напряжение, $U_{к-э}$, в	—15	—15	—15	—15	—
Мощность $P_{к-макс}$, рассеиваемая на кол- лекторе, <i>мвт</i>	150	150	150	150	—
Мгновенная мощ- ность, рассеиваемая на коллекторе, <i>мвт</i> , при длительности им- пульса до 5 <i>мксек</i> . .	360	360	360	360	—

* При температуре окружающей среды от —60 до +40° С.

Германиевые диффузионные транзисторы 1Т308А—1Т308Г (*p—n—p*)

Предназначены для генерирования и усиления электрических колебаний высокой частоты и для работы в импульсных схемах. Конструктивно выполнены в металлическом герметичном корпусе со стеклянными изоляторами и гибкими выводами (рис. 51, б). Вес до 2 г. Диапазон рабочих температур от —60 до +70° С.

Электрические параметры для температуры 20° С приведены в табл. 41.

Германиевые диффузионные транзисторы ГТ309А-Е (*p—n—p*)

Предназначены для усиления и генерирования электрических сигналов в схемах миниатюрных радиоэлектронных устройств. Выполнены в металлическом герметичном корпусе со стеклянными изоляторами и гибкими выводами (рис. 51, в). Вес прибора 0,5 г. Срок службы свыше 5000 ч.

Основные электрические параметры при температуре 20° С приведены в табл. 42.

Таблица 42

Параметры	Типы транзисторов					
	ГТ309А	ГТ309Б	ГТ309В	ГТ309Г	ГТ309Д	ГТ309Е
Статический коэффициент усиления по току при $U_K = -5$ в, $I_3 = 1$ ма, $f = 50 - 1000$ гц	20—70	60—180	20—70	60—180	20—70	60—180
Модуль коэффициента усиления по току при $U_K = -5$ в, $I_3 = 5$ ма, $f = 20$ Мгц	6	6	4	4	2	2
Обратный ток коллектора $I_{K.0}$, мка, при $U_K = -5$ в, $I_3 = 0$	5	5	5	5	5	5
Выходная проводимость h_{22} , мкмо, при $U_K = -5$ в, $I_3 = 5$ ма, $f = 50 \div 1000$ гц	5	5	5	5	5	5
Емкость коллектора C_K , пф, при $U_K = -5$ в, $f = 5$ Мгц	10	10	10	10	10	10
Постоянная времени цепи обратной связи $r_6 C_K$, псек, при $U_K = -5$ в, $I_3 = 5$ ма, $f = 5$ Мгц	500	500	1000	1000	1000	1000
Входное сопротивление h_{11} , ом, при $U_K = -5$ в, $I_3 = 1$ ма, $f = 50 \div 1000$ гц	38	38	38	38	38	38
Коэффициент шума $F_{ш}$, дб, при $U_K = -5$ в, $I_3 = 1$ ма, $f = 1,5$ Мгц	—	6	—	6	—	—
Параметры предельных режимов						
Ток коллектора $I_{K.макс}$, ма	10	10	10	10	10	10
Напряжение $U_{K-э}$, в	10	10	10	10	10	10
Мощность $P_{K.макс}$, рассеиваемая на коллекторе, мвт	50	50	50	50	50	50
Температура перехода $T_{п.макс}$, °С	70	70	70	70	70	70

Примечание. В интервале температур от $+20^\circ$ до $+55^\circ$ С допустимая мощность снижается на 5 мвт на каждые 10° С.

Германиевые транзисторы ГТЗ11А-Д ($n-p-n$)

Предназначены для усиления электрических сигналов и предварительных каскадах видеоусилителей телевизионных приемников на полупроводниковых приборах и другой аппаратуре широкого применения.

Габаритные размеры и цоколевка этих транзисторов приведены на рис. 51, г, а их электрические параметры при температуре окружающей среды 20°C в табл. 43.

Т а б л и ц а 43

Параметры	Типы транзисторов				
	ГТЗ11А	ГТЗ11Б	ГТЗ11В	ГТЗ11Г	ГТЗ11Д
Статический коэффициент усиления по току β при $U_k = -3\text{ в}$, $I_3 = 15\text{ ма}$, частоте повторения $f_p = 50\text{ гц}$ и скважности импульсов $Q = 10 \div 100$	15—180	30—180	15—50	30—80	60—180
Модуль коэффициента усиления по току при $U_k = -5\text{ в}$, $I_3 = 5\text{ ма}$, $f = 100\text{ Мгц}$	3—10	3—10	4,5—10	4,5—10	6—10
Обратный ток коллектора $I_{к.о.}$, мка , при $U_k = -2\text{ в}$	5	5	5	5	5
Обратный ток эмиттера $I_{э.о.}$, мка , при $U_3 = -2\text{ в}$	10	10	10	10	10
Напряжение $U_{б-э}$, в , в режиме насыщения при $I_k = 15\text{ ма}$, $I_3 = 1,5\text{ ма}$	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Напряжение $U_{к-э}$, в , в режиме насыщения при $I_k = 15\text{ ма}$, $I_3 = 1,5\text{ ма}$	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Емкость коллектора C_k , пф , при $U_3 = -5\text{ в}$, $f = 10\text{ Мгц}$	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Емкость эмиттера C_3 , пф , при $U_3 = -2\text{ в}$, $f = 10\text{ Мгц}$	50	105	75	75	75

Продолжение табл. 43

Параметры	Типы транзисторов				
	ГТЗ11А	ГТЗ11Б	ГТЗ11В	ГТЗ11Г	ГТЗ11Д
Постоянная времени цепи обратной связи $r'_0 C_K$, <i>нсек</i> , при $U_K = -5$ в, $I_3 = 5$ ма .	50	100	75	75	75
Время рассасывания $\tau_{\text{расс}}$, <i>нсек</i> , при $I_K = 20$ ма, $I_3 = 2$ ма .	50	50	50	50	50
Параметры предельных режимов					
Напряжение U_{K-6} , в	12	12	12	12	12
Импульсное напряжение U_{K-6} , в, при $\tau_n \leq 1$ мксек и коэффициенте заполнения до 0,1	25	25	25	25	25
Напряжение U_{K-3} , в, при $R_{\text{вн.6}}/R_{\text{вн.3}} = 10$	12	12	12	12	12
Напряжение U_3-6 , в	2	2	2	2	2
Мощность $P_{K-\text{макс}}$, рассеиваемая на коллекторе, <i>ват</i>	150	150	150	150	150

Германиевые транзисторы ГТЗ13А и ГТЗ13Б (р—п—р)

Предназначены для усиления колебаний высокой частоты в блоках ПТК (переключателях телевизионных каналов) и усилителях промежуточной частоты УПЧ телевизионных и радиовещательных приемников на полупроводниковых приборах, а также в другой аппаратуре широкого применения. Обладают большим коэффициентом усиления на высоких частотах, малым уровнем собственных шумов, небольшой емкостью коллекторного перехода и высокой предельной рабочей частотой.

Габаритные размеры и цоколевка приведены на рис. 51, з, а электрические параметры при температуре окружающей среды 20° С — в табл. 44.

Т а б л и ц а 44

Параметры	Типы транзисторов	
	ГТЗ13А	ГТЗ13Б
Статический коэффициент усиления по току β при $U_K = -5$ в, $I_3 = 5$ ма, $f = 50 \div 1000$ гц	20—250	20—250
Модуль коэффициента усиления по току при $U_K = -5$ в, $I_3 = 5$ ма, $f = 10$ Мгц	3—10	4,5—10
Обратный ток коллектора $I_{K.0}$, мка, при $U_K = -12$ в	3	3
Обратный ток эмиттера $I_{Э.0}$, мка, при $U_3 = -0,25$ в	10	10
Емкость коллектора C_K , пф, при $U_K = -5$ в, $f = 5$ Мгц	2,5	2
Емкость эмиттера C_3 , пф, при $U_3 = -0,25$ в, $f = 5$ Мгц	14	14
Постоянная времени цепи обратной связи $r'_6 C_K$, нсек, при $U_K = -5$ в, $I_3 = 5$ ма, $f = 5$ Мгц	30—100	40
Коэффициент шума $F_{ш}$, дб, на $f = 180$ Мгц (определяется расчетным путем при $I_3 = 5$ ма, $R_0^* = 75$ ом)	$F_{ш} \approx 1 + \frac{r'_6 C_K}{25 C_K} + \frac{8}{\beta^{**}} \left(1 + \frac{r'_6 C_K}{25 C_K} \right)^2$	
Параметры предельных режимов		
Ток коллектора $I_{K.макс}$, ма	10	10
Напряжение U_{K-3} , в, при сопротивлении в цепи эмиттера 500 ом	—12	—12
Мощность $P_{K.макс}$, рассеиваемая на коллекторе, мвт:		
при 25° С	100	100
при 55° С	50	50

* R_0 — сопротивление источника сигнала.

** β — коэффициент усиления по току на частоте 270 гц.

Кремниевые плаинрно-эпитаксиальные транзисторы КТЗ15А-Г (*n-p-n*)

Предназначены для усиления электрических сигналов высокой частоты различных радиоэлектронных устройств. Конструктивно

оформлены в пластмассовом корпусе, габаритные размеры показаны на рис. 52, а.

Электрические параметры транзисторов при температуре 20° С приведены в табл. 45.

Т а б л и ц а 45

Параметры	Типы транзисторов			
	КТ315А	КТ315Б	КТ315В	КТ315Г
Статический коэффициент усиления по току β при $U_K=10$ в, $I_Э=5$ ма	20—90	70—350	20—90	70—350
Модуль коэффициента усиления по току при $U_K=10$ в, $I_Э=5$ ма, $f=100$ Мгц	2,5	2,5	2,5	2,5
Обратный ток эмиттера $I_{Э.О.}$, ма, при $U_Э=5$ в	30	30	30	30
Начальный ток коллектора $I_{К.Н.}$, ма, при $R_{Э-Б}=10$ ком и U_K , в:				
25	1			
20		1		
40			1	
35				1
Емкость коллектора C_K , пф, при $U_K=10$ в	3—7	3—7	3—7	3—7
Напряжение $U_{Б-Э}$ в режиме насыщения, в, при $I_K=100$ ма, $I_Б=10$ ма	1,1	1,1	1,1	1,1
Напряжение $U_{К-Э}$ в режиме насыщения, в, при $I_K=100$ ма, $I_Б=10$ ма	0,5	0,5	0,5	0,5
Постоянная времени цепи коллектора $\tau'_Б C_K$, нсек, при $I_Э=5$ ма, $U_K=10$ в	300	500	500	500
Параметры предельных режимов				
Ток коллектора $I_{К.макс}$, ма	100	100	100	100
Напряжение $U_{К-Э}$, в, при $R_{Э-Б}=10$ ком, $I_{К.Н}=1$ ма	25	20	40	35
Мощность $P_{К.макс}$, рассеиваемая коллектором, мвт	150	150	150	150
Допустимая температура перехода $T_{К.п.макс}$, °С	120	120	120	120

П р и м е ч а н и е. При температуре среды t° больше 25° С допустимая мощность рассеяния определяется по формуле

$$P'_{К.макс} = \frac{T_{К.п.макс} - t^\circ}{0,67}, \text{ мвт}$$

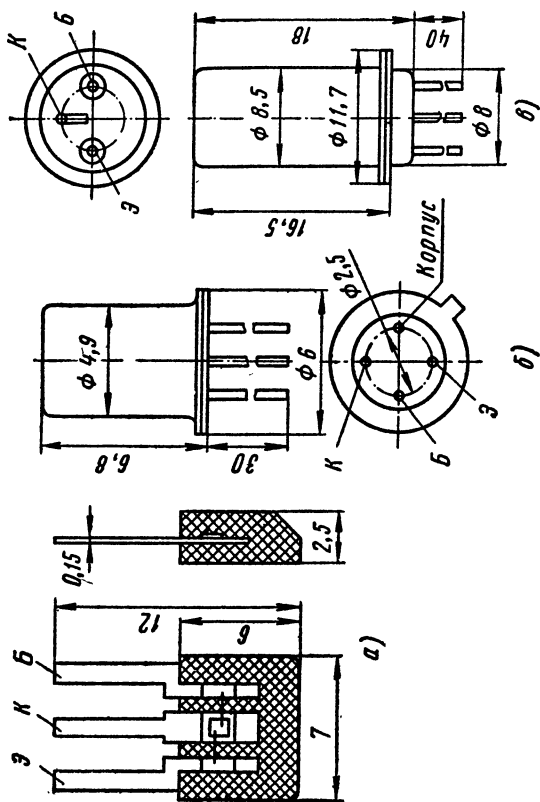


Рис. 52. Габаритные размеры транзисторов:

а — типа КТ315А-Г, б — типа ГТ322А-Е, в — типа ГТ402А и ГТ402Б

Германиевые высокочастотные транзисторы ГТ320А-В (р-п-р)

Предназначены для генерирования, усиления и преобразования электрических сигналов высокой частоты в радиоэлектронных устройствах широкого применения и для работы в импульсных схемах. Конструктивно выполнены в металлическом герметичном корпусе со стеклянными изоляторами и гибкими выводами. Вес до 2,2 г. Интервал рабочих температур от -55 до $+70^\circ\text{C}$. При механических ускорениях более 2 г транзисторы крепят за корпус.

Габаритные размеры и цоколевка транзисторов приведены на рис. 51, б, а их электрические параметры при температуре окружающей среды 20°C — в табл. 46.

Таблица 46

Параметры	Типы транзисторов		
	ГТ320А	ГТ320Б	ГТ320В
Предельная частота усиления по току f_α , МГц	130	200	260
Статический коэффициент усиления по току β :			
при $U_K = -1$ в, $I_\Sigma = 10$ ма, $f_n = 50$ гц, $Q = 5 \div 100$	20—80	50—120	80—250
при $U_K = -3$ в, $I_\Sigma = 200$ ма, $f_n = 50$ гц, $Q = 5 \div 100$	20	40	60
Модуль коэффициента усиления по току при $U_K = -5$ в, $I_\Sigma = 10$ ма, $f = 20$ МГц	>4	>60	>8
Обратный ток коллектора $I_{K.0}$, мка:			
при $U_K = -5$ в	2	2	2
при $U_K = -20$ в	10	10	10
Обратный ток эмиттера $I_{\Sigma.0}$, мка, при $U_\Sigma = 2$ в	100	100	100
Напряжение $U_{б-э}$, в, в режиме насыщения при $I_K = 10$ ма, $I_6 = 1$ ма	0,5	0,5	0,5
Напряжение $U_{к-э}$, в, в режиме насыщения при $I_K = 200$ ма, $I_6 = 20$ ма	2	2	2
Емкость коллектора C_K , пф, при $U_K = -5$ в, $f = 5$ МГц	8	8	8
Емкость эмиттера C_Σ , пф, при $U_\Sigma = -2$ в, $f = 5$ МГц	25	25	25
Постоянная времени цепи обратной связи $r'_b C_K$, нсек, при $U_K = -5$ в, $I_\Sigma = 5$ ма	500	500	600
Время рассасывания τ_p , нсек, при $I_K = 10$ ма, $I_6 = 1$ ма	400	500	600

Продолжение табл. 46

Параметры	Типы транзисторов		
	ГТ320А	ГТ320Б	ГТ320В
Параметры предельных режимов			
Ток коллектора $I_{к, макс}$, ма	150	150	150
Ток коллектора в импульсе, ма . .	300	300	300
Напряжение $U_{к-э}$ при коротко-			
замкнутых выводах эмиттер — ба-			
за, в	—15	—15	—15
То же, в импульсе при $\tau_n = 1$ мксек,			
в	—25	—25	—25
Напряжение $U_{к-э}$ при запертом			
эмиттере, в	—20	—20	—20
Напряжение $U_{к-э}$, в, при сопротив-			
лении в цепи базы до 1 ком	—12	—11	—9
Напряжение $U_{к-б}$, в	—20	—20	—20
Обратное напряжение $U_{э-б}$, в . . .	3	3	3
Мощность $P_{к, макс}$, рассеиваемая на			
коллекторе, мвт	200	200	200
Мощность в импульсе, вт, $\tau_n =$			
$= 5$ мксек	1	1	1

Германиевые транзисторы ГТ322А-Е (p—n—p)

Предназначены для усиления и генерирования электрических сигналов высокой частоты в радиоэлектронной аппаратуре широкого применения.

Габаритные размеры и цоколевка приведены на рис. 52, б, а электрические параметры при температуре 20° С — в табл. 47.

§ 27. Справочные данные транзисторов средней и большой мощности

Германиевые сплавные низкочастотные транзисторы средней мощности ГТ402А и ГТ402Б (p—n—p)

Предназначены для работы в выходных каскадах УНЧ приемников и другой радиоаппаратуры широкого применения. Транзисторы выполнены с удлиненным корпусом, что облегчает их крепление в монтажных платах с вертикальным расположением деталей.

Таблица 47

Параметры	Типы транзисторов		
	ГТ322А и ГТ322Б	ГТ322В и ГТ322Г	ГТ322Д и ГТ322Е
Статический коэффициент усиления по току β при $U_K = -5$ в, $I_3 = 1$ ма	20—70*/50—120	20—70/50—120	20—70/50—120
Модуль коэффициента усиления по току при $U_K = -5$ в, $I_3 = 1$ ма, $f = 20$ Мгц	4	2,5	2,5
Обратный ток коллектора I_{K0} , мка, при $U_K = -10$ в	4	4	4
Входное сопротивление h_{11} при $U_K = -5$ в, $I_3 = 1$ ма, $f = 50$ —1000 гц	34	34	34
Выходная проводимость h_{22} , мкмо, при $U_K = -5$ в, $I_3 = 1$ ма, $f = 50$ —1000 гц	1	1	1
Емкость коллектора C_K , пф, при $U_K = -5$ в, $f = 10$ Мгц	1,8	2,5	1,8
Коэффициент шума $F_{ш}$, дб, при $U_K = -5$ в, $I_3 = 1$ ма, $f = 1,6$ Мгц	4	4	4
Параметры предельных режимов			
Ток коллектора, ма	5	5	5
Напряжение U_{K-6} , в	15	15	15
Напряжение U_{K-3} , в, при $R_{3-6} = 10$ ком	15	15	15
Мощность $P_{K-макс}$, рассеиваемая коллектором, мвт	50	50	50
Температура перехода $T_{K-п-макс}$, °С	62/59	62/59	62/59

* В числителе — параметры для транзисторов ГТ322А, ГТ322В, ГТ322Д, в знаменателе — для ГТ322Б, ГТ322Г, ГТ322Е.

Габаритные размеры и цоколевка транзисторов приведены на рис. 52, в, а их электрические параметры при температуре 20°С — в табл. 48.

Т а б л и ц а 48

Параметры	Типы транзисторов	
	ГТ402А	ГТ402Б
Коэффициент усиления по току β при $U_K = -1$ в, $I_K = 3$ ма	30—80	60—150
Предельная частота усиления по току f_α в схеме с ОЭ, кГц, при $U_K = -1$ в, $I_K = 3$ ма	≥ 15	≥ 15
Обратный ток коллектора $I_{K.о}$, мка, при $U_K = -10$ в	25	25
Напряжение $U_{э-б}$, в, при разомкнутом коллекторе и $I_5 = 2$ ма	$\leq 0,42$	$\leq 0,42$
Параметры предельных режимов		
Ток коллектора, а	0,5	0,5
Напряжение $U_{К-э}$, в, при $R_{э-б} \leq 20$ ом	25	25
Мощность $P_{к.макс}$, мвт, рассеиваемая коллектором	600	600
Допустимая температура перехода t_p , °С	85	85
Диапазон рабочих температур t , °С	-25 ÷ +55	-25 ÷ +55

Примечание. При температуре окружающей среды t° выше 25°С мощность, рассеиваемая транзистором, определяется по формуле

$$P_{к. макс} = \frac{85^\circ - t^\circ}{R_T}, \text{ мвт}$$

(тепловое сопротивление переход—корпус R_T при работе без радиатора принимают 0,1°С/мвт).

Германиевые сплавные низкочастотные транзисторы большой мощности П4А-Г (p—n—p)

Предназначены для усиления мощности колебаний электрических сигналов звуковых частот, а также для преобразования постоянных напряжений и работы в схемах переключения и стабилизации. Конструктивно выполнены в металлическом герметичном корпусе со стеклянными изоляторами и гибкими выводами (рис. 53, а). Вес до 14,5 г. Диапазон рабочих температур от -60 до +70°С. Срок службы не менее 5000 ч.

Электрические параметры транзисторов для температуры 20°С приведены в табл. 49.

Таблица 49

Параметры	Типы транзисторов				Режим измерения					
	П4А	П4Б	П4В	П4Г	ток коллектора I_K , а	напряжение на коллекторе U_K , в	мощность P , вт	частота f , кГц	сопротивление нагрузки R_H , ом	сопротивление генератора R_G , ом
Коэффициент усиления по току β . . .	5	15—40	10	15—30	2	—10	—	1	5	5
Коэффициент усиления по мощности K_p , дБ	20	23	—	27	1	—26	10	1	25	15
Коэффициент нелинейных искажений, %	15	10	—	10	1	—26	10	1	25	15
Обратный ток коллектора $I_{K.O}$, мка . .	500	400	400	400	—	—10	—	—	—	—
Напряжение $U_{K-э}$, в, в режиме насыщения при $I_6 = 300$ ма	—	0,5	0,5	0,5	2	—	—	—	—	—
Параметры предельных режимов										
Ток коллектора, а	5	5	5	5	—	—	—	—	—	—
Ток базы, а	1,2	1,2	1,2	1,2	—	—	—	—	—	—
Напряжение U_K , в, в схеме с										
ОБ	60	70	40	60	—	—	—	—	—	—
ОЭ	50	60	35	50	—	—	—	—	—	—
ОК	40	50	25	40	—	—	—	—	—	—
Мощность $P_{K-макс}$, рассеиваемая на коллекторе, вт	2	3	3	3	—	—	—	—	—	—
Мощность, рассеиваемая с дополнительным теплоотводом при температуре корпуса 40° С, вт	25	25	25	25	—	—	—	—	—	—

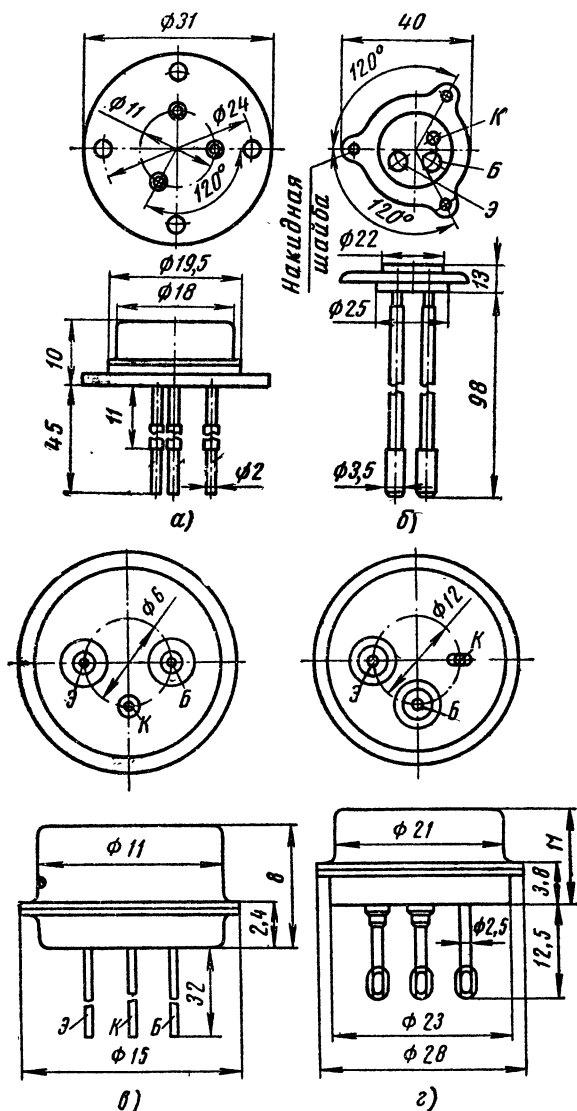


Рис. 53. Габаритные размеры транзисторов:

а — типов П4А-Г, б — типов П209—П210, ГТ701А, в — типа КТ801А и КТ801В,
г — КТ802А

Таблица 50

Параметры	Типы транзисторов				Режим измерения	
	П209	П209А	П210	П210А	напряжение на коллекторе U_K , в	ток коллектора I_K , а
Коэффициент усиления по току β	15	15	15	15	2	5
Крутизна характеристики $S_{ст}$, а/в	5,5—10	9	5,5—10	9	2	5
Начальный ток коллектора $I_{К.н}$, ма	5	5	—	—	40	—
Обратный ток коллектора $I_{К.о}$, ма	—	—	8	8	60	—
	8	8	12	12	65	—
Параметры предельных режимов						
Ток коллектора, а	12	12	12	12	—	—
Ток базы, а	0,3	0,3	0,3	0,3	—	—
Напряжение $U_{К-б}$ при разомкнутом эмиттере, в	45	45	65	65	—	—
Напряжение $U_{К-э}$ при коротком замыкании эмиттера с базой, в	40	40	60	60	—	—
Мощность, вт, рассеиваемая при температуре корпуса до 25°С	60	60	60	60	—	—
Мощность, рассеиваемая при температуре окружающей среды до 25°С без дополнительного радиатора, вт	1,5	1,5	1,5	1,5	—	—

Германиевые сплавные низкочастотные транзисторы большой мощности П209—П210 ($p-n-p$)

Предназначены для усиления мощности электрических сигналов низкой частоты и для работы в режиме переключения. Конструктивно выполнены в металлическом герметичном корпусе со стеклянными изоляторами и гибкими выводами с наконечниками (рис. 53, б). Вес до 37 г. Диапазон рабочих температур от -60 до $+70^\circ\text{C}$.

Электрические параметры для температур 20°C приведены в табл. 50.

Германиевые низкочастотные транзисторы большой мощности ГТ701А ($p-n-p$)

Предназначены для усиления мощности электрических сигналов низких частот различных электронных устройств широкого применения. Выполнены в металлическом герметичном корпусе со стеклянными изоляторами и гибкими выводами.

Т а б л и ц а 51

Параметры	Транзистор ГТ701А
Статический коэффициент усиления по току β при $U_K = -2$ в, $I_K = 5$ а, не менее	10
Предельная частота коэффициента усиления по току f_α , кгц, при $U_K = -20$ в, $I_K = 0,1$ а, не менее	50
Напряжение $U_{K-э}$ макс. доц.	100
Обратный ток коллектора $I_{K.о.}$, ма, при $U_K = -60$ в, не более	5
Параметры предельных режимов	
Ток коллектора (в режимах постоянного тока и переключения) I_K , а	12
Ток базы в режиме рассасывания, ма	150
Напряжение запертого транзистора $U_{K-э}$, в, Импульсное напряжение $U_{K-э}$, в, при запирающем напряжении $U_{б-э} = -0,5$ в, $\tau_n = 10^{-8}$ сек, $Q = 10$	55
Запирающее напряжение $U_{б-э}$, в	100
Обратное напряжение $U_{б-э}$, в	0,5—15
Мощность P_K , рассеиваемая транзистором, вт: при температуре корпуса 25°C	15
» » » 55°C	50
Температура перехода, $^\circ\text{C}$	25
Диапазон рабочих температур	85
	От -60 до $+75^\circ\text{C}$

Габаритные размеры и цоколевка транзистора приведены на рис 53,б, а электрические параметры при температуре среды 20°С — в табл. 51.

**Кремниевые диффузионные среднечастотные транзисторы
большой мощности КТ801А и КТ801Б (n-p-n)**

Предназначены для работы в схемах кадровой развертки и предоконечных каскадах строчной развертки телевизионных приемников, а также в преобразователях и импульсных схемах других радиоэлектронных устройств. Диапазон рабочих температур от —20 до +55°С.

Габаритные размеры и цоколевка транзисторов приведены на рис. 53,в, а их электрические параметры при температуре среды 20°С — в табл. 52.

Таблица 52

Параметры	Типы транзисторов	
	КТ801А	КТ801Б
Статический коэффициент усиления по току β при $U_K=5$ в, $I_K=1$ а в схеме с ОЭ	13—50	20—100
Предельная частота усиления по току f_a при $I_K=0,3$ а, $U_K=10$ в, МГц	10	10
Модуль коэффициента усиления по току при $U_K=10$ в, $I_K=0,3$ а, $f=10$ МГц, не менее	1	1
Обратный ток эмиттера $I_{э.о}$, ма	2	2
Начальный ток коллектора $I_{к.н}$, ма, при $U_K=80$ в, не более	10	10
Напряжение $U_{к-э}$, в, в режиме насыщения при $I_K=1$ а, $I_б=0,2$ а, не более	2	2
Входное напряжение, в, при $I_K=1$ а, $U_K=5$ в, не более	2	2
Параметры предельных режимов		
Ток коллектора I_K , а	2	2
Ток базы, $I_б$, а	0,4	0,4
Напряжение $U_{к-э}$, в, при $R_б=100$ ом	80	60
Напряжение $U_{э-б}$, в	2,5	2,5
Мощность $P_{к.макс}$, вт, рассеиваемая на коллекторе при температуре корпуса 55°С	5	5
Тепловое сопротивление переход—корпус $R_{т, °C/вт}$	2	2

Кремниевые среднечастотные транзисторы КТ802А $n-p-n$)

Предназначены для работы в выходных каскадах строчной развертки телевизионных приемников, а также в преобразователях, генераторах и других схемах радиоэлектронной аппаратуры широкого применения.

Габаритные размеры и цоколевка транзисторов приведены на рис. 53, а, электрические параметры при температуре среды 20°C — в табл. 53.

Т а б л и ц а 53

Параметры	Транзистор КТ802А
Статический коэффициент усиления по току β при $U_K=10\text{ в}$, $I_K=2\text{ а}$	15
Модуль коэффициента усиления по току на частоте 10 Мгц при $U_K=10\text{ в}$, $I_K=0,5\text{ а}$	1
Обратный ток коллектора I_{K-0} , ма, при $U_K=150\text{ в}$	60
Напряжение U_{K-3} , в, в режиме насыщения при $I_K=5\text{ а}$, $I_6=0,5\text{ а}$	5
Входное напряжение, в, при $U_K=10\text{ в}$, $I_K=5\text{ а}$	3
Сопротивление насыщения $R_{\text{нас}}$, ом	1
Параметры предельных режимов	
Ток коллектора, а	5
Ток базы, а	1
Обратное напряжение U_{3-6} , в	3
Напряжение U_{K-6} (при отключенном эмиттере), в	150
Импульсное напряжение U_{K-3} , в, при сопротивлении в цепи базы $R_{6-3}=0$	130
Мощность $P_{K-\text{макс}}$, вт, рассеиваемая на коллекторе при температуре 25°C	50
Предельная температура перехода $T_{K-п-\text{макс}}$, $^\circ\text{C}$	150
Тепловое сопротивление R_T , $^\circ\text{C}$	2,5

П р и м е ч а н и е. Температуру перехода можно определить по формуле $T_{\text{п}} = P_K R_T + t_{\text{кор}}$,

где P_K — мощность рассеяния коллектора,

$t_{\text{кор}}$ — температура корпуса.

В диапазоне температур $100-150^\circ\text{C}$ напряжение U_{K-6} при $t=100^\circ\text{C}$, равное 150 в, снижают на 10% на каждые 10°C .

Допустимую мощность $P_{K-\text{макс}}$ с увеличением температуры корпуса $t_{\text{кор}}$ от 25°C до 100°C снижают.

$$P_{K-\text{доп}} = \frac{150 - t_{\text{кор}}}{R_T} \text{ вт.}$$

где $R_T = 2,5^\circ\text{C/вт}$.

Глава VI. РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

§ 28. Проводники

В качестве проводников применяют металлы и их сплавы, в некоторых случаях уголь, графит.

Медь. Удельный вес 8,9, температура плавления 1083° С. В электротехнике применяют особо чистую медь М-1, получаемую путем электролиза.

Латунь — сплав меди, цинка и небольшой доли свинца. Марка латуни показывает процентное содержание меди (Л-62 — содержание меди 62%). Латунь мягче, чем медь, и легче обрабатывается. Гартованная латунь обладает большой упругостью и используется для изготовления пружинящих контактов.

Бронза — твердый сплав меди, олова, марганца и других материалов. Содержит больше меди, чем латунь.

Алюминий — мягкий и легкий металл, удельный вес 2,7, температура плавления 660° С. Сплавы алюминия — дюралюминий и силумин — более твердые.

Специальные сплавы, имеющие высокое удельное сопротивление (высокоомные сплавы), рассмотрены ниже.

Сопротивление проводника. Сопротивление проводника определяют по формуле

$$r = \rho \frac{l}{s},$$

где r — сопротивление проводника, ом ;
 ρ — удельное сопротивление, $\text{ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$;
 l — длина провода, м ;
 s — поперечное сечение провода, мм^2 .

Удельное сопротивление проводника представляет собой сопротивление провода длиной 1 м и площадью поперечного сечения 1 мм^2 при температуре 20° С.

При изменении температуры сопротивление проводника изменяется следующим образом:

$$r_{t_2} = r_{t_1} [1 + \alpha (t_2 - t_1)],$$

где r_{t_2} и r_{t_1} — сопротивления проводника при температурах t_2 и t_1 ;
 α — температурный коэффициент сопротивления.

Удельное сопротивление и температурный коэффициент сопротивления некоторых материалов приведены в табл. 54.

Таблица 54

Удельное сопротивление и температурный коэффициент сопротивления некоторых материалов (средние значения)

Материал	Удельное сопротивление ом·мм ² /м	Температурный коэффициент сопротивления, α
Алюминий	0,0283	0,0049
Вольфрам	0,0551	0,0045
Латунь	0,075	0,002—0,007
Медь	0,0175	0,00393
Никель	0,1	0,005
Олово	0,115	0,0042
Ртуть	0,958	0,00089
Свинец	0,221	0,0041
Серебро	0,0163	0,00381
Сталь	0,098	0,0062
Уголь (графит)	0,033—1,85	0,0036—0,0012
Цинк	0,059	0,0035

Допустимая величина тока. Каждый проводник может пропускать, не перегреваясь, ток, величина которого не больше допустимой. Эта величина характеризуется *плотностью тока*, т. е. током, приходящимся на 1 мм² площади поперечного сечения:

$$\delta = \frac{I}{s},$$

где δ — плотность тока, а/мм²;

I — ток, а;

s — площадь поперечного сечения проводника, мм².

Допустимая плотность тока зависит от материала проводника и условий, в которых он находится. Для медного неизолированного провода, проложенного на открытом воздухе, допустимая плотность тока 8—10 а/мм²; для изолированного и проложенного внутри помещения 4—5 а/мм²; для обмоток электрических машин 3—6 а/мм²; для обмоток дросселей и трансформаторов 2—3 а/мм².

Если плотность тока будет превышать допустимую, то провод перегреется, начнет обугливаться и гореть изоляция, провод может расплавиться.

Ток плавления проводов. Для провода, применяющегося в плавких предохранителях, можно рассчитывать ток плавления по формулам.

Для тонких проводов ($d=0,02-0,2$ мм)

$$I_{\text{пл}} = \frac{d - 0,005}{k},$$

где d — диаметр провода, мм;

k — коэффициент, зависящий от материала провода.

Для более толстых проводов

$$I_{\text{пл}} = m \sqrt{d^3},$$

где m — коэффициент, зависящий от материала провода.

Значения коэффициентов k и m приведены в табл. 55.

Т а б л и ц а 55

Значения коэффициентов k и m для некоторых материалов

Материал	Коэффициенты	
	k	m
Алюминий	—	59,2
Железо	0,127	24,6
Константан	0,07	—
Медь	0,034	80
Никелин	0,06	40,8
Олово	—	12,8

Ток плавления медного провода зависит от его диаметра:

Диаметр провода, мм	0,05	0,08	0,11	0,15	0,23	0,25
Ток плавления, а	1,3	2,2	3	4,5	7	10

Обмоточные медные провода применяют для обмоток катушек, дросселей и трансформаторов. Марка провода характеризует его изоляцию. Например, ПЭЛШО — провод с эмалевой лаковой изоляцией с одним слоем шелковой обмотки (табл. 56 и 57).

Ток высокой частоты проходит только по поверхности провода (явление поверхностного эффекта). Поэтому для намотки высокочастотных катушек применяют провод, состоящий из большого числа отдельных жилок с эмалевой изоляцией (литцендрат). Общая поверхность всех жилок больше, чем у сплошного провода, а активное сопротивление для токов высокой частоты меньше. Следовательно, меньше и потери энергии в катушке.

Промышленность выпускает литцендрат ЛЭШО и ЛЭШД — литцендрат эмалированный в одинарной или двойной общей обмотке шелком (табл. 58).

Т а б л и ц а 56

Медные обмоточные провода

Марка	Характеристика изоляции	Диаметр провода, мм
ПЭЛ	Эмалевая лакостойкая	0,02—2,44
ПЭВ-1; ПЭВ-2	Эмалевая с одинарным и двойным винифлексовым покрытием	0,06—2,44
ПЭЛБО	Эмалевая лакостойкая с одним слоем хлопчатобумажной обмотки	0,2—2,1
ПЭЛБД	Эмалевая лакостойкая с двумя слоями хлопчатобумажной обмотки	0,72—2,1
ПЭЛШО	Эмалевая лакостойкая с одним слоем шелковой обмотки	0,05—2,1
ПЭЛШД	Эмалевая лакостойкая с двумя слоями шелковой обмотки	0,86
ПЭЛШКО	Эмалевая лакостойкая с одним слоем обмотки из шелка капрон	0,05—2,1
ПЭЛШКД	Эмалевая лакостойкая с двумя слоями обмотки из шелка капрон	0,86
ПЭЛБВ	Эмалевая лакостойкая с обмоткой из длинноволокнистой бумаги	0,51—1,45
ПБО	Один слой хлопчатобумажной обмотки	0,2—2,1
ПБД	Два слоя хлопчатобумажной обмотки	0,2—5,2

Монтажные провода (табл. 59) используют для соединения между собой отдельных деталей схемы. Монтажный провод может быть жестким одножильным (диаметром 0,3—1,8 мм) и гибким многожильным (состоящим из нескольких проводов диаметром 0,07—0,3 мм).

Гибкие монтажные провода имеют тонкий слой волокнистой или эмалево-волокнистой изоляции. Провода большого сечения выполняют с пластмассовой (полихлорвиниловой) или резиновой изоляцией. Такая изоляция имеет повышенную электрическую прочность и влагостойкость.

Провода, изолированные натуральным шелком и покрытые полихлорвиниловой изоляцией, имеют повышенное сопротивление изоляции и повышенную влагостойкость.

Высокоомные сплавы. Для изготовления точных сопротивлений к измерительным приборам, реостатов, остеклованных сопротивлений и элементов нагревательных приборов применяются сплавы металлов, имеющие большое удельное сопротивление.

Манганин (86% меди, 12% марганца и 2% никеля) имеет очень малый температурный коэффициент, используется для изготовления сопротивлений измерительных приборов. Рабочая температура сопротивлений из манганина не должна быть выше 100°С.

Основные данные

Диаметр без изоляции, мм	Сечение меди, мм ²	Сопротивление 1 м при 20° С, Ом	Допустимая нагрузка при плотности тока 2 а/мм ² , а	ПЭЛ	
				диаметр с изоляцией, мм	вес 100 м с изоляцией, г
0,05	0,002	9,29	0,004	0,06	1,8
0,06	0,0028	6,44	0,0057	0,07	2,6
0,07	0,0039	4,73	0,0077	0,08	3,5
0,08	0,005	3,63	0,0101	0,09	4,6
0,09	0,0064	2,86	0,0127	0,1	5,8
0,1	0,0079	2,23	0,0157	0,115	7,3
0,11	0,0095	1,85	0,019	0,125	8,8
0,12	0,0113	1,55	0,0226	0,135	10,4
0,13	0,0133	1,32	0,0266	0,145	12,1
0,14	0,0154	1,14	0,0308	0,155	14
0,15	0,0177	0,99	0,0354	0,165	15,2
0,16	0,0201	0,873	0,0402	0,175	18,3
0,17	0,0227	0,773	0,0454	0,185	20,6
0,18	0,0255	0,688	0,051	0,195	23,1
0,19	0,0284	0,618	0,0568	0,205	25,8
0,2	0,0314	0,558	0,0628	0,215	28,5
0,21	0,0346	0,507	0,0692	0,23	31,6
0,23	0,0416	0,423	0,0832	0,25	37,8
0,25	0,0491	0,357	0,0982	0,27	44,5
0,27	0,0573	0,306	0,115	0,295	52,1
0,29	0,0661	0,266	0,132	0,315	60,1
0,31	0,0755	0,233	0,151	0,34	68,8
0,33	0,0855	0,205	0,171	0,36	77,8
0,35	0,0962	0,182	0,192	0,38	87,4
0,38	0,1134	0,155	0,226	0,41	103
0,41	0,132	0,133	0,264	0,44	120

Таблица 57

обмоточных проводов

Марка провода

ПЭЛШО		ПЭЛБО		ПБО		ПБД	
диаметр с изоля- цией, мм	вес 100 м с изоля- цией, г	диаметр с изоля- цией, мм	вес 100 м с изоля- цией, г	диаметр с изоля- цией, мм	вес 100 м с изоля- цией, г	диаметр с изоля- цией, мм	вес 100 м с изоля- цией, г
0,11	2,56	—	—	—	—	—	—
0,12	3,4	—	—	—	—	—	—
0,13	4,55	—	—	—	—	—	—
0,14	5,7	—	—	—	—	—	—
0,15	7,02	—	—	—	—	—	—
0,165	8,9	—	—	—	—	—	—
0,175	10,5	—	—	—	—	—	—
0,185	12,3	—	—	—	—	—	—
0,195	14,1	—	—	—	—	—	—
0,205	16,1	—	—	—	—	—	—
0,215	18,4	—	—	—	—	—	—
0,225	20,6	—	—	—	—	—	—
0,235	23	—	—	—	—	—	—
0,245	25,6	—	—	—	—	—	—
0,255	28,4	—	—	—	—	—	—
0,28	31,2	0,31	32,8	0,29	31,8	0,37	35,6
0,29	34,6	0,32	36,1	0,3	34,9	0,38	38,9
0,31	41	0,34	42,7	0,32	41,3	0,4	45,6
0,33	48	0,36	49,8	0,34	48,3	0,42	52,9
0,355	56	0,405	59,3	0,38	57,2	0,47	63,4
0,375	64,1	0,425	67,6	0,4	65,4	0,49	71,9
0,4	73,3	0,45	76,9	0,42	74,3	0,51	81,6
0,42	82,6	0,47	86,3	0,44	83,6	0,53	91
0,44	92,4	0,49	96,3	0,46	93,4	0,55	101,1
0,47	108,4	0,52	112,6	0,49	109,4	0,58	117,7
0,505	126,2	0,555	130,7	0,52	126,6	0,61	135,5

Диаметр без изоляции, мм	Сечение меди, мм ²	Сопротивление 1 м при 20° С, ом	Допустимая нагрузка при плотности тока 2 а/мм ² , а	ПЭЛ	
				диаметр с изоляцией, мм	вес 100 м с изоляцией, г
0,44	0,1521	0,115	0,304	0,475	138
0,47	0,1735	0,101	0,346	0,505	157
0,49	0,1885	0,0931	0,378	0,525	171
0,51	0,2043	0,0859	0,408	0,545	185
0,55	0,2376	0,0739	0,476	0,59	215
0,59	0,2734	0,0643	0,547	0,63	247
0,64	0,3217	0,0546	0,644	0,68	291
0,69	0,3739	0,0469	0,748	0,73	342
0,74	0,4301	0,0408	0,86	0,79	389
0,8	0,5027	0,0349	1,005	0,85	445
0,86	0,5809	0,0302	1,16	0,91	524
0,93	0,6793	0,0258	1,36	0,98	612
1	0,7854	0,0224	1,57	1,05	707
1,08	0,9161	0,0192	1,83	1,14	826
1,16	1,0568	0,0166	2,114	1,22	922
1,2	1,131	0,0155	2,26	1,26	1022
1,25	1,2272	0,0143	2,45	1,31	1105
1,35	1,4314	0,0122	2,86	1,41	1288
1,45	1,6513	0,0106	3,3	1,51	1486
1,56	1,9113	0,0092	3,822	1,62	1712
1,68	2,2167	0,0079	4,433	1,74	1992
1,81	2,5730	0,0068	5,146	1,87	2310
1,95	2,9865	0,0059	5,98	2,01	2680
2,02	3,2047	0,0055	6,409	2,08	2875
2,1	3,4637	0,0051	6,92	2,16	3110
2,26	4,0115	0,0044	8,023	2,32	3603
2,44	4,6759	0,0038	9,352	2,5	4210

Продолжение табл. 57

Марка провода

ПЭЛШО		ПЭЛБО		ПБО		ПБД	
диаметр с изоля- цией, мм	вес 100 м с изоля- цией, г	диаметр с изоля- цией, мм	вес 100 м с изоля- цией, г	диаметр с изоля- цией, мм	вес 100 м с изоля- цией, г	диаметр с изоля- цией, мм	вес 100 м с изоля- цией, г
0,535	144,5	0,585	149,3	0,55	145	0,64	154,5
0,565	164	0,615	169,1	0,58	164,6	0,67	174,6
0,585	178	0,635	182,6	0,6	178,5	0,69	189,5
0,61	192,9	0,66	198,3	0,62	192,9	0,71	203
0,65	222,2	0,7	229,2	0,66	223,4	0,75	234
0,69	256,1	0,74	262,3	0,7	256	0,79	267
0,74	301,2	0,79	307,8	0,75	301	0,84	313
0,79	352,8	0,84	354,9	0,8	347,5	0,89	360
0,85	400,6	0,9	408,2	0,85	398,5	0,94	412
0,91	461,8	0,96	469,8	0,91	459,3	1	474
0,97	537,9	1,02	546,5	0,97	585,5	1,06	551
1,04	627,3	1,09	636,5	1,04	625,6	1,13	641
1,12	723,6	1,18	733,5	1,152	722,7	1,25	738
1,2	943,5	1,26	857,5	1,205	841,2	1,33	868
1,28	970,9	1,34	985	1,285	967,4	1,41	966
1,32	1038	1,38	1053	1,325	1035,4	1,45	1066
1,37	1125	1,43	1141	1,375	1122	1,5	1153
1,47	1309	1,53	1326	1,475	1306	1,6	1340
1,57	1508	1,63	1526	1,575	1504	1,7	1540
1,715	—	1,74	1762	1,685	1738	1,81	1776
1,835	—	1,86	2039	1,805	2013	1,93	2025
1,965	—	1,99	2361	1,935	2334	2,06	2377
2,106	—	2,13	2734	2,075	2705	2,2	2752
2,175	—	2,2	2931	2,145	2901	2,27	2949
2,255	—	2,28	3170	2,225	3147	2,35	3193
—	—	—	—	—	—	2,56	3690
—	—	—	—	—	—	2,74	4293

Таблица 58

Обмоточный высокочастотный провод (литцендрат)

Марка провода					
ЛЭШО			ЛЭШД		
число проводов и их диаметр, мм	наружный диаметр изолированного провода, мм	вес 100 м провода, г	число проводов и их диаметр, мм	наружный диаметр изолированного провода, мм	вес 100 м провода, г
24×0,07	0,54	97	7×0,07	0,34	31
35×0,07	0,71	177	32×0,07	0,66	132
12×0,1	0,54	99	49×0,07	0,84	198
21×0,1	0,67	168	70×0,07	1,08	281
28×0,1	0,8	223	7×0,1	0,45	63
63×0,1	1,34	493	12×0,1	0,58	100
84×0,1	1,49	649	16×0,1	0,66	134
119×0,1	1,79	918	19×0,1	0,7	158
			7×0,2	0,78	219
			19×0,2	1,22	590

Таблица 59

Монтажные провода

Марка	Характеристика	Номинальные сечения, мм ²
МШЛ	Однопроволочный, в оплетке из натурального или искусственного шелка, лакированный	0,2; 0,35; 0,5; 0,75; 1
МЭББ	Однопроволочный, эмалированный, с одинарной обмоткой из натурального или искусственного шелка, одинарной обмоткой из хлопчатобумажной пряжи, в оплетке из хлопчатобумажной пряжи, пропитанный	0,2; 0,35; 0,5; 0,75; 1

Продолжение табл. 59

Марка	Характеристика	Номинальные сечения, мм ²
МШДЛ	Однопроволочный, эмалированный, с двойной обмоткой из натурального шелка, лакированный	0,2; 0,5; 0,75
МШДБ	Однопроволочный, изолированный двойной обмоткой из натурального шелка и одинарной обмоткой из хлопчатобумажной пряжи, пропитанный парафином	0,1; 0,2; 0,35; 0,5
МБДЛ	Однопроволочный, изолированный эмальлаком и двойной обмоткой из хлопчатобумажной пряжи, лакированный	0,12; 0,2; 0,5; 0,75
МБОУЛ	Однопроволочный, изолированный одинарной обмоткой из хлопчатобумажной пряжи, в оплетке из хлопчатобумажной пряжи, лакированный	0,2; 0,35; 0,5
МГШ	Многopроволочный, в оплетке из натурального или искусственного шелка	0,05; 0,07; 0,1
МГШД	Многopроволочный, изолированный двойной обмоткой из натурального шелка	0,05; 0,07; 0,1; 0,2; 0,35; 0,5
МГШДЛ	Многopроволочный, изолированный двойной обмоткой из натурального шелка, лакированный	0,05; 0,1; 0,2
МГШОЛ	Многopроволочный, изолированный одинарной обмоткой из искусственного или натурального шелка, лакированный	0,05; 0,1; 0,2
МГБЛ	Многopроволочный, изолированный полихлорвинилом, в оплетке из хлопчатобумажной пряжи, лакированный	0,35; 0,5; 0,75; 1; 2; 5
МГВСЛ	Многopроволочный, изолированный полихлорвинилом, в оплетке из стекловолокна, лакированный	0,35; 0,5; 0,75; 1; 2; 3
МКШ	Многopроволочный, с изоляцией из полихлорвинилового пластика	0,75
МКЭ	Многopроволочный, с изоляцией из полихлорвинилового пластика, экранированный	0,75
МР	Однопроволочный, изолированный вулканизированной резиной	0,35; 0,5; 0,75; 1; 1,5
МРП	Однопроволочный, изолированный вулканизированной резиной, в оплетке из хлопчатобумажной пряжи, пропитанной парафином	0,35; 0,5; 0,75; 1; 1,5

Продолжение табл. 59

Марка	Характеристика	Номинальные сечения, мм ²
МРЛ	Однопроволочный, изолированный резиной, в оплетке из хлопчатобумажной пряжи, лакированный	0,35; 0,5; 0,75; 1; 1,5
МРГ	Многопроволочный, изолированный вулканизированной резиной	0,35; 0,5; 0,75; 1; 1,5
МРГП	Многопроволочный, изолированный вулканизированной резиной, в оплетке из хлопчатобумажной пряжи, пропитанной парафином	0,35; 0,5; 0,75; 1; 1,5
МРГПЭ	То же, экранированный	
МРГЛ	Многопроволочный, изолированный вулканизированной резиной, в оплетке из хлопчатобумажной пряжи, лакированной	0,35; 0,5; 0,75; 1; 1,5
МГБЛ	Многопроволочный, в оплетке из хлопчатобумажной пряжи, лакированный	0,2; 0,35; 0,5; 0,75; 1
МГБД	Многопроволочный, изолированный двойной обмоткой из хлопчатобумажной пряжи	0,05; 0,07; 0,1; 0,35; 0,5
МГБОО	Многопроволочный, изолированный одинарной обмоткой из хлопчатобумажной пряжи, в оплетке из хлопчатобумажной пряжи	0,05; 0,07; 0,1; 0,2; 0,35; 0,5
МГБОЛ	Многопроволочный, изолированный одинарной обмоткой из хлопчатобумажной пряжи, лакированный	0,05; 0,1; 0,2
МГБДЛ	Многопроволочный, изолированный двойной обмоткой из хлопчатобумажной пряжи, лакированной	0,05; 0,1; 0,2; 0,35; 0,5; 0,75; 1
МГБДЛЭ	То же, экранированный	
МГСЛ	Многопроволочный, изолированный двойной обмоткой из стекловолокна, в оплетке из стекловолокна, лакированный	0,2; 0,35; 0,5; 0,75; 1; 1,25
МЦБЛ	Многопроволочный, изолированный синтетической пленкой, двойным слоем из стекловолокна, в оплетке из хлопчатобумажной пряжи, лакированный	0,05; 0,5; 0,75; 1; 1,25; 1,5; 2,5; 4
МЦСЛ	Многопроволочный, изолированный синтетической пленкой, двойной обмоткой из стекловолокна, в оплетке из стекловолокна, лакированный	0,35; 0,5; 0,75; 1; 1,25; 1,5; 2; 2,5; 3; 4
МЦСЛЭ	То же, экранированный	

Продолжение табл. 59

Марка	Характеристика	Номинальные сечения, мм ²
ПМВ	Однопроволочный, изолированный полихлорвинилом	0,2; 0,5; 0,75
ПМОВ	Однопроволочный, изолированный обмоткой из хлопчатобумажной пряжи и полихлорвинилом	0,2; 0,35; 0,5; 0,75
ПМВГ	Многопроволочный, изолированный обмоткой из хлопчатобумажной пряжи и полихлорвинилом	0,2; 0,35; 0,5; 0,75
МГВ	Многопроволочный, изолированный полихлорвинилом	0,1; 0,2; 0,35; 0,5; 0,75; 1

Таблица 60

Высокоомные сплавы

Наименование сплава	Удельное сопротивление при 20° С, Ом·мм ² /м	Температурный коэффициент (в пределах от 0 до 100° С)	Максимальная рабочая температура, °С	Применение
Манганин	0,42—0,48	0,000006	100	Изготовление точных сопротивлений
Константан	0,44—0,52	0,000005	500	Изготовление реостатов и сопротивлений
Никелин	0,39—0,45	0,00002	150—200	
Нихром	1—1,1	0,00015	1000	Изготовление элементов нагревательных приборов и сопротивлений
Фехраль	1,1—1,3	0,00028	900	
Хромаль	1,4	—	1250	

10*

Константан (около 59% меди, 40% никеля и около 1% марганца) применяется для изготовления сопротивлений. Сопротивления из константана могут работать при температуре до 500°С. Используется также для изготовления термопар. В паре с медью дает э. д. с. около 50 мкв на 1°С.

Никелин (сплав меди и никеля с меньшим содержанием никеля, чем в константане) применяется для изготовления сопротивлений, работающих при сравнительно невысокой температуре (до 200°С).

Нихром (67% никеля, 16% железа, 15% хрома и около 2% марганца) используется для изготовления сопротивлений и обмоток нагревательных приборов. Рабочая температура до 1000°С.

Фехраль (82% железа, 15% хрома, 3% алюминия) применяется с теми же целями, что и нихром.

Хромаль (65% железа, 30% хрома и около 5% алюминия) используется наряду с нихромом.

Высокоомные сплавы выпускают в виде проволоки диаметром 0,03—0,1 мм или в виде лент.

Основные данные некоторых высокоомных сплавов приведены в табл. 60.

§ 29. Магнитные материалы

Магнитные свойства различных материалов характеризуются магнитной проницаемостью и обычно сравниваются с магнитными свойствами воздуха. Относительная магнитная проницаемость воздуха для практических расчетов принимается равной единице.

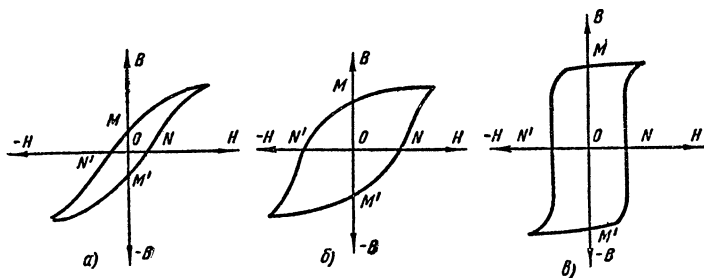


Рис. 54. Гистерезисные кривые:

а — магнитно-мягкого материала, б — магнитно-жесткого материала, в — феррита с прямоугольной петлей гистерезиса

Материалы, магнитная проницаемость которых во много раз больше единицы, называются *ферромагнитными*. К ним относят железо, сталь, чугун, никель, кобальт, железо-никелевые сплавы. Ферромагнитные материалы применяют для изготовления постоянных магнитов, сердечников катушек и трансформаторов и т. д.

Если ферромагнитный материал поместить в магнитное поле (например, внутри катушки с током), то магнитная индукция поля возрастет, материал намагнитится. Зависимость между напряженностью внешнего магнитного поля H и магнитной индукцией в материале B называется *кривой намагничивания* и характеризует свойства материала.

В обмотке катушки или трансформатора чаще всего протекает переменный ток. При этом в сердечнике возникает переменное магнитное поле и он периодически перемагничивается. Кривая намагничивания сердечника в этом случае имеет замкнутую форму и называется *петлей гистерезиса* (рис. 54).

Чем шире петля гистерезиса, тем больше энергии затрачивается на перемагничивание материала и тем больше потери энергии в сердечнике.

Материалы, которые перемагничиваются легко, с малыми потерями энергии, называются *магнитно-мягкими*. Они характеризуются узкой петлей гистерезиса (рис. 54, а). Магнитно-мягкие материалы применяют для изготовления сердечников трансформаторов, катушек и электрических машин.

Для изготовления постоянных магнитов применяют *магнитно-жесткие* материалы, имеющие широкую петлю гистерезиса (рис. 54, б). Такие материалы размагничиваются с трудом.

В вычислительных машинах и других импульсных устройствах используют сердечники из специальных сортов феррита (марки ВТ), имеющих почти *прямоугольную петлю гистерезиса* (рис. 54, в). Такие сердечники выпускают в виде колец.

Магнитно-мягкие материалы

Электротехническая сталь выпускается в виде листов толщиной 0,35—0,5 мм. Листы изготовляют способом горячего или холодного проката. Некоторые сорта электротехнических сталей, например Э310, Э320, Э330, выпускают в виде стальной ленты толщиной до 0,003 мм.

Сердечник катушки или трансформатора собирают из отдельных изолированных друг от друга пластин листовой стали. Торoidalные сердечники изготовляют из ленты.

Выполнить сердечник сплошным нельзя. Он находится в переменном магнитном поле, и в нем самом возникают токи, называемые вихревыми. Эти токи нагревают сердечник, создавая дополнительные потери энергии. Чем тоньше листы, из которых набран сердечник, тем меньше потери энергии на вихревые токи.

Свойства некоторых сортов электротехнических сталей приведены в табл. 61.

Пермаллой (сплав железа и никеля) применяют для изготовления трансформаторов малого размера и веса. Такие трансформаторы нужны для переносной и малогабаритной аппаратуры. Пермаллой имеет значительно большую магнитную проницаемость, чем сталь, и размеры сердечника из пермаллоя получаются меньше. В табл. 62 приведены свойства наиболее распространенных сортов пермаллоя.

Таблица 61

Листовые электротехнические стали

Марки	Характеристика	Магнитная проницаемость		Применение
		начальная	максимальная	
Э42; Э43	Трансформаторная сталь горячего проката	400	7 500	Маломощные трансформаторы и дроссели низкой частоты
Э310; Э330	Трансформаторная сталь холодного проката	500	16 000	Низкочастотные трансформаторы и дроссели средней и большой мощности
Э46	Трансформаторная сталь с повышенной начальной проницаемостью	600	—	Маломощные трансформаторы и дроссели при условии наименьшей стоимости

Таблица 62

Основные свойства пермаллоев

Марка	Содержа- ние никеля	Толщина листов, мм	Магнитная проницаемость		Удельное сопротив- ление, ом·мм ² /м
			начальная	максимальная	
79НМ	78—80%	0,35—2,5 0,02—0,04	22 000 14 000	120 000 6 000	0,9
80НХС		1,2—2,5 0,02—0,04	25 000 16 000	150 000 70 000	0,63
79НМА		0,08—1 0,02—0,04	50 000 18 000	300 000 80 000	0,56
42НС	38—50%	0,1—0,19 0,02—0,04	3 000 2 500	25 000 20 000	0,85
38НС		0,1—0,19 0,02—0,04	3 000 2 500	25 000 20 000	0,9
50НХС		0,35—1 0,02—0,04	3 200 1 500	30 000 12 000	0,9
45Н		0,35—2,5 0,05—0,09	2 500 1 700	23 000 16 000	0,45
50Н		1,1—2,5 0,05—0,09	2 500 1 900	25 000 19 000	0,45
50НП		0,05 0,02	1 000 900	40 000 30 000	0,45
65НП		0,05—0,1 0,02—0,04	400 400	100 000 35 000	0,25

Потери энергии на вихревые токи резко возрастают при увеличении частоты тока в обмотке. Поэтому для катушек колебательных контуров применяют сердечники из специальных высококачественных ферромагнитных материалов. Этими материалами являются магнитодиэлектрики и ферриты.

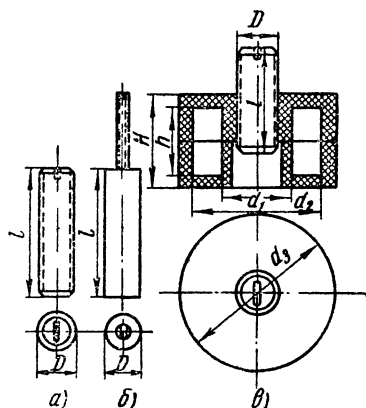


Рис. 55. Типы сердечников из карбонильного железа:

а — цилиндрический с резьбой (СЦР),
б — цилиндрический со шпилькой (СЦШ), в — броневого (СБ).

Магнитодиэлектрик представляет собой спрессованный порошок магнитного материала, частицы которого склеены изолирующим веществом, например лаком. В качестве магнитных материалов используют порошки карбонильного железа, альсифера или пермаллоя.

Карбонильное железо имеет начальную магнитную проницаемость 10—15, у некоторых сортов она доходит до 60. Максимальная рабочая частота 10—15 МГц. Из карбонильного железа изготавливают цилиндрические и броневого сердечники (рис. 55). Цилиндрические сердечники с резьбой (СЦР и СЦШ) можно перемещать внутри катушки, изменяя ее индуктивность. Броневого сердечник (СБ) охватывает катушку со всех сторон и экранирует ее. Средний стержень имеет резьбу и его можно перемещать. При

этом индуктивность катушки изменяется на 20—30%. В табл. 63 и 64 приведены размеры цилиндрических и броневых сердечников из карбонильного железа.

С 1965 г. броневого карбонильные сердечники выпускают с новыми обозначениями.

После букв СБ указывают округленно внешний диаметр сердечника в миллиметрах. Последняя буква обозначает, что сердечник имеет замкнутую магнитную цепь (а) или разомкнутую (б).

Замкнутые сердечники с внешним диаметром 23 мм имеют в обозначении второе число, указывающее высоту в миллиметрах.

Альсифер — сплав железа с кремнием и алюминием. Начальная магнитная проницаемость 20—60; максимальная рабочая частота 10—100 кГц. На более высоких частотах резко возрастают потери. Для частот выше 1—1,5 МГц альсифер не применяют. Сердечники из альсифера изготавливают в виде колец. Их размеры приведены в табл. 65.

Ферритами называются соединения окислов железа с оксидами других металлов (никеля, цинка, марганца, меди, кадмия). Твердый раствор ферритов нескольких металлов образует оксифер.

Основным достоинством ферритов является большое удельное

Таблица 63

Размеры цилиндрических сердечников из карбонильного железа

Тип сердечника	Размеры, мм	
	длина	диаметр
СЦР-1	6	10
СЦР-2	6	19
СЦР-3	7	10
СЦР-4	7	19
СЦР-5	8	10
СЦР-6	8	19
СЦР-7	9	10
СЦР-8	9	19
СЦШ-1	9,3	10
СЦШ-2	9,3	19

Таблица 64

Размеры броневых сердечников из карбонильного железа
(см. рис. 55)

Тип сердечника		Размеры чашек, мм					Размеры подстроечника, мм	
новое обозначение	старое обозначение	d_1	d_2	d_3	h	H	l	D
СБ-12а	СБ-1а	6	10	12,3	8,2	10,6	11,5	4
СБ-12б	СБ-1б	6	10	12,3	8,2	10,6	11,5	4
СБ-23-11а	СБ-2а	10	18,5	23	6,2	11	13	7
СБ-23-17а	СБ-3а	11	18	23	12	17	19	7
СБ-23б	СБ-2б	10	18,5	23	6,2	11	13	7
СБ-28а	СБ-4а	13	22	28	17	23	25	8
СБ-34а	СБ-5а	13,5	27	34	20,4	28	30	8

Таблица 65

Размеры колец из альсифера

Диаметр, мм		Высота, мм	Площадь сечения, см ²	Диаметр, мм		Высота, мм	Площадь сечения, см ²
наруж-ный	внут-ренний			наруж-ный	внут-ренний		
15	7	{ 4,8 6,7	{ 0,175 0,25	55	32	{ 8,2 9,7 11,7	{ 0,8 1 1,2
19	11	{ 4,8 6,7	{ 0,175 0,25	64	40	{ 9,7 14	{ 1 1,5
24	13	{ 5,2 7	{ 0,25 0,35	75	46	{ 12 16,8	{ 1,5 2,2
36	25	{ 7,5 9,7	{ 0,38 0,5				
44	28	{ 7,2 10,3	{ 0,5 0,75				

сопротивление при высокой магнитной проницаемости. В сердечниках трансформаторов и катушек, выполненных из ферритов, малы потери на вихревые токи.

Механические свойства ферритов подобны свойствам керамических изделий. Поэтому их иногда называют металлокерамикой. Они не поддаются обработке резанием, но хорошо шлифуются и полируются.

Соединяют ферритовые изделия путем склеивания, например клеем БФ-4.

В настоящее время принято новое обозначение марок ферритов, например 13ВЧ-1. Первые цифры обозначают номинальную магнитную проницаемость. Буквы обозначают:

ВЧ — высокочастотный феррит (рабочая частота десятки мегагерц);

НМ — низкочастотный марганец-цинковый феррит;

НН — низкочастотный никель-цинковый или литий-цинковый феррит.

После букв в обозначении магнитно-мягкого феррита может стоять еще цифра, показывающая его особенности (температурный коэффициент магнитной проницаемости или тангенс угла потерь).

Для работы в устройствах СВЧ выпускают специальные сорта ферритов, например 3СЧ-1. Первая цифра в обозначении таких ферритов соответствует длине волны в сантиметрах. Буквы СЧ обозначают, что феррит пригоден для работы в диапазоне СВЧ. Цифры после букв показывают порядковый номер разновидности данной марки.

Ферриты с прямоугольной петлей гистерезиса имеют буквенное обозначение ВТ, например 0,3ВТ-1. Число, стоящее перед буквами, указывает номинальное значение коэрцитивной силы в эрстедах.

В табл. 66 приведены новые и старые обозначения ферритов для низких и высоких частот и указаны их некоторые свойства, в табл. 67 и 68 приведены новые и старые обозначения ферритов для СВЧ диапазона и ферритов с прямоугольной петлей гистерезиса.

Из ферритов изготовляют сердечники различной формы и размеров (Ш-образные для импульсных трансформаторов, кольцевые, цилиндрические и броневые для катушек).

Таблица 66

Основные данные ферритов (для низких и высоких частот)

Обозначение		Начальная магнитная проницаемость	Ориентировочное значение предельной рабочей частоты, МГц	Предельное значение рабочих температур, °С	Примечание
новое	старое				
5ВЧ	СН-5	4,5—5,5	100	100	Магнитно-мягкие высокочастотные никель-цинковые и литий-цинковые
10ВЧ	ФС-10	8—14	10	125	
13ВЧ	СНК-13	11—15	70	100	
13ВЧ-1	Ф-20; НФК-13	11—15	100	100	
20ВЧ	Оксифер РЧ-20	18—28	5	125	
30ВЧ	ФЛ-30	25—35	5	100	
50ВЧ	МНЦ-50	45—60	25	100	
60ВЧ	ФЛ-60	50—70	2,5	125	
100НН	Ф ₁ -100; МНЦ-120	90—130	1	125	Магнитно-мягкие низкочастотные никель-цинковые и литий-цинковые
100НН-1	НЦ-100	85—120	1	125	
150НН	Г-21	135—165	0,1	—	
200НН	Оксифер-200	130—250	0,1	120	
200НН-1	МНЦ-200	180—220	0,1	—	
400НН	Ф-400; оксифер-400	350—500	0,1	120	
600НН	Ф-600; оксифер-600	500—800	0,1	120	
2000НН	Ф-2000; оксифер-2000	1800—2400	0,1	70	

Продолжение табл. 66

Обозначение		Начальная магнитная проницаемость	Ориентировочное значение предельной рабочей частоты, МГц	Предельное значение рабочих температур, °С	Примечание
новое	старое				
1000НМ	ФМ-1000; оксифер М-1000	800—1200	0,1	180	Низкочастотные марганец-цинковые
1000НМ-1	—	800—1200	0,1	60	
1000НМ-2	—	800—1200	0,1	—	
1500НМ	—	1200—1700	0,1	60	
1500НМ-2	—	1200—1700	0,1	60	
1500НМ-1	—	1200—1700	0,1	60	
2000НМ	ФМ-2000; оксифер М-2000	1700—2500	0,1	180	
2000НМ-1	Оксифер МТ-2000	1700—2500	0,1	60	
2000НМ-2	Оксифер МД-2000	1700—2500	0,1	60	
3000НМ	ФМ-3000; оксифер М-3000	2500—3500	0,1	60	
4000НМ	Оксифер М-4000	3500—4800	0,1	120	

Таблица 67

Марки ферритов для СВЧ диапазона

Новое обозначение	Старое обозначение	Новое обозначение	Старое обозначение
1СЧ	НЦ-11	3СЧ2	М-78
1СЧ1	27	3СЧ3	М-188
1СЧ2	НМ-2	3СЧ4	Ф ₃₋₁
1СЧ3	М-50	3СЧ5	Ф ₃₋₃
2СЧ3	А-30	3СЧ6	П-28
2СЧ1	7ММ-2	3СЧ8	НЦ-12
3СЧ	А-17	4СЧ	А-6-25а
3СЧ1	М-18	4СЧ1	А-6-15с

Продолжение табл. 67

Новое обозначение	Старое обозначение	Новое обозначение	Старое обозначение
4СЧ2	А-33-Н15с	15СЧ1	МХ-16
4СЧ4	М-77	30СЧ	9(4)
8СЧ1	АМ-4с	30СЧ1	ХММ-8
10СЧ	АМ-1(8)	30СЧ2	А-68
10СЧ1	Р-22	40СЧ	9(2)
10СЧ2	АМ-23	40СЧ1	Х-81
15СЧ	НХ-13(2)		

Т а б л и ц а 68

**Марки ферритов с прямоугольной петлей гистерезиса
(магний-марганцевые ферриты)**

Новое обозначение	Старое обозначение	Новое обозначение	Старое обозначение
0,16ВТ	ВТ-5	0,9ВТ	К-260
0,25ВТ	К-272	1,3ВТ	ВТ-1
0,3ВТ	Н-85	1,5ВТ	К-28
0,3ВТ-1	П-212	2ВТ	ВТ-7
0,4ВТ	Н-44	4ВТ	ВТ-6
0,7ВТ	ВТ-2		

Магнитно-жесткие материалы

Применяют их для изготовления постоянных магнитов. Они характеризуются остаточной магнитной индукцией и коэрцитивной силой. Остаточной магнитной индукцией называется магнитная индукция, которая сохраняется в материале при отсутствии внешнего магнитного поля (см. отрезки OM и OM' на рис. 54). Коэрцитивная сила равна напряженности внешнего магнитного поля, которую нужно создать, чтобы размагнитить материал (отрезки ON и ON'). Чем больше остаточная магнитная индукция и коэрцитивная сила, тем сильнее намагничивается материал и лучше сохраняет свои магнитные свойства.

Для изготовления постоянных магнитов применяют специальные сорта сталей (ЕХ; ЕХЗ и др.). В состав таких сталей кроме железа и углерода входят хром, вольфрам, молибден, кобальт. Некоторые постоянные магниты изготавливают при помощи литья с последующей термической обработкой. Материалом для таких магни-

тов служат сплавы альни, альниси, альнико, магнико, содержащие кроме железа алюминий, никель и другие металлы. Эти материалы используют для изготовления магнитных цепей громкоговорителей, микрофонов, маломощных электродвигателей и т. д.

§ 30. Диэлектрики

Диэлектриками или *изоляторами* называются вещества, обладающие очень малой электрической проводимостью. К ним относят газы, некоторые жидкости (минеральные масла, лаки) и почти все твердые тела, кроме металлов и угля. Основные свойства диэлектриков характеризуются следующими величинами.

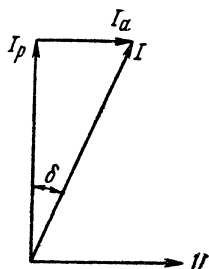


Рис. 56. Векторная диаграмма токов в цепи с емкостью и активными потерями

Пробивная напряженность, или электрическая прочность. В сильном электрическом поле молекулы диэлектрика расщепляются на ионы, и диэлектрик проводит ток. Напряженность электрического поля, при которой начинается ионизация молекул диэлектрика, называется его пробивной напряженностью.

Диэлектрическая проницаемость. Так называется величина, которая характеризует электрические свойства материала. Практически все материалы сравнивают с воздухом, для которого диэлектрическая проницаемость принимается равной единице. Если между пластинами воздушного конденсатора поместить другой диэлектрик, например слюду с диэлектрической проницаемостью $\epsilon=7$, то емкость конденсатора увеличится в 7 раз.

Диэлектрические потери. Под действием электрического поля диэлектрик поляризуется: электроны на орбитах смещаются, внутри молекулы происходит разделение положительных и отрицательных зарядов. В переменном электрическом поле смещение электронов будет также переменным, усиливается движение частиц диэлектрика, это приводит к его нагреванию. На нагревание затрачивается энергия, возникают диэлектрические потери.

Диэлектрик, в котором имеются потери энергии, эквивалентен электрической цепи, состоящей из емкости и активного сопротивления. Ток I в такой цепи можно представить в виде двух составляющих — активной I_a и реактивной I_p (рис. 56). Чем больше потери энергии, тем больше активная составляющая тока, тем больше угол δ на векторной диаграмме. Поэтому количественно диэлектрические потери характеризуются тангенсом угла потерь δ . Чем меньше $\operatorname{tg} \delta$, тем выше качество диэлектрика. Кроме перечисленных величин диэлектрик характеризуется теплостойкостью, гигроскопичностью, механическими свойствами.

Рассмотрим диэлектрики, наиболее широко применяющиеся в радиотехнических устройствах.

Волокнистые материалы

Бумага. Используется в качестве диэлектрика в конденсаторах или для изоляции проводов. Пропитывается изоляционным материалом. Толщина конденсаторной бумаги 0,006—0,24 мм.

Прессшпан (электрокартон) — картон, пропитанный парафином или специальными лаками. Толщина картона 0,1—3 мм. Применяется для изготовления каркасов трансформаторов и катушек.

Фибра — получается из бумаги, обработанной водным раствором хлористого цинка. Это вызывает сильное набухание волокон клетчатки и соединение их в одно целое. Фибра хорошо обрабатывается механически. Электрические свойства ее невысоки. Применяется в цепях питания.

Асбест — минеральный волокнистый материал. Выпускается в виде шнура, ткани или картона и служит для изготовления огнеупорных материалов — асбоцемента, асбопластмасс и др. Используется для изоляции в электронагревательных приборах и изготовления каркасов мощных сопротивлений.

Лакоткань — хлопчатобумажная, шелковая или стеклянная ткань, пропитанная лаком. Выпускается в виде полотна или трубки. Полотно применяется для изоляции обмоток трансформаторов, трубка — для изоляции монтажных проводов.

Пластмассы и синтетические материалы

Карболит — пластмасса, изготавливаемая из волокнистых или порошковых органических веществ и смолы. Изделия из карболита дешевы, но хрупки и не поддаются механической обработке. Для высокочастотных цепей карболит непригоден.

Эбонит — каучуковая пластмасса. Легко обрабатывается, но с течением времени сильно меняет свои свойства и, кроме того, не допускает даже небольшого повышения температуры. В высокочастотных цепях не применяется.

Полистирол имеет очень малые диэлектрические потери и большую пробивную напряженность. Негигроскопичен, легко обрабатывается. Используется для изготовления деталей высокочастотных цепей (каркасы катушек, изоляция высокочастотных кабелей и т. д.). Из полистирола изготавливают тонкую изоляционную ленту (стирофлекс) и тонкие прокладки (полифлекс).

Полиэтилен — эластичный полупрозрачный материал. Имеет малые диэлектрические потери. Применяется для каркасов контурных катушек и изоляции высокочастотных кабелей.

Полихлорвинил — прозрачный и окрашенный эластичный материал. Используется для изоляции проводов, в том числе подземных кабелей. Для радиочастотных цепей непригоден из-за больших диэлектрических потерь.

Плексиглас — органическое стекло. Может быть окрашен в разные цвета. Применяется как изолятор, как декоративный материал, для изготовления шкал, линз и др.

Слоистые пластики

Гетинакс — пластмасса на бумажной основе. Хорошо обрабатывается. Применяется для изоляции низкочастотных цепей.

Текстолит — пластмасса на текстильной основе. Легко обрабатывается. Диэлектрические потери велики. При повышении температуры диэлектрические свойства изменяются. В цепях высокой частоты используют только текстолит, изготовленный на основе стеклянной ткани.

Керамические материалы

Электротехнический фарфор гигроскопичен. Применяется для изготовления изолирующих устройств в цепях питания. Для высокочастотных цепей непригоден, так как имеет большие диэлектрические потери.

Радиофарфор имеет меньшие потери энергии. Используется для изготовления каркасов катушек, ламповых панелей и мелких деталей высокочастотных цепей.

Ультрафарфор обладает еще меньшими потерями и используется для изоляции высокочастотных цепей в ультракоротковолновой аппаратуре.

Высокочастотная керамика (пирофилит, стеатит, керамит, тиконд, термоконд и др.) — это искусственные керамические материалы. Они огнеупорны и обладают малыми диэлектрическими потерями. Электрические свойства их мало зависят от температуры.

Некоторые сорта керамики (тиконд, термоконд) имеют отрицательный температурный коэффициент, т. е. при повышении температуры их диэлектрическая проницаемость уменьшается. Конденсатор из тиконда при нагревании уменьшает емкость. Этим свойством пользуются, компенсируя увеличение индуктивности катушек и емкости конденсаторов другого типа при повышении температуры.

Высокочастотную керамику применяют в качестве диэлектрика для конденсаторов и как материал для каркасов контурных катушек.

Различные изоляционные материалы

Слюда имеет две разновидности — мусковит и флогопит. *Мусковит* — прозрачные пластинки слюды — используют в качестве диэлектрика для конденсаторов. *Флогопит* — слюду бурого цвета — применяют для изоляции электронагревательных приборов. Слюда, размельченная в порошок и спрессованная с борной кислотой и суриком, называется *микалексом*. Из микалекса изготавливают изоляторы в мощной высокочастотной аппаратуре.

Мрамор — естественный минеральный материал. Применяется для монтажа распределительных щитов. Для работы на радиочастотах непригоден из-за больших диэлектрических потерь.

Стекло используют для изготовления баллонов электровакуумных приборов, а также для производства стекловолокна и стеклобумаги.

Резина получается из каучука путем вулканизации. Каучук —

Таблица 69

Основные свойства некоторых диэлектриков

Материалы	Диэлектрическая проницаемость	Пробивная напряженность электрического поля, кВ/мм	Тангенс угла диэлектрических потерь δ		Темпостой- кость, °С
			при $f=50$ гц	при $f=1$ Мгц	
Асбест	—	2	0,7	—	400
Бакелит	4—4,6	10—40	0,05—0,12	—	—
Бумага кабельная .	4—4,8	30	0,35	—	—
Гетинакс	5—6,5	10—30	0,02	0,03	150
Карболит	4—6	2—10	0,0001—0,03	—	100
Керамит	7,5	15—20	—	0,0007—0,0018	1200
Лакоткань	2,8—7,7	20—50	0,07—0,16	0,09—0,19	105
Микалекс	8—10	15—20	0,005	0,02	—
Мрамор	8—10	6—10	0,005—0,01	—	70—100
Плексиглас	3—3,6	18—20	0,02—0,05	0,06	60
Полистирол	2,2—2,6	25—50	0,0002	0,0002	70—90
Полихлорвинил . . .	3,1—3,5	50	0,02	—	—
Полиэтилен	2,2	—	0,03	0,03	70
Прессшпан	3—4	9—12	0,02	0,02—0,03	—
Радиостеатит	6	20	0,0006	0,0003—0,0008	—

Продолжение табл. 69

Материалы	Диэлектрическая проницаемость	Пробивная напряженность электрического поля, кВ/мм	Танг энс угла диэлектрических потерь δ		Темпостой- кость, °С
			при $f=50$ гц	при $f=1$ Мгц	
Радиофарфор . . .	6	15—20	0,009	0,0027—0,004	1200
Резина	2,6—3	15—25	0,005—0,03	—	50
Слюда мусковит . .	4,5—8	50—200	0,001	0,001	400
Слюда флогопит . .	4—5,5	60—125	0,005—0,01	0,005—0,01	800
Стеатит	5,5—6,5	20—30	0,0006	0,0015—0,002	1400
Стекло	4—10	20—30	0,0005—0,001	0,001	500—1700
Текстолит	7	2—8	0,02	0,08	120
Тиконд	25—80	15—20	0,0003	0,001—0,002	1200
Ультрафарфор . . .	6,3—7,5	15—30	0,002	0,0006	1400
Фарфор электротех- нический	6,5	20	—	0,005—0,01	1200
Фибра	2,5—8	2—6	0,02	0,06—0,07	100
Шелк натуральный .	4,5	—	—	0,01—0,02	100
Шеллак	3,5	20—30	0,01	—	80
Эбонит	4—4,5	25	—	0,01—0,015	60
Эмаль стекловидная .	4—7	20—25	—	—	300

естественная смола; за последнее время вытесняется синтетическим каучуком. Резину используют главным образом для изоляции проводов низкочастотных цепей.

Основные свойства перечисленных диэлектриков приведены в табл. 69. Кроме этих материалов для изоляции радиодеталей и проводов применяют лаки, эмали, компаунды и клеи.

Пропиточные лаки служат для пропитки волокнистой изоляции и обмоток трансформаторов. Пропитанный лаком изоляционный материал менее гигроскопичен и имеет большую пробивную напряженность.

Покровные лаки применяют для лакировки поверхности изделий. Это улучшает диэлектрические свойства изделий и их внешний вид.

Эмали — это покровные лаки с добавлением органического наполнителя, который повышает твердость пленки и одновременно окрашивает ее. Эмали используются для изоляции проводов.

Компаунды — сложные составы, применяемые для пропитки и заливки. По составу компаунды делят на битумные и смоляные (битум — твердый углеводород). Битумные компаунды перед употреблением расплавляют, при комнатной температуре они затвердевают. Смоляные компаунды жидки при комнатной температуре, после пропитки и заливки они твердеют и уже не плавятся.

Клеи применяют для склеивания различных деталей, крепления деталей на шасси, крепления витков обмоток. Наиболее универсальными являются клеи марки БФ.

Клеи БФ-2 и БФ-4 служат для склеивания металлов, пластмасс, дерева, органического стекла, фарфора, керамики, кожи, тканей, бумаги, эбонита в любом сочетании этих материалов. Клей БФ-2 дает клеевой шов с повышенной теплостойкостью. Клей БФ-4 образует эластичное и стойкое к вибрации клеевое соединение.

Для склеивания тканей, фетра, войлока, резины, целлофана используют клей БФ-6. Он пригоден для гибких пленок. Склеиваемые поверхности тщательно очищают спиртом или ацетоном, смазывают клеем, подсушивают в течение 1 ч, затем смазывают клеем вторично.

Склеивание клеем БФ-2 производится под давлением ($5\text{--}10 \text{ кг/см}^2$) при температуре 150°C в течение 1 ч. Клеи БФ-4 и БФ-6 затвердевают при температуре $60\text{--}80^\circ\text{C}$.

Для склеивания деталей из полистирола применяют полистирольный клей, состоящий из бензола и полистироловой стружки. Его используют также для закрепления концов обмоток высокочастотных катушек.

Клеящими свойствами обладают и лаки — бакелитовый, шеллачный.

Глава VII. РАДИОДЕТАЛИ

§ 31. Конденсаторы

Конденсаторы постоянной емкости применяют в аппаратуре в основном для разделения токов разных частот (разделительные и блокирующие). Конденсаторы переменной емкости служат для настройки колебательных контуров.

Емкостное сопротивление конденсатора различно для разных частот и определяется формулой

$$x_C = \frac{1}{2\pi fC},$$

где x_C — сопротивление, *ом*;

f — частота, *гц*;

C — емкость, *ф*.

Величины, характеризующие конденсаторы

Емкость конденсатора зависит от его размеров, конструкции и материала диэлектрика. Емкость плоского конденсатора можно вычислить по формуле

$$C = \frac{0,885 \cdot \epsilon \cdot s}{d} (n - 1),$$

где C — емкость конденсатора, *пф*;

ϵ — относительная диэлектрическая проницаемость диэлектрика;

s — площадь пластин, *см²*;

d — расстояние между пластинами, *мм*;

n — число пластин.

Конденсаторы постоянной емкости всех типов, кроме электролитических, выпускаются со стандартизованными номинальными значениями емкости.

Конденсаторы переменной емкости не имеют стандартизованных значений емкости и калибруются по минимальной и максимальной емкости.

Электрическая прочность конденсатора характеризуется рабочим, испытательным и пробивным напряжением.

Рабочим напряжением называется максимальное напряжение, при котором конденсатор может работать продолжительное время (до 10 тыс. ч).

Испытательное напряжение — максимальное напряжение, под которым конденсатор может находиться без пробоя в течение небольшого промежутка времени.

Пробивное напряжение — минимальное напряжение, при котором происходит пробой диэлектрика.

Сопротивление изоляции. Из-за несовершенства диэлектрика конденсатор проводит некоторый ток (имеет утечку). Чем выше сопротивление изоляции, тем лучше конденсатор. Обычно сопротивление изоляции равно сотням или тысячам мегом.

Потери энергии в конденсаторе в основном определяются потерями в диэлектрике. Чем больше $\operatorname{tg} \delta$ (см. рис. 56), тем хуже конденсатор.

Стабильность. Свойства конденсатора должны быть постоянными, т. е. не зависеть от внешних условий. Однако у конденсаторов при изменении температуры изменяется емкость. Температурным коэффициентом емкости ТКЕ называется относительное изменение емкости при изменении температуры на 1°C .

В зависимости от величины ТКЕ конденсаторы постоянной емкости делят на группы (табл. 70).

Таблица 70

Температурный коэффициент емкости ТКЕ
(в процентах на 1°C)

ТКЕ	Группа	Цвет корпуса (для керамических конденсаторов)
Не нормируется	А	—
$\pm 0,02$	Б	—
$\pm 0,1$	В	—
$\pm 0,005$	Г	—
$-(0,11 \div 0,15)$	К	Зеленый или красный с зеленой точкой
$-(0,06 \div 0,08)$	Д	Красный
$-(0,002 \div 0,008)$	М	Голубой
$\pm 0,003$	О	Серый
$+(0,009 \div 0,015)$	С	Синий
Не нормируется	Н	Оранжевый или желтый

Собственная индуктивность. Обкладки и выводы конденсатора, как и любой проводник, обладают собственной индуктивностью, которая на достаточно высокой частоте может вызвать появление резонанса с емкостью конденсатора.

Резонансная частота конденсатора должна быть в 2—3 раза выше максимальной рабочей частоты. Поэтому собственную индуктивность конденсатора стремятся уменьшить (например, бумажные конденсаторы выполняют по принципу бифилярной намотки).

Таблица 71

Номинальные величины емкостей конденсаторов и сопротивлений резисторов

Микрофарады, нанофарады, пикофарады, омы, килоомы, мегаомы											
ряд E6				ряд E12				ряд E24			
0,01	0,1	1	10	100	0,1	1	10	100	1 1,1	10 11	100 110
					0,012	1,2	12	120	1,2 1,3	12 13	120 130
0,015	0,15	1,5	15	150	0,015	1,5	15	150	1,5 1,6	15 16	150 160
					0,018	1,8	18	180	1,8 2	18 20	180 200
0,022	0,22	2,2	22	220	0,022	2,2	22	220	2,2 2,4	22 24	220 240
					0,027	2,7	27	270	2,7 3	27 30	270 300

Продолжение табл. 71

Микрофарады, нанофарады, пикофарады, омы, килоомы, мегаомы											
ряд Е6			ряд Е12			ряд Е24					
0,033	0,33	3,3	33	330	0,033	3,3	33	330	3,3	33	330
						3,6			3,6	36	360
					0,039	3,9	39	390	3,9	39	390
						4,3			4,3	43	430
0,047	0,47	4,7	47	470	0,047	4,7	47	470	4,7	47	470
						5,1			5,1	51	510
					0,056	5,6	56	560	5,6	56	560
						6,2			6,2	62	620
0,068	0,68	6,8	68	680	0,068	6,8	68	680	6,8	68	680
						7,5			7,5	75	750
					0,082	8,2	82	820	8,2	82	820
						9,1			9,1	91	910

Международной электротехнической комиссией (ICE), в работе которой участвуют и представители СССР, разработаны стандартизованные номинальные величины емкостей и сопротивлений. Эти величины образуют ряды геометрической прогрессии. Емкости конденсаторов и сопротивления резисторов широкого применения соответствуют рядам, имеющим условные обозначения E6, E12, E24.

Каждый член ряда определяется формулой

$$A = \sqrt[m]{10^n},$$

где A — номинальная величина емкости или сопротивления;

m — номер ряда;

$n = 0; 1; 2; \dots; m-1$.

Рассмотрим для примера, как получаются номинальные величины ряда E6, для которого $m=6$, а $n=0; 1; 2; 3; 4; 5$. В ряде E6 в каждом десятичном интервале имеется шесть номинальных величин. Они получаются следующим образом:

$$n = 0$$

$$A = \sqrt[6]{10^0} = \sqrt[6]{1} = 1.$$

$$n = 1$$

$$A = \sqrt[6]{10^1} \approx 1,5.$$

$$n = 2$$

$$A = \sqrt[6]{10^2} \approx 2,2$$

Таким же путем вычисляются последующие члены ряда E6 и члены других рядов.

Полученными числами выражают емкости конденсаторов в микрофарадах, десятых и сотых долях микрофарады, нанофарадах, пикофарадах и т. д., а также величины сопротивлений в омах, килоомах, мегомах (табл. 71).

Допустимые отклонения емкости (сопротивления) от номинальной величины составляют $\pm 20\%$ для ряда E6, $\pm 10\%$ для ряда E12, $\pm 5\%$ для ряда E24.

Конденсаторы постоянной емкости

Маркировка конденсаторов. На корпусе конденсатора обозначен тип, номинальная емкость и допустимые отклонения ее в процентах. Иногда обозначен класс точности, рабочее и испытательное напряжения. Указана также дата выпуска конденсатора и марка завода. Например, КБГ-М, $0,1 \text{ мкф} \pm 10\%$, $U_p = 200 \text{ в}$, $U_{\text{исп}} = 600 \text{ в}$, V-66 (конденсатор бумажный герметизированный малогабаритный, номинальная емкость $0,1 \text{ мкф}$, допустимые отклонения емкости $\pm 10\%$, рабочее напряжение 200 в . Испытан при напряжении 600 в , выпущен в мае 1966 г.).

Входящие в обозначения конденсаторов буквы указывают вид

диэлектрика (БМ — с бумажным диэлектриком малогабаритный, КТ — керамический трубчатый, ПМ — с диэлектриком из полистирольной пленки малогабаритный, ЭМ — электролитический малогабаритный и т. д.).

Обозначения конденсаторов новых типов начинаются с буквы *К* (конденсатор). Далее следует число, обозначающее вид диэлектрика, и буква, показывающая, в каких цепях конденсатор может применяться. После этого идет номер разработки и иногда строчная буква, указывающая вариант конструкции.

Число, стоящее после буквы *К* обозначает следующее:

- 10 — керамический на номинальное напряжение ниже 1600 в;
- 15 — керамический на напряжение 1600 в и выше;
- 22 — стекло-керамический;
- 23 — стекло-эмалевый;
- 31 — слюдяной малой мощности;
- 32 — слюдяной большой мощности;
- 40 — бумажный с обкладками из фольги на номинальное напряжение ниже 1600 в;
- 41 — бумажный с обкладками из фольги на номинальное напряжение 1600 в и выше;
- 42 — металл-бумажный;
- 50 — электролитический, алюминиевый;
- 51 — электролитический, танталовый, фольговый;
- 60 — воздушный;
- 61 — вакуумный;
- 70 — полистироловый с фольговыми обкладками;
- 71 — полистироловый с обкладками, нанесенными на поверхность пленки в виде слоя металлизации;
- 72 — с диэлектриком из фторопласта.

Буквы после чисел обозначают:

у — конденсатор пригоден для использования в цепях постоянного, переменного и пульсирующего токов и в импульсных режимах (универсальный);

п — конденсатор рассчитан на работу в цепях постоянного, переменного и пульсирующего токов;

ч — конденсатор специально рассчитан для работы в цепях переменного тока;

и — конденсатор предназначен для работы в импульсных режимах.

Если после числа нет буквы, это означает, что конденсатор может работать только в цепях постоянного и пульсирующего токов.

Например, К40п-2 — конденсатор бумажный с обкладками из фольги, может быть использован в цепях постоянного, переменного и пульсирующего токов, модель 2.

Бумажные конденсаторы. Обкладками служит оловянная или алюминиевая фольга, диэлектриком — бумага, пропитанная парафином или компаундом. Полосы фольги и бумаги свертывают в рулон и помещают в картонный, металлический или керамический корпус.

Бумажные конденсаторы дешевы, но имеют большие диэлектрические потери. Они непригодны для цепей высокой частоты, например

Таблица 72

Основные данные бумажных конденсаторов

Тип	Характеристика	Емкость, мкф	Класс точности	Рабочее напряжение, в	Рабочая температура, °С	Примечание
КБГ-И	Герметизированный. Корпус керамический цилиндрической формы	0,00047—0,1	I; II; III	200—600	От—60 до+70	—
КБГ-М	Герметизированный. Корпус металлический цилиндрической формы	0,01—0,25	I; II; III	200—600	От—60 до+70	—
КБГ-МН	Герметизированный. Корпус металлический прямоугольной формы	0,25—10	I; II; III	200—1500	От—60 до+70	—
КБГ-МП	То же	0,01—2	I; II; III	200—1500	От—60 до+70	—
БМ	Корпус металлический цилиндрической формы	0,00047—0,05	II; III	150; 200; 300	От—60 до+70	БМ-1 с вкладными контактными узлами. БМ-2 с паяными контактными узлами
К40П-2 (БГМ)	Корпус металлический цилиндрической формы	0,001—0,047	I; II; III	400; 600	От—60 до+85	К40П-2а с одним изолированным выводом, К40П-2б с двумя изолированными выводами
БГТ	Герметизированный. Корпус металлический прямоугольной формы	0,01—10	I; II; III	200—1500	От—60 до+100	—

для колебательных контуров. Их применяют в цепях питания и цепях звуковых частот.

На рис. 57 показан внешний вид некоторых типов бумажных конденсаторов. В табл. 72 приведены их основные данные. Конденсаторы КБГ-И, КБГ-М, КБГ-МН, КБГ-МП и БГТ пригодны для работы в цепях постоянного, переменного и пульсирующего тока, а также для импульсных режимов. Конденсаторы БМ и К40П-2 для импульсных режимов непригодны.

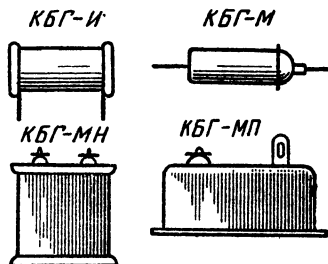


Рис. 57. Бумажные конденсаторы

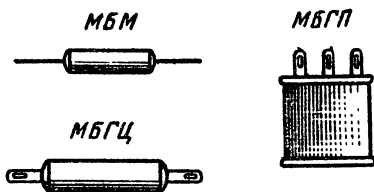


Рис. 58. Металло-бумажные конденсаторы

Металло-бумажные конденсаторы. Для уменьшения размеров бумажных конденсаторов вместо фольги на бумагу методом напыления наносят тонкий металлический слой. Внешний вид некоторых типов металло-бумажных конденсаторов изображен на рис. 58, а их данные приведены в табл. 73.

Конденсаторы МБГП, МБГЦ и МБГН предназначены для работы в цепях постоянного и пульсирующего тока, конденсаторы МБМ — в цепях постоянного, переменного и пульсирующего тока.

Пленочные конденсаторы. Диэлектриком служит тонкая пленка из фторопласта или полистирола. Обкладки выполняют из металлической фольги.

Металлопленочные конденсаторы имеют тонкий металлический слой, нанесенный распылением на пленку из диэлектрика.

Пленочно-бумажные конденсаторы содержат комбинированный диэлектрик из фторопласта и бумаги. Такие конденсаторы выпускают на повышенное рабочее напряжение (3—5 кВ и более).

Основные данные некоторых типов пленочных и металлопленочных конденсаторов приведены в табл. 74.

Слюдяные конденсаторы. Диэлектриком является слюда. Обкладки выполняются из фольги или наносятся на поверхность слюды в виде тонкого металлического слоя. Для уменьшения внешних влияний конденсаторы опрессовывают пластмассой.

Наиболее распространены слюдяные конденсаторы КСО (конденсатор слюдяной опрессованный). Их выпускают десяти видов: КСО-1; КСО-2; КСО-5; КСО-6; КСО-7; КСО-8; КСО-10; КСО-11; КСО-12; КСО-13. Рабочие напряжения 250—7000 В. Интервал рабо-

Таблица 73

Основные данные металло-бумажных конденсаторов

Тип	Характеристика	Емкость, мкф	Класс точности	Рабочее напряже- ние, в	Рабочая температура, °С	Примечание
МБГП	Герметизированный. Корпус металлический прямоугольной формы	0,1—25	I; II; III	160—1500	От—60 до+70	МБГП-1 без планок для крепления, МБГП-2 и МБГП-3 с планками для крепления
МБГЦ	Герметизированный. Корпус металлический цилиндрической формы	0,025—1	I; II; III	200—1000	От—60 до+70	МБГЦ-1 с одним изо- лированным выводом, МБГЦ-2 с двумя изоли- рованными выводами
МБМ	Уплотнен резиной или эпоксидной смолой. Кор- пус металлический ци- линдрической формы	0,005—1	II; III	160—1500	От—60 до+70	—
МБГН	Герметизированный. Корпус металлический прямоугольной формы	1—27	I; II	200	От—60 до+70	—

Таблица 74

Основные данные пленочных и металло-пленочных конденсаторов

Тип	Характеристика	Емкость, мкф	Класс точности	Рабочее напряжение, в	Рабочая температура, °С	Примечание
ФТ	Диэлектрик — фторопласт-4. Корпус металлический цилиндрической формы	0,00051—0,5	I; II; III	200—600	От -60 до +200	Изготавливаются трех видов: ФТ-1; ФТ-2; ФТ-3
К72П-2	То же	0,00056—1	I; II; III	160—1500	От -60 до +200	Изготавливаются трех вариантов: А, Б и В
ПМ	Диэлектрик — полистирол. Уплотнен эпоксидной смолой. Корпус металлический цилиндрической формы	0,0001—0,01	I; II; III	60	От -60 до +70	ПМ-1 с вкладными контактами, ПМ-2 с паяными контактами
ПСО	Диэлектрик — полистирол. Корпус открытый цилиндрической формы	0,00047—0,0001	I; II; III	500	От 0 до +60	—
МПГ-П	Диэлектрик — полистирол. Герметизированный. Корпус металлический прямоугольной формы	0,015—2	00; 0; I; II	250—100	От -60 до +60	—
МПГО	Металло-пленочный. Диэлектрик — полистирол. Корпус металлический прямоугольной формы	0,5—10	I; II; III	160—400	От -60 до +60	—

Таблица 75

Основные данные керамических конденсаторов

Тип	Характеристика	Емкость, пф	Допустимое отклонение емкости от номинальной, %	Рабочее напряжение, в	Рабочая температура, °С	Размеры, мм	
						диаметр	длина
КТ-1	Трубчатый кера- мический	1—6800	5; 10; 20	160—750	От—40 до+155	3,5	10; 12; 16; 20
КТ-2	То же	2,2— 33 000	2; 5; 10; 20	160—750	От—40 до+155	6	12; 16; 20; 25; 30; 40; 50
КТ-3	»	2,2—1000	2; 5; 10; 20	160—750	От—40 до+155	1,5	12; 20; 30; 40; 50; 60
КТ-4	»	39—750	2; 5; 10; 20	160—750	От—40 до+155	6	12; 20; 30; 40
КД-1	Дисковый кера- мический	1—6800	5; 10; 20	100—500	От—40 до+155	4; 5; 6	—
КД-2	То же	1—6800	5; 10; 20	100—500	От—40 до+155	6; 8; 10; 12; 16	—
КГК-1	Трубчатый герме- тизированный	5—180	2; 5; 10; 20	500	От—60 до+80	7	16
КГК-2	То же	100—360	2; 5; 10; 20	500	От—60 до+80	7	25
КГК-3	»	240—560	2; 5; 10; 20	500	От—60 до+80	7	35
КГК-4	»	430—750	2; 5; 10; 20	500	От—60 до+80	7	45
КГК-5	»	680—1000	2; 5; 10; 20	500	От—60 до+80	7	55

чих температур от -60 до $+70^{\circ}\text{C}$. Номинальные емкости $10-50\,000\text{ нф}$. Допуск по емкости $\pm 2, \pm 5, \pm 10$ и $\pm 20\%$.

По температурным свойствам слюдяные конденсаторы делят на четыре группы — А, Б, В и Г. Конденсаторы группы Г имеют наименьший ТКЕ ($\pm 50 \cdot 10^{-6}$). Конденсаторы группы В имеют ТКЕ, равный $\pm 100 \cdot 10^{-6}$, группы Б — равный $\pm 200 \cdot 10^{-6}$. Наибольшее изменение емкости при изменении температуры имеют конденсаторы группы А, для которых ТКЕ не нормирован.

Слюдяные конденсаторы имеют сравнительно небольшие размеры и пригодны для работы в цепях высокой частоты. Раньше их широко применяли в колебательных контурах и других электрических цепях радиоаппаратуры. В настоящее время их заменяют керамическими конденсаторами, имеющими лучшие качественные показатели.

Керамические конденсаторы. Диэлектриками служат специальные сорта керамики, имеющие малые потери на высоких частотах. Обкладки наносятся на поверхность керамики в виде тонкого слоя серебра. Сверху конденсатор покрывают цветной эмалью.

Наиболее распространены керамические конденсаторы следующих типов: КТ (конденсатор трубчатый), КД (конденсатор дисковый), КГК (конденсатор герметизированный керамический).

По температурным свойствам керамические конденсаторы делят на несколько групп. Группа Д имеет температурный коэффициент емкости $-(700 \pm 100) \cdot 10^{-6}$, группа М $-(50 \pm 30) \cdot 10^{-6}$, группа С $+(120 \pm 30) \cdot 10^{-6}$.

Наименьший ТКЕ $+(30 \pm 30) \cdot 10^{-6}$ имеют конденсаторы группы Р. Их называют термостабильными и применяют в колебательных контурах генераторов высокой стабильности, например в измерительной аппаратуре. Конденсаторы этой группы окрашивают в серый цвет. Конденсаторы, имеющие отрицательный ТКЕ (группы Д и М), называются термокомпенсирующими. Включение такого конденсатора в колебательный контур компенсирует изменение емкости при изменении температуры. Термокомпенсирующие конденсаторы окрашивают в голубой, красный или зеленый цвет.

Керамические конденсаторы пригодны для работы в цепях постоянного и переменного тока, в том числе и в цепях токов высокой частоты, а также в импульсных режимах. Их используют в качестве контурных, разделительных и блокирующих в аппаратуре коротких и ультракоротких волн.

В табл. 75 приведены данные некоторых типов керамических конденсаторов, а на рис. 59 показан их внешний вид.

Электролитические конденсаторы. Имеют большую емкость при сравнительно небольших размерах. Одной обкладкой такого конденсатора (анодом) служит металлическая фольга, диэлектриком — слой окиси на поверхности фольги. Второй обкладкой (катодом) является электролит. Промышленность выпускает несколько типов электролитических конденсаторов. Они отличаются материалом и толщиной фольги, материалом прокладок и составом электролита. Фольгу выполняют из тантала или алюминия, для прокладок применяют шелк или бумагу, электролитом служит смесь этилового спирта и этиленгликоля или метилгликоль.

Таблица 76

Интервалы рабочих температур электролитических конденсаторов

Группа	Интервал рабочих температур, °C
ОМ*	От $-(50 \div 60)$ до $+(60 \div 70)$
ПМ*	От -50 до $+60$
М*	От -40 до $+(60 \div 70)$
Н	От -10 до $+(60 \div 70)$

*Морозостойкие

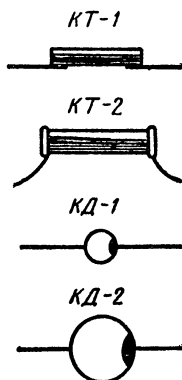


Рис. 59. Керамические конденсаторы

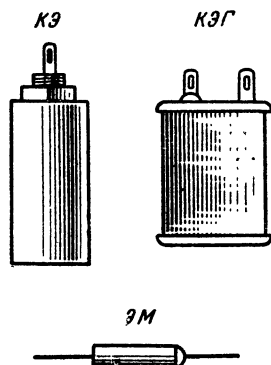


Рис. 60. Электролитические конденсаторы

Электролитические конденсаторы выпускаются с емкостями 1; 2; 5; 10; 20; 100; 200; 500; 1000; 2000 и 5000 $\mu\text{кф}$. Допускаются отклонения от номинала: 20% в сторону уменьшения и до 50% в сторону увеличения (для малогабаритных конденсаторов, например ЭМ, даже до 100%).

Недостатками электролитических конденсаторов являются большие токи утечки и большие потери. Кроме того, они непригодны для работы в цепях переменного тока. Их можно включать только в цепь постоянного или пульсирующего напряжения, обязательно соблюдая полярность.

У малогабаритных электролитических конденсаторов выводы отмечены знаками «+» и «-». Если таких отметок нет, следует подключать к полюсу источника напряжения вывод, изолированный от корпуса, а к минусу — вывод, соединенный с корпусом, или сам корпус конденсатора.

Т а б л и ц а 77

Основные данные электролитических конденсаторов

Тип	Характеристика	Емкость, мкф	Допустимые отклонения емкости от номинальной, %	Рабочее напряже- ние, в	Темпера- турная группа
КЭ-1	Анод алюми- ний, корпус ци- линдрический, один вывод	50—2000	От + 50 до — 20	8—500	ОМ; ПМ; М и Н
КЭ-2	Анод алюми- ний, корпус ци- линдрический, один вывод, гайка для крепления	50—500	От + 50 до — 20	8—500	
КЭ-3	Анод алюми- ний, корпус ци- линдрический, два вывода	50—100	От + 50 до — 20	8—500	
КЭГ-1	Анод алюми- ний, корпус пря- моугольной фор- мы, герметизиро- ванный	2—500	От + 50 до — 20	8—500	ОМ; М
КЭГ-2	То же	5—2000	От + 50 до — 20	8—500	ОМ; М
ЭТО	Анод из тан- таловой фольги, кор- пус цилиндриче- ский, два вывода	5—500	От + 50 до — 20	6—150	ОМ; М
ЭМ	Анод алюми- ний, корпус ци- линдрический, два вывода	0,5—50	+ 100	4—150	ОМ; М; Н

Электролитические конденсаторы применяют в качестве блокирующих и переходных в цепях низкой частоты, развязывающих фильтрах и фильтрах выпрямителей.

Наиболее широко используют в радиоаппаратуре следующие типы электролитических конденсаторов: КЭ (конденсатор электролитический), КЭГ (конденсатор электролитический герметизированный), ЭМ (электролитический малогабаритный), ЭТО (электролитический с танталовым анодом, объемный).

По температурным свойствам электролитические конденсаторы делятся на группы (табл. 76). В табл. 77 приведены основные данные некоторых типов электролитических конденсаторов, а на рис. 60 показан их внешний вид.

Конденсаторы переменной емкости

Конденсаторы переменной емкости выполняют с воздушным или твердым диэлектриком в виде пленки. Воздушные конденсаторы применяются чаще, так как дают большую точность установки емкости и отличаются постоянством параметров. Обычно их используют для настройки колебательных контуров.

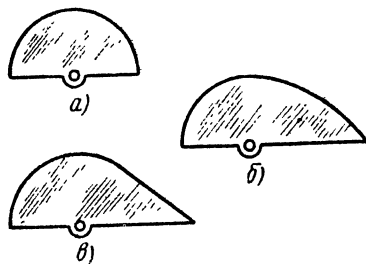


Рис. 61. Форма подвижных пластин конденсаторов переменной емкости:

а — прямоемкостного, б — прямоволнового, в — прямоуглового

При повороте подвижных пластин изменяется емкость конденсатора, а следовательно, частота и длина волны колебательного контура. Зависимость изменения емкости и частоты от угла поворота определяется формой подвижных пластин (ротора).

Полукруглые пластины (рис. 61, а) дают изменение емкости, прямо пропорциональное углу поворота ротора. Конденсаторы с такими пластинами называются *прямоемкостными*. В практике их используют мало.

Для получения равномерной шкалы радиоприемника служат прямоволновые конденсаторы (рис. 61, б). Для измерительных генераторов и коротковолновых приемников удобны *прямоугловые* конденсаторы (рис. 61, в).

Во многих случаях бывает необходимо настраивать несколько колебательных контуров одновременно. Например, в супергетеродинном приемнике входной колебательный контур, контур в анодной цепи лампы УВЧ и контур гетеродина. Поэтому кроме одиночных конденсаторов переменной емкости промышленность выпускает блоки из двух, трех или четырех конденсаторов.

Подвижные пластины всех конденсаторов укреплены на одной оси, электрически соединены между собой и с корпусом конденсатора. Пластины статора изолированы от корпуса и от них сделаны отдельные выводы. Начальную емкость всех конденсаторов выравнивают при помощи подстроечных конденсаторов.

Подстроечные конденсаторы

Так называют небольшие конденсаторы переменной емкости. Пределы изменения их емкости не более 10—60 *пф*. Подстроечные воздушные конденсаторы устроены так же, как и прямоемкостные конденсаторы переменной емкости, но имеют малое число пластин и небольшие размеры. Наиболее удобны керамические подстроечные конденсаторы (рис. 62).

Основание (статор) конденсатора сделано из керамики и часть его поверхности покрыта серебром. Ротор имеет форму диска; часть

Таблица 78

Электрические данные и размеры керамических подстроечных конденсаторов

Тип	Пределы изменения емкости, пф	Температурный коэффициент емкости на 1° С	Рабочее напряжение, В		Размеры, мм
			высокой частоты	постоянное	
КПК-1	2—7; 4—15; 6—25; 8—30	$(200 \div 800) \cdot 10^{-6}$	250	500	27×18×12
КПК-2	8—60; 10—100; 25—150	$(200 \div 800) \cdot 10^{-6}$	250	500	42×33,5×9,5
КПК-3	8—60; 10—100; 25—150	$(200 \div 800) \cdot 10^{-6}$	250	500	53,5×36×14
КПК-5	25—150; 25—175	—	250	500	52×35×15,5
КПК-Т (трубчатый)	1—10; 2—15; 2—20; 2—25	$\pm 400 \cdot 10^{-6}$	—	500	48×13,5×88

его в виде полукруга или сектора также покрыта серебром. При повороте диска емкость конденсатора изменяется.

Промышленность выпускает конденсаторы КПК (конденсатор подстроечный керамический) и КПК-Т (конденсатор подстроечный керамический трубчатый). Электрические данные и размеры таких конденсаторов приведены в табл. 78.

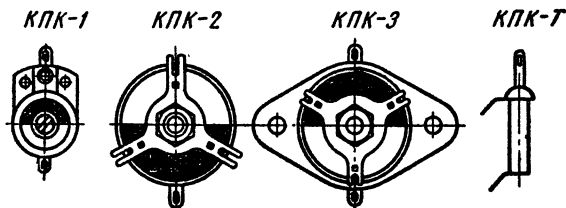


Рис. 62. Керамические подстроечные конденсаторы

§ 32. Катушки

Катушки индуктивности применяют в качестве элементов колебательных контуров, для связи одних цепей с другими и в качестве дросселей.

Дросселем называется катушка индуктивности, которая служит для разделения постоянного и переменного тока или токов разных частот. Индуктивное сопротивление катушки зависит от частоты и определяется по формуле

$$x_L = 2\pi fL,$$

где x_L — сопротивление, ом;

f — частота, гц;

L — индуктивность, гн.

Одна и та же катушка представляет собой разное сопротивление для токов разных частот. Для постоянного тока сопротивление любой катушки очень мало.

Каждая катушка характеризуется индуктивностью, добротностью, стабильностью и собственной емкостью.

Катушки с малой индуктивностью изготовляют без сердечника с небольшим числом витков. Для увеличения индуктивности катушку выполняют многослойной и вводят сердечник из ферромагнитного материала. Потери энергии в катушке должны быть как можно меньше. Поэтому ее стремятся выполнить так, чтобы получить наибольшую индуктивность при малом активном сопротивлении.

Отношение индуктивного сопротивления катушки на данной частоте к активному сопротивлению на этой же частоте называется добротностью катушки и обозначается Q_L .

$$Q_L = \frac{x_L}{r} = \frac{2\pi fL}{r}.$$

Индуктивность и другие параметры катушки не должны меняться под влиянием внешних причин, т. е. катушка должна обладать стабильностью.

Собственная (междувитковая) емкость катушки понижает ее добротность и уменьшает стабильность.

Индуктивность *однослойной катушки* при сплошной намотке (виток к витку) можно рассчитать по формуле

$$L = \frac{0,01 \cdot D^2 \omega^2}{\frac{l}{D} + 0,44},$$

где L — индуктивность, *мкГн*;
 ω — число витков;
 l — длина намотки, *см*,
 D — диаметр катушки, *см*.

Для уменьшения собственной емкости витки катушки наматывают не вплотную, а на некотором расстоянии один от другого (намотка с принудительным шагом).

Многослойные катушки выполняют простой намоткой «внавал» или специальными способами намотки («универсаль» и др.). Индуктивность многослойной катушки можно рассчитать по формуле

$$L = \frac{0,08 \cdot d_{\text{ср}}^2 \omega^2}{3d_{\text{ср}} + 9l + 10t},$$

где L — индуктивность, *мкГн*;
 $d_{\text{ср}}$ — средний диаметр намотки, *см*;
 ω — число витков;
 l — длина намотки, *см*;
 t — толщина намотки, *см*.

Для уменьшения собственной емкости многослойную катушку выполняют из отдельных секций. Секционированные катушки применяют в качестве контурных катушек и дросселей высокой частоты.

Малую собственную емкость имеют многослойные катушки с намоткой «универсаль». При такой намотке провод зигзагом переходит с одного края катушки на другой (рис. 63).

Для устранения влияния электромагнитного поля катушки на соседние детали и, наоборот, внешних полей на катушку ее закрывают металлическим экраном. Для высокочастотных катушек экран изготовляют из меди или алюминия толщиной 0,4—0,5 мм.

Экран уменьшает индуктивность и добротность катушки и увеличивает ее собственную емкость. Чем ближе расположен экран к виткам катушки, тем сильнее изменяются ее параметры. Чтобы влияние экрана было небольшим, его диаметр и длину берут по крайней мере в два раза больше диаметра и длины намотки. Для низкочас-

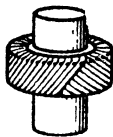


Рис. 63.
Катушка
с намот-
кой «уни-
версаль»

тотных катушек применяют экраны из ферромагнитных материалов, например из листовой стали толщиной 0,5—1,5 мм.

Для увеличения добротности и уменьшения габаритов катушки применяют сердечники из ферромагнитных материалов. Высоко-частотные катушки имеют сердечники из карбонильного железа (см. табл. 64). Добротность катушек с таким сердечником равна 400—500, а без сердечника — не более 200.

Для контурных катушек длинных и средних волн широко применяют сердечники СБ (см. табл. 64). Низкочастотные дроссели имеют сердечники из листовой электротехнической стали. Толщину стальных листов берут 0,2—0,5 мм для дросселей, используемых в цепях звуковых частот, и около 0,5 мм — в цепях переменного тока с частотой 50 гц.

Способы изменения индуктивности (подстройка катушек). Индуктивность катушки увеличивается с увеличением числа витков, диаметра витка, при сближении витков. Это учитывают при изготовлении катушки. Введение внутрь катушки сердечника из магнетодиэлектрика также увеличивает ее индуктивность. Если сердечник выполнен из диамагнитного материала, например латуни, то при введении его индуктивность катушки уменьшается. То же произойдет, если внутрь катушки ввести короткозамкнутый виток. На практике чаще всего индуктивность изменяют, перемещая сердечник внутри катушки.

Вариометры. Вариометром называется катушка, индуктивность которой можно изменять в больших пределах. Чаще всего вариометр состоит из двух катушек, взаимная индуктивность которых может меняться. Вариометры применяют главным образом в передатчиках для настройки колебательных контуров и для подбора связи между контурами.

§ 33. Трансформаторы

У низкочастотных трансформаторов магнитный поток первичной обмотки почти целиком пронизывает витки вторичной обмотки. Э. д. с., наводимые в обмотках, пропорциональны их числам витков.

Коэффициентом трансформации называется отношение числа витков первичной обмотки к числу витков вторичной. Отношение витков пропорционально отношению э. д. с. и, если пренебречь падением напряжения на самих обмотках, отношению напряжений. Пренебрегая потерями энергии в трансформаторе, можно считать отношение токов в обмотках обратно пропорциональным отношению напряжений. Тогда коэффициент трансформации

$$n = \frac{w_1}{w_2} = \frac{E_1}{E_2} \approx \frac{U_1}{U_2} \approx \frac{I_2}{I_1},$$

где w_1 и w_2 — числа витков первичной и вторичной обмоток (рис. 64);

E_1 и E_2 — наводимые в обмотках э. д. с.;

U_1 и U_2 — напряжения на обмотках;

I_1 и I_2 — токи в обмотках.

Если вторичная обмотка имеет больше витков, чем первичная ($w_2 > w_1$; $n < 1$), то трансформатор называется *повышающим*, если меньше, чем первичная ($n > 1$), — *понижающим*.

Когда во вторичную обмотку включено сопротивление нагрузки R_2 , тогда для источника трансформатор вместе с нагрузкой представляет собой некоторое эквивалентное сопротивление R_{13} (на рис. 64 оно показано пунктиром). Величину эквивалентного сопротивления можно найти по формуле

$$R_{13} = n^2 R_2.$$

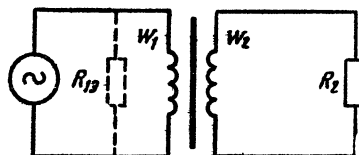


Рис. 64. Принципиальная схема трансформатора

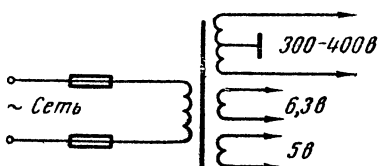


Рис. 65. Схема силового трансформатора

Если во вторичную обмотку вместо активного сопротивления R_2 включить индуктивность L_2 или емкость C_2 , то их эквивалентные величины будут:

$$L_{13} = n^2 L_2,$$

$$C_{13} = \frac{C_2}{n^2}.$$

Таким образом, при трансформации переменного тока и напряжения происходит трансформация сопротивления.

Выходные трансформаторы усилителей и радиоприемников используют именно как трансформаторы сопротивления. При помощи трансформатора сопротивление нагрузки согласуется с внутренним сопротивлением лампы или транзистора.

Конструкция трансформатора зависит от его назначения и частоты переменного тока цепи, где он включен. В цепях низкой частоты применяют трансформаторы с сердечниками из ферромагнитных материалов. Трансформаторы высокой частоты иногда не имеют сердечников.

По назначению трансформаторы делятся на силовые и сигнальные.

Силовой трансформатор служит для питания электронных ламп и других цепей радиоаппаратуры. Его первичную обмотку включают в сеть переменного тока (рис. 65). Вторичных обмоток у него несколько. Повышающую обмотку включают в схему выпрямителя, который дает выпрямленное напряжение для питания анодов ламп. Понижающие обмотки служат для питания накала ламп. У силовых

трансформаторов, выпускаемых промышленностью, имеется возможность переключения первичной обмотки на различные напряжения сети (110; 127 или 220 в).

Сигнальные трансформаторы преобразуют электрические сигналы. Примером их могут служить входные, междупламповые и выходные трансформаторы усилителей.

Конструктивно сигнальные трансформаторы звуковой частоты и маломощные силовые трансформаторы выполняются одинаково.

Сердечники таких трансформаторов набирают из штампованных пластин электротехнической стали или железо-никелевых сплавов. Сердечник может быть броневой (Ш-образный, рис. 66, а), стержневой (рис. 66, б), тороидальный (кольцевидный).

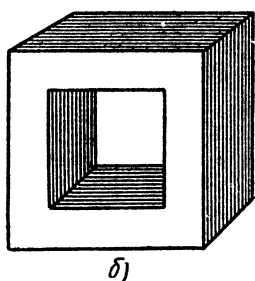
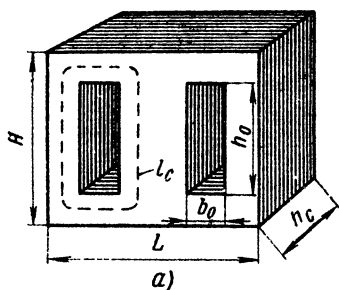


Рис. 66. Сердечники трансформаторов:

а — броневой, б — стержневой

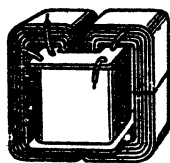


Рис. 67. Трансформатор с сердечником из металлической ленты

Маломощные трансформаторы обычно делают с броневыми сердечниками. В табл. 79 приведены размеры броневых сердечников. Для высокочастотных трансформаторов применяют броневые сердечники из ферритов.

Стержневую конструкцию сердечников применяют для трансформаторов большой мощности (киловатт и выше).

Тороидальные сердечники сложны в производстве и дороги, но обладают малыми полями рассеяния и поэтому применяются довольно часто. Если материал сердечника должен иметь толщину меньше 0,3 мм, то сердечник изготавливают не из пластин, а из ленты (рис. 67).

Каркас, на котором располагают обмотки, выполняют из электро-

Таблица 79

Броневые сердечники для низкочастотных трансформаторов, автотрансформаторов и дросселей

Тип	Размеры (см. рис. 66, а)								
	L , мм	H , мм	h_c , мм	S_c , см ²	b_0 , мм	h_0 , мм	l_c , см	l_B , см	Δ , а/мм ²
Ш6×8	24	21	8	0,41	6	15	5,1	4,7	5,7
Ш8×10	32	28	10	0,68	8	20	6,8	6	4,4
Ш8×16	32	28	16	1,1	8	20	6,8	7,1	3,9
Ш10×10	40	35	10	0,9	10	25	8,5	6,9	4
Ш10×16	40	35	16	1,45	10	25	8,5	8,1	3,7
Ш12×12	42	42	12	1,3	9	30	9,7	7,5	4
Ш12×12	48	42	12	1,3	12	30	10,3	8,5	3,3
Ш12×16	42	42	16	1,7	9	30	9,7	8,3	3,9
Ш12×20	48	30	20	2,2	12	18	7,6	10	3,3
Ш12×25	42	42	25	2,7	9	30	9,7	10	—
Ш16×16	64	40	16	2,3	16	24	10,5	11	3,1
Ш16×20	64	40	20	2,9	16	24	10,5	12	3
Ш16×25	64	56	25	3,6	16	40	13,7	13	2,6
Ш16×32	48	40	32	4,6	8	24	8,9	12	3,3
Ш16×40	64	40	40	5,8	18	24	10,5	16	2,6
Ш18×18	54	45	18	2,9	9	27	10	19,8	4,2
Ш18×36	54	45	36	5,8	9	27	10	13,4	3,3
Ш20×20	60	50	20	3,6	10	30	12,1	10,9	3,9
Ш20×20	80	70	20	3,6	20	50	17,1	13,8	2,5
Ш20×25	80	50	25	4,5	20	30	13,3	14,8	2,7
Ш20×30	60	50	30	5,4	10	30	11,1	12,9	3,5
Ш20×40	65	65	40	7,2	12,5	45	14,6	15,9	3,1
Ш25×25	100	62,5	25	5,6	25	37,5	16,4	17,4	2,5
Ш25×32	100	87,5	32	7,2	25	62,5	21,4	19	2,2
Ш25×40	100	62,5	40	9	25	37,5	16,4	21	2,3
Ш32×32	128	80	32	9,3	32	48	21	23	2,3
Ш32×40	128	80	40	11,5	32	48	21	24	2,2
Ш32×50	128	112	50	14,4	32	80	27,4	26	1,9
Ш32×63	128	80	63	18	32	40	21	28,4	1,9
Ш34×52	102	102	52	16,4	17	68	22,3	22,6	2,6

Продолжение табл. 79

Тип	Размеры (см. рис. 66, а)								
	L , мм	H , мм	h_c , мм	S_c , см ²	b_0 , мм	h_0 , мм	I_c , см	I_B , см	Δ , а/мм ²
Ш35×35	130	105	35	11,2	30	70	25,5	23,5	1,9
Ш35×45	130	105	45	14,4	30	70	25,5	25,5	1,7
Ш40×40	160	100	40	14,4	40	60	26,3	28,5	2
Ш40×40	160	140	40	14,4	40	100	34,3	28,5	1,8
Ш40×50	160	100	50	18	40	60	26,3	30	1,9
Ш40×63	160	140	63	23	40	100	34,3	33	1,7
Ш40×80	160	100	80	29	40	60	26,3	37	1,8
Ш40×100	160	100	100	36	40	60	26,3	41	1,7
Ш40×100	160	140	100	36	40	100	34,3	41	1,5

Примечание. S_c — площадь сечения магнитопровода, I_B — средняя длина витка, Δ — допустимая плотность тока.

картона, гетинакса или текстолита. Картонные каркасы склеивают клеем БФ, а гетинаксовые и текстолитовые делают разборными.

Обмотки маломощных трансформаторов изготавливают из провода с эмалированной изоляцией (ПЭЛ или ПЭВ). Обмотки высокого напряжения наматывают из провода с шелковой или эмалево-шелковой изоляцией (ПЭЛШО; ПЭЛШД). Между слоями обмотки делают прокладки из лакоткани или тонкой бумаги. Для повышения влагостойкости изоляции каркас вместе с обмотками пропитывают битумом или битумным компаундом.

Автотрансформаторы

Автотрансформатор имеет только одну обмотку. Его можно включать как повышающий и как понижающий (рис. 68). В общей части обмоток протекает разность токов I_1 и I_2 . Эту часть витков

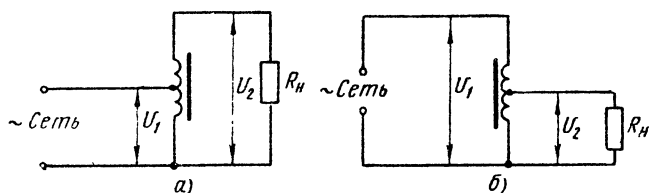


Рис. 68. Схемы автотрансформаторов:

а — повышающего, б — понижающего

выполняют из более тонкого провода. Поэтому при небольших значениях коэффициента трансформации ($n=1,5 \div 2$) автотрансформатор дает большую экономию меди по сравнению с трансформатором.

§ 34. Резисторы

В радиосхемах применяют различные типы резисторов. Во многих случаях резистор включают в электрическую цепь, чтобы получить на нем нужную величину постоянного или переменного напряжения (например, нагрузочное сопротивление в цепи анода лампы, сопротивление автоматического смещения). В других случаях на резисторе «гасится» излишек напряжения. Примером этого может служить сопротивление в цепи экранной сетки тетрода или пентода. В измерительной аппаратуре используют добавочные сопротивления к вольтметрам и шунты к амперметрам. Резисторы применяют также в качестве делителей напряжения, потенциометров и реостатов.

Каждый резистор кроме номинальной величины электрического сопротивления характеризуется точностью, с которой выдерживается эта номинальная величина (допуском), номинальной мощностью стабильностью и собственными индуктивностью и емкостью. В некоторых случаях имеет значение уровень собственных шумов, возникающих в резисторе.

Номинальные величины сопротивлений резисторов, выпускаемых промышленностью, приведены в табл. 81.

Номинальной (допустимой) мощностью резистора называется мощность, которая может рассеиваться на нем при температуре 20°C . При повышенной температуре допустимая мощность снижается.

Чтобы подсчитать мощность, которая рассеивается на резисторе, нужно кроме величины сопротивления r знать ток в цепи I или падение напряжения на этом резисторе U . Подсчет производят по любой из формул

$$P = I^2 r = \frac{U^2}{r} = UI,$$

где P — мощность, рассеиваемая на резисторе, вт ;

I — ток, а ;

U — напряжение, в ;

r — сопротивление, ом .

Величина сопротивления должна быть постоянной все время независимо от изменения внешних условий, например температуры. Стабильность сопротивления имеет особенно большое значение в измерительных приборах.

При включении резистора в цепи токов высокой частоты имеет значение их собственная индуктивность и емкость. Эти величины зависят от конструкции резистора.

Маркировка резисторов. На резисторах, выпускаемых промышленностью, указаны: номинальная величина сопротивления в омах , килоомах или мегахмах (на малогабаритных резисторах килоомы обозначены буквой k , а мегахмы — буквой M); класс точности или отклонение от номинальной величины в процентах.

Номинальная мощность указана только на резисторах больших габаритов. О мощности непроволочных резисторов можно судить по их размерам.

Постоянные резисторы

Непроволочные постоянные резисторы очень широко применяют в радиоаппаратуре. Они дешевы, имеют небольшие размеры, малую собственную емкость и индуктивность. Стабильность непроволочных резисторов достаточно высока.

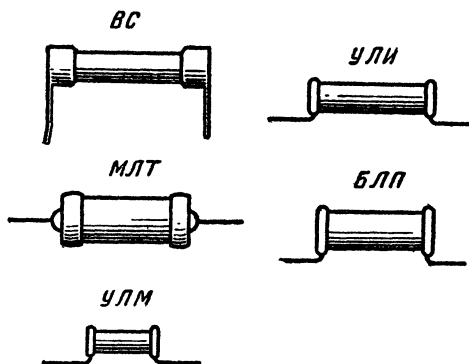


Рис. 69. Непроволочные постоянные резисторы

Наиболее распространены в радиоаппаратуре следующие типы резисторов: **ВС** — влагостойкие; **УЛМ** — углеродистые лакированные малогабаритные; **МЛТ** — металлизированные лакированные термостойкие.

Для измерительной аппаратуры используют следующие резисторы повышенной стабильности и точности (прецизионные): **УЛИ** — углеродистые лакированные измерительные; **БЛП** — бороуглеродистые лакированные прецизионные; **МЛП** — металлизированные лакированные прецизионные.

Все эти типы относятся к поверхностным резисторам. Основанием такого резистора служит керамическая трубка или стержень, на которые нанесен тонкий проводящий слой (углеродистый или металлический). Для увеличения сопротивления проводящий слой расположен в виде ленты, обвивающей стержень. Проводящий слой соединен с металлическими выводами.

Объемные резисторы выполняют в виде токопроводящего стержня из смеси углерода и связующего вещества. Промышленность выпускает постоянные объемные резисторы **ТВО** (теплостойкие вла-

Таблица 81

Основные данные неповоротных постоянных поверхностных резисторов

Тип резистора	Номинальная величина сопротивления	Класс точности	Номинальная мощность рассеивания, вт	Предельное значение напряжения, в	Интервал рабочих температур, $^{\circ}\text{C}$	Размеры, мм	
						диаметр	длина
BC-0,25	27 ом—5,1 Мом	I; II, III	0,25	400	{ От —60 до +100	5,4	18,5
BC-0,5	27 ом—10 Мом	II	0,5	500		5,4	28,5
BC-1	47 ом—10 Мом	II	1	700		7,2	32,5
BC-2	47 ом—10 Мом	I; II; III	2	1000		9,5	53
BC-5	47 ом—10 Мом	I; II; III	5	1500		17	75
BC-10	75 ом—10 Мом	I; II; III	10	3000	{ От —60 до +120	27	120
УЛМ	27 ом—1 Мом	I; II; III	0,12	100		2,5	6,5
МЛТ-0,25	51 ом—5,1 Мом	I; II; III	0,25	250	{ От —60 до +120	3	7
МЛТ-0,5	100 ом—5,1 Мом	I; II; III	0,5	350		4,2	10,8
МЛТ-1	100 ом—10 Мом	I; II; III	1	500		6,6	13
МЛТ-2	100 ом—10 Мом	I; II; III	2	750		8,6	18,5
УЛИ-0,1	1 ом—500 ком	{ $\pm 1\%$; $\pm 2\%$; $\pm 3\%$	0,1	350	{ От —60 до +30	5,4	16
УЛИ-0,25	1 ом—1 Мом		0,25	350		7,2	16
УЛИ-0,5	1 ом—1 Мом		0,5	500		9,5	18
УЛИ-1	1 ом—1 Мом		1	700		11,5	27
БЛП-0,1	1 ом—100 ком	{ $\pm 0,5\%$; $\pm 1\%$	0,1	100	{ От —50 до +70	5,5	14,5
БЛП-0,25	1 ом—100 ком		0,25	150		7	14
БЛП-0,5	1 ом—100 ком		0,5	225		9	15,5
БЛП-1	1 ом—100 ком		1	300		11	24

Т а б л и ц а 82

Проволочные постоянные резисторы

Тип резистора	Номинальная величина сопротивления, Ω	Номинальная мощность рассеивания, вт	Размеры, мм		Вес, г	Примечание
			диаметр	длина		
ПЭ-7,5	5—5 000	7,5	10	40	12	Постоянные, с выводами на концах
ПЭ-15	5—5 000	15	14	50	16	
ПЭ-20	2,5—5 000	20	18	50	30	
ПЭ-25	5—5 600	25	23	50	40	
ПЭ-50	1—50 000	50	23	90	60	
ПЭ-75	1—30 000	75	23	160	110	Величина сопротивления регулируется хомутиком
ПЭ-150	0,9—50 000	150	30	215	300	
ПЭВ-10Х	5—200	10	14	41	34	
ПЭВ-15Х	20—220	15	17	45	42	
ПЭВ-20Х	20—430	20	17	51	52	
ПЭВ-25Х	10—510	25	21	51	67	
ПЭВ-30Х	20—1 000	30	21	71	90	
ПЭВ-50Х	24—1 500	50	29	91	144	
ПЭВ-100Х	51—2 700	100	29	170	198	

Тип резистора	Группа	Номинальная величина сопротивления, ком	Номинальная мощность, вт	Допускаемое отклонение величины сопротивления	Предельное напряжение, в
СП	А, Б	500 ом—5 Мом	1; 2	$\pm 20\%$	400; 500
	В	5 ком—2,5 Мом	0,5; 1	$\pm 30\%$	
СПО	А	47 ом—4,7 ком	0,15; 0,5; 1; 2	$\pm 20\%$	160; 600
ВК	А	2,5 ком—7,5 Мом	0,5	$\pm 25\%$	200; 350
	Б, В	100 ком—2 Мом	0,2	$\pm 25\%$	
ТК-Д	А	2,5 ком—7,5 Мом; 15 ком—2 Мом	0,2; 0,5	$\pm 25\%$	350

гостойкие объемные) на мощности 0,125—60 *вт*; номинальные величины сопротивлений от 10 *ом* до 100 *ком*.

Внешний вид непроволочных постоянных поверхностных резисторов показан на рис. 69, в табл. 81 приведены их основные данные.

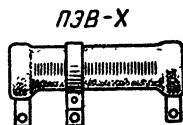
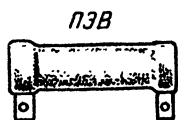


Рис. 70. Проволочные постоянные резисторы

Проволочные постоянные резисторы (шунты и добавочные сопротивления к измерительным приборам, различные сопротивления в цепях мощной аппаратуры) применяют в радиоаппаратуре в тех случаях, когда нужно иметь очень точную величину сопротивления или на резисторе должна рассеиваться большая мощность.

Для изготовления таких резисторов используют высокоомные сплавы. Провод наматывают на каркас из изоляционного материала — гетинакса, текстолита, фарфора. Проволочные резисторы обладают значительной собственной индуктивностью и емкостью и в высокочастотных цепях применяются мало. Для уменьшения индуктивности выполняют бифилярную намотку. Провод складывается вдвое, токи в соседних витках имеют противоположное направление, и магнитные поля обеих половин обмотки взаимно уничтожаются.

Промышленность выпускает проволочные резисторы следующих типов: ПЭ — проволочный эмалированный (остеклованный); ПЭВ — проволочный эмалированный влагостойкий; ПЭВ-Х — то же, с передвижным хомутиком для регулировки. В табл. 82 приведены данные некоторых типов проволочных постоянных резисторов, а на рис. 70 показан их внешний вид.

Переменные резисторы

Переменные резисторы служат для регулировки токов и напряжений в цепях радиоаппаратуры. При помощи переменных резисторов осуществляется регулировка громкости, тембра звучания и т.д. Наиболее распространены непроволочные переменные резисторы ти-

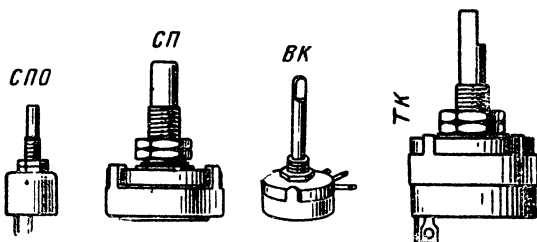


Рис. 71. Непроволочные переменные резисторы

пов СП, СПО, ВК и ТК. Проволочные переменные резисторы применяют несколько реже. Резисторы СП, ВК и ТК изготовляют с проводящим слоем на гетинаксовом основании; СПО — объемный резистор на фарфоровом основании. Резисторы ТК-Д снабжены двухполюсным выключателем питания.

Переменные резисторы имеют различную зависимость изменения сопротивления от угла поворота подвижного контакта. Группа А соответствует линейной зависимости, группы Б и В — нелинейной (Б — логарифмическая зависимость, В — показательная). Основные данные непроволочных переменных резисторов приведены в табл. 83, их внешний вид показан на рис. 71.

Глава VIII. УСИЛИТЕЛИ

§ 35. Классификация усилителей

Усилители электрических сигналов применяют в радиосвязи, радиовещании, телевидении, радиолокации, звуковом кино и многих других областях науки и техники.

Усилители делятся на ряд типов.

По роду усиливаемых электрических сигналов различают:

усилители гармонических сигналов, которые увеличивают амплитуду периодических сигналов различной величины и формы. К ним относятся, например, усилители речевых или музыкальных передач (микрофонные, магнитофонные и др.);

усилители импульсных сигналов, предназначенные для усиления электрических импульсов различной величины и формы. Такие усилители применяются в аппаратуре импульсной связи, телевидении, радиолокации.

По полосе усиливаемых частот усилители делятся на:

усилители низкой, или звуковой, частоты (УНЧ), предназначенные для усиления колебаний с частотами от 40—200 гц до 3—15 кгц. Такие усилители часто являются самостоятельными установками, например, на радиотрансляционных узлах. Кроме того, усилитель низкой частоты входит в состав почти каждого радиоприемника, служит модулирующим устройством радиопередатчика;

усилители высокой частоты (УВЧ), которые служат для усиления колебаний с частотами сотни килогерц и выше. Они обычно входят в состав радиоприемника и радиопередатчика (см. гл. IX и X). К ним относятся и усилители промежуточной частоты (УПЧ) супергетеродинных приемников;

широкополосные усилители или видеоусилители, отличающиеся очень широким диапазоном частот (от нескольких десятков герц до десятков мегагерц). Их применяют в телевидении, радиолокации, импульсной связи;

усилители постоянного тока, усиливающие сколько угодно медленные колебания. Их используют в измерительной аппаратуре, счетно-решающих устройствах, в автоматике и телемеханике.

По роду усилительного элемента различают:

усилители на транзисторах;

усилители на электронных лампах.

Обычно усилитель содержит несколько ступеней (каскадов). Каскад состоит из усилительного элемента, нагрузки и деталей, связывающих этот элемент с другими каскадами.

Число ламп или транзисторов в усилителе не всегда соответствует числу каскадов. На одном двойном триоде можно собрать два каскада. Наоборот, в двухтактном каскаде могут работать два транзистора, две или даже четыре лампы.

В большинстве случаев усилитель служит для увеличения мощности сигнала, отдаваемого в нагрузку. Однако поскольку для управления электронной лампой в режиме без сеточных токов достаточно одного только напряжения, предварительные каскады маломощных усилителей фактически являются усилителями напряжения. Транзисторы же имеют конечное входное сопротивление (единицы или десятки килоом) и потребляют значительный входной ток, поэтому все транзисторные усилительные каскады являются усилителями мощности.

§ 36. Основные показатели работы усилителей

Данные входной цепи. Каждый усилитель отдает в нагрузку заданную мощность только при определенном (номинальном) входном напряжении сигнала. Если напряжение на входе меньше номинального, то мощность на выходе усилителя также меньше номинальной. Если же напряжение на входе превышает номинальное, то недопустимо возрастают искажения сигнала.

Номинальное входное напряжение усилителя определяется источником усиливаемых сигналов, от которого работает усилитель. В табл. 84 приведены данные наиболее распространенных источни-

Т а б л и ц а 84

Основные данные источников э.д.с. звуковой частоты

Источник	Амплитуда э. д. с., в	Выходное сопротивление, ом
Угольный микрофон телефонного аппарата	0,05—0,2	50—300
Электродинамический микрофон радиовещательного типа	$(0,5 \div 5) 10^{-3}$	400—600
Электромагнитный звуко- сниматель	0,1—0,5	200—1000
Диодный детектор радиоприемника	0,5—5	$(30 \div 300) 10^3$
Фотоэлемент (в аппаратуре звукового кино)	0,03—0,3	$(0,1 \div 1) 10^6$

ков э. д. с. звуковой частоты. Номинальное входное напряжение усилителя должно быть равно или немного меньше э. д. с. источника.

Входное сопротивление усилителя стремятся сделать возможно больше, чтобы источник сигнала был меньше нагружен. Входные ступени усилителя на электронных лампах, как правило, работают без сеточных токов и имеют очень большое входное сопротивление. Для таких усилителей величина входного сопротивления источника не имеет значения. Но в усилителях на транзисторах входное сопротивление усилителя должно быть обязательно согласовано с выходным сопротивлением источника сигнала, т. е. иметь примерно такую же величину.

Данные выходной цепи. Номинальной выходной мощностью усилителя называется наибольшая мощность, при которой искажения не превышают допустимой величины. В некоторых случаях кроме выходной мощности бывает задано и выходное напряжение усилителя.

Коэффициент усиления. Коэффициентом усиления по напряжению называют отношение выходного напряжения $U_{\text{вых}}$ к входному $U_{\text{вх}}$.

$$K = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}.$$

Для многокаскадного усилителя общий коэффициент усиления равен произведению коэффициентов усиления всех каскадов.

$$K_{\text{общ}} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot \dots \cdot K_n.$$

Ухо человека воспринимает изменения силы звука по логарифмическому закону. При больших изменениях силы звука человеку кажется, что громкость изменилась незначительно. Поэтому в радиотехнике применяют логарифмические единицы — децибелы. Коэффициент усиления по напряжению в децибелах

$$K(\text{дб}) = 20 \lg K = 20 \lg \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}.$$

Если коэффициенты усиления выражены в децибелах, то общий коэффициент усиления равен сумме коэффициентов усиления всех каскадов.

Для полупроводниковых усилителей определяют коэффициент усиления по току и по мощности.

$$K_T = \frac{I_{\text{вых}}}{I_{\text{вх}}}; \quad K_M = \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}}.$$

Эти величины также могут быть выражены в децибелах.

$$K_T(\text{дб}) = 20 \lg K_T; \quad K_M(\text{дб}) = 10 \lg K_M.$$

Коэффициент полезного действия имеет большое значение для мощных усилителей. Электрический к. п. д. усилительного каскада равен отношению его полезной выходной мощности к мощности, потребляемой от источника анодного напряжения. Промышленный к. п. д. равен отношению полезной выходной мощности усилителя к мощности, которую он потребляет от всех источников питания.

Полоса пропускания (диапазон усиливаемых частот) — это полоса частот, в пределах которой коэффициент усиления изменяется не больше, чем это допустимо по техническим условиям. В табл. 85 приведены полосы частот некоторых усилителей различного назначения. Предельные значения частот обычно обозначаются f_n и f_v и называются нижней и верхней граничными частотами диапазона.

Т а б л и ц а 85

Полоса частот усилителя

Назначение усилителя	Полоса частот, гц
Усиление видеосигналов	50—6 000 000
Высококачественное радиовещание (I класса)	50—10 000
Радиовещание (II класса)	80—5 000
Звукозапись и звуковое кино	40—10 000
Телефония	300—3 400

Динамический диапазон амплитуд — допустимые пределы изменения амплитуды сигнала на входе усилителя. При очень слабом сигнале уровень собственных шумов усилителя может оказаться выше, а при слишком сильном сигнале недопустимо возрастает искажения. Обычно динамический диапазон усиления D выражают в децибелах.

$$D(\text{дб}) = 20 \lg \frac{U_{\text{вх-макс}}}{U_{\text{вх-мин}}}.$$

Для хорошей передачи усилитель должен усиливать напряжения, отличающиеся в 1000 раз (60 дб).

Нелинейные искажения возникают вследствие нелинейности вольт-амперных характеристик некоторых элементов схемы (электронных ламп, транзисторов, трансформаторов). При искажениях синусоидального сигнала возникают гармоники. Чем больше мощность гармоник, тем больше искажения.

Коэффициент нелинейных искажений (коэффициент гармоник) равен отношению корня квадратного из суммы квадратов амплитуд напряжений (или токов) гармоник к амплитуде напряжения (или тока) основной частоты.

$$K_{\Gamma} = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots}}{U_1} = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots}}{I_1}.$$

Обычно коэффициент гармоник выражают в процентах.

Гармоники высших порядков имеют малые амплитуды; искажения в основном определяются второй и третьей гармоникой.

Допустимая величина коэффициента гармоник зависит от назначения усилителя. Для высококачественного усиления она составляет 1—2%, для хорошего воспроизведения (в радиоприемниках и магнитофонах) 5—7%, для передачи речи 10—15%.

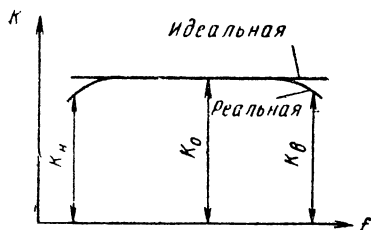


Рис. 72. Частотная характеристика усилителя

Частотные искажения. В схеме каждого усилителя имеются реактивные элементы — индуктивности и емкости, сопротивления которых зависят от частоты. Поэтому усиление для различных частот различно.

Зависимость коэффициента усиления от частоты называется *частотной характеристикой*. При отсутствии искажений частотная характеристика будет равномерной (идеальной). Реальная частотная характеристика

отличается от идеальной (рис. 72).

Отношение коэффициента усиления на средней частоте к коэффициенту усиления на нижней (или верхней) частоте называется *коэффициентом частотных искажений*.

Коэффициент частотных искажений для нижних частот

$$M_H = \frac{K_0}{K_H}.$$

Для верхних частот

$$M_B = \frac{K_0}{K_B}.$$

Частотные искажения могут быть выражены в децибелах.

$$M(\text{дб}) = 20 \lg M.$$

Фазовые искажения. При усилении отдельные гармонические составляющие сложного сигнала могут быть сдвинуты на различные отрезки времени. При этом изменится соотношение фаз и исказится форма сигнала. Фазовые искажения имеют большое значение при усилении телевизионных и импульсных сигналов. На слух они не воспринимаются.

§ 37. Усилительные элементы и способы их включения

Наиболее распространенными усилительными элементами являются электронные лампы и транзисторы.

Электронная лампа в усилителях чаще всего включается по схеме с *общим катодом* (рис. 73). В выходных ступенях широкополос-

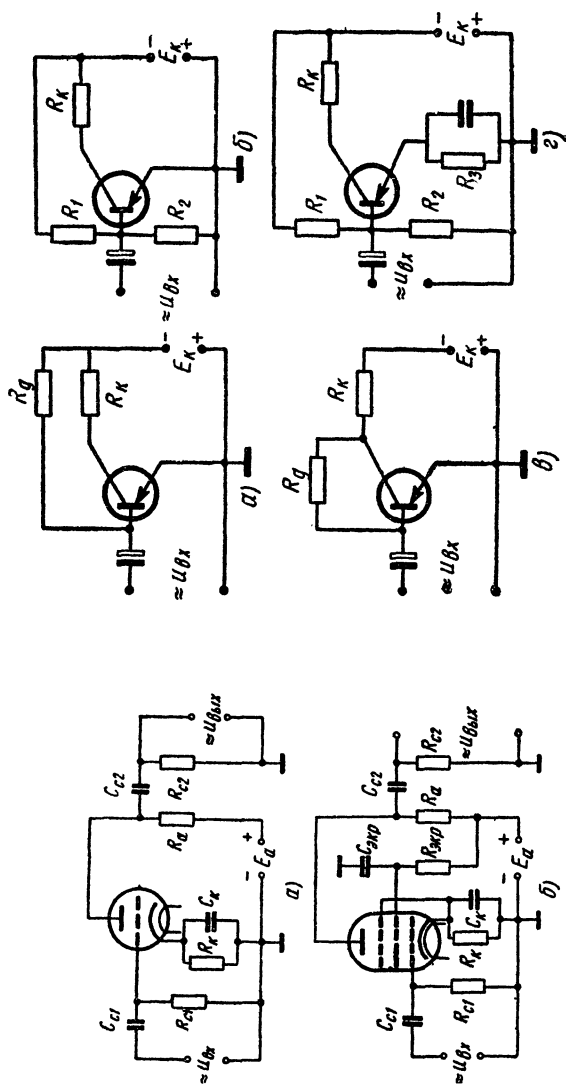


Рис. 73. Схемы реостатного каскада:

а — на триоде, б — на пентоде

Рис. 74. Схемы реостатных усилителей на транзисторах:

а — с общим эмиттером, смещение фиксированным током, б — смещение фиксированным напряжением, в — с коллекторной стабилизацией режима, г — с эмиттерной стабилизацией режима

ных и импульсных усилителей применяется включение лампы *с общим анодом* (катодный повторитель, см. рис. 80, а). Для работы лампы в заданном режиме на управляющую сетку подается отрицательное напряжение смещения от постоянного источника или при помощи цепочки автоматического смещения $R_{кСк}$.

Транзистор чаще всего включается по схеме с *общим эмиттером* (рис. 74, а), так как эта схема дает наибольшее усиление по мощности. Схема включения *с общей базой* дает меньшие нелинейные искажения, и ее свойства мало меняются при изменении окружающей температуры и смене транзисторов. Схема *с общим коллектором* (эмиттерный повторитель) в усилителях применяется редко, так как дает малое усиление по мощности.

Для работы полупроводникового триода в заданном режиме между его базой и эмиттером должно быть приложено небольшое постоянное напряжение смещения. Это напряжение обычно получают от источника питания коллекторной цепи.

В простейшем случае применяют *смещение фиксированным током* (рис. 74, а) или *фиксированным напряжением* (рис. 74, б). Обе схемы пригодны лишь в тех случаях, когда ступень работает при малых колебаниях температуры окружающей среды (не более 20°С). Эти схемы требуют индивидуального подбора смещения для установленного в схеме экземпляра транзистора.

В практических схемах применяются различные способы *стабилизации режима* транзистора. Наиболее простой является схема с коллекторной стабилизацией (рис. 74, в). Ее обычно применяют в реостатных ступенях.

Схема с эмиттерной стабилизацией режима (рис. 74, г) может применяться и в реостатных и в трансформаторных ступенях усиления.

§ 38. Усилители напряжения

Усилители напряжения, или каскады предварительного усиления, различают по типу нагрузки (реостатный или трансформаторный каскад).

Реостатный каскад усиления применяется наиболее часто. Искажения сигнала в таком каскаде невелики, детали просты, дешевы и имеют малые размеры. Нагрузкой реостатного каскада служит резистор, включенный в цепь анода лампы. Реостатный каскад может быть выполнен на триоде, пентоде или транзисторе.

Реостатный каскад на триоде (см. рис. 73, а) применяется в том случае, когда он должен давать усиление не более чем в 50—70 раз. Обычно используют триоды с достаточно большим статическим коэффициентом усиления μ (6С2П, 6С3П и др.), двойные триоды (6НЗП, 6Н2П и др.) или триоды комбинированных ламп.

Если каскад должен давать усиление по напряжению в 100—200 раз, то его выполняют на высокочастотном пентоде (6Ж1П, 6Ж2П, см. рис. 73, б).

В малогабаритной и переносной аппаратуре усилители выполняют на транзисторах. Для каскада предварительного усиления

используют маломощные транзисторы МП-40, МП-41 и др. Наиболее часто применяется схема включения с общим эмиттером.

Трансформаторный каскад усиления (рис. 75) применяется в тех случаях, когда последующий каскад выполнен по двухтактной схеме. Вывод средней точки вторичной обмотки трансформатора позволяет легко осуществить симметричный переход на двухтактную схему.

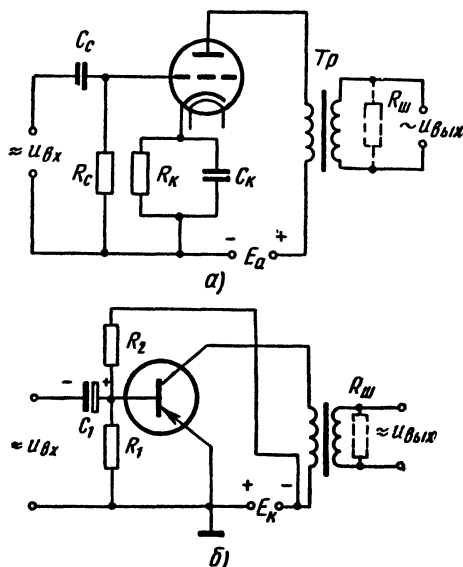


Рис. 75. Схемы трансформаторного каскада усиления напряжения:

а — на электронной лампе, б — на транзисторе

Кроме того, при работе последующего каскада с токами сетки трансформаторный каскад, имеющий малое выходное сопротивление, обеспечивает малые нелинейные искажения, возникающие от сеточных токов.

Трансформаторную схему особенно часто применяют в транзисторной аппаратуре для облегчения междукаскадного согласования (рис. 75, б). Такой усилитель дает большее усиление, чем реостатный, но вносит значительные частотные искажения. Кроме того, трансформатор имеет большие размеры, вес и стоимость, чем детали реостатного каскада. Частотная характеристика трансформаторного каскада усиления чаще всего имеет подъем на верхних частотах. Ее можно несколько выровнять, включив параллельно вторичной обмотке шунт, но при этом уменьшается усиление каскада.

§ 39. Усилители мощности

Усилителем мощности обычно называют выходной (оконечный) каскад усилителя звуковых частот или радиоприемника. С выхода усилителя мощности колебания поступают в нагрузку (громкоговори-

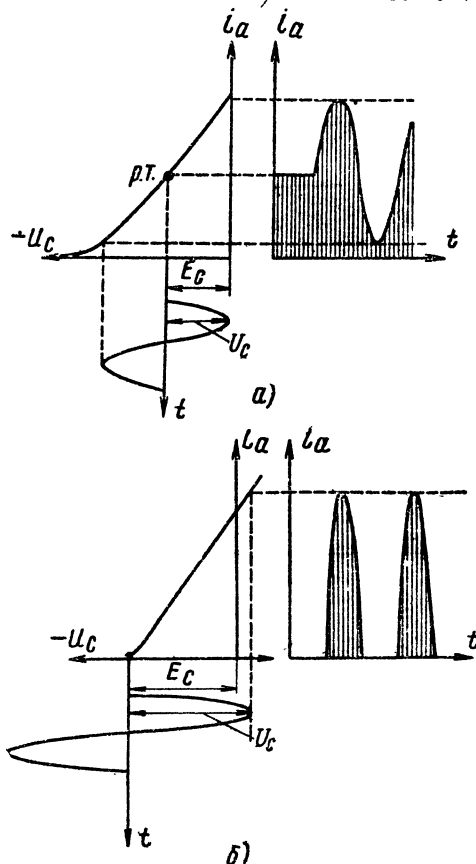


Рис. 76. Графики работы ламп:

а — в режиме А, б — в режиме В

тель, линия, устройство для записи звука и т. п.). В зависимости от назначения и выходной мощности усилителя его выходной каскад может работать в разных режимах.

Режим класса А. Рабочая точка (р. т.) выбирается на прямолинейном участке анодно-сеточной характеристики лампы (рис. 76, а).

Амплитуда переменного напряжения на сетке U_c равна напряжению смещения E_c или меньше его. Анодный ток лампы протекает непрерывно, и все его изменения точно воспроизводят форму переменного напряжения на сетке. Достоинством режима класса А являются малые нелинейные искажения, недостатками — низкий к. п. д. ступени (в усилителях низкой частоты не более 25%) и относительно малая мощность в нагрузке. Поэтому режим класса А применяется только в маломощных однотактных выходных каскадах (до 3—5 вт). В режиме класса А работают и все каскады усиления напряжения.

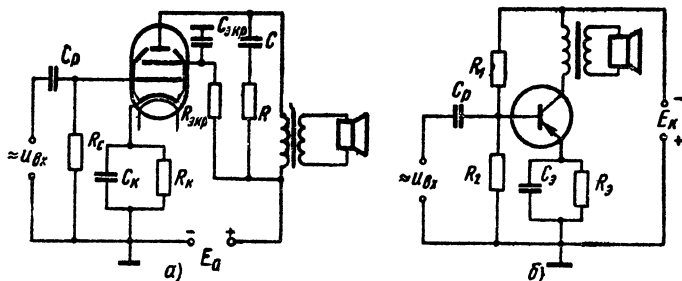


Рис. 77. Схемы однотактных выходных каскадов:

а — на электронной лампе, б — на транзисторе

Режим класса В. Рабочая точка выбирается в самом начале характеристики лампы (рис. 76, б). Амплитуда переменного напряжения на сетке U_c выбирается больше напряжения смещения E_c , и работа лампы происходит с сеточными токами. Ток в цепи анода протекает только в течение половины периода переменного напряжения на сетке. Происходит отсечка анодного тока. Нелинейные искажения в режиме класса В очень велики. Такой режим применяют только в двухтактных схемах. Достоинства режима В — высокий к. п. д. (50—60%) и большая мощность сигнала в нагрузке.

Режим класса АВ является промежуточным между режимами А и В. Рабочая точка выбирается вблизи нижнего сгиба характеристики лампы. Нелинейные искажения в режиме АВ меньше, чем в режиме В, а к. п. д. достаточно велик (40—50%). Поэтому режим АВ широко применяют в двухтактных выходных каскадах.

Однотактная схема усилителя мощности используется в выходных каскадах маломощных усилителей (при выходной мощности не более 3—5 вт). Она может быть выполнена на триоде, пентоде или лучевом тетроде. Чаще всего используют лучевые тетроды (рис. 77, а). Трисды применяют реже, так как на сетку триода для получения такой же выходной мощности, как и в каскаде на тетроде, нужно подавать переменное напряжение в 2—3 раза большее. Однако нелинейные искажения в каскаде на триоде меньше.

Выходные каскады на транзисторах обычно выполняются по схеме с общим эмиттером (рис. 77, б), которая обеспечивает наиболь-

шее усиление по мощности. Нагрузка включается в анодную цепь лампы или коллекторную цепь транзистора через трансформатор, называемый выходным. Он согласует сопротивление нагрузки с внутренним сопротивлением лампы. Сопротивление нагрузки (например,

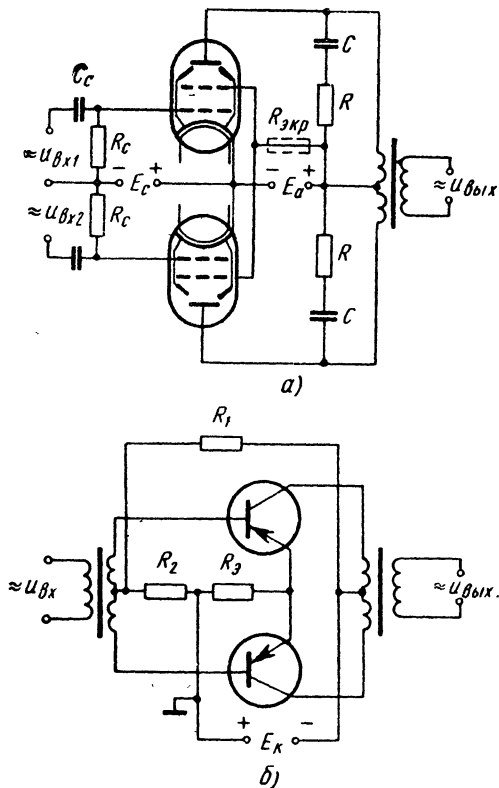


Рис. 78. Схемы двухтактных выходных каскадов:

а — на электронных лампах, б — на транзисторах

звуковой катушки громкоговорителя) обычно намного меньше внутреннего сопротивления лампы или транзистора. Поэтому выходной трансформатор, как правило, понижающий: число витков во вторичной обмотке раз в 20—40 меньше, чем в первичной. Параллельно первичной обмотке трансформатора часто включают корректирую-

щую цепочку RC , выравнивающую частотную характеристику каскада.

Двухтактная схема усилителя мощности. В мощных выходных каскадах низкий к. п. д. недопустим. Эти каскады должны работать в экономичном режиме В или АВ. Но режимы В и АВ в одноктактных схемах создают слишком большие нелинейные искажения. Поэтому выходные каскады усилителей мощностью более 3—5 вт выполняют по двухтактной схеме. В режиме В обычно работают мощные триоды, в режиме АВ — тетроды и пентоды.

В большинстве случаев смещение на сетки ламп двухтактной схемы подается от отдельного источника, например маломощного выпрямителя (рис. 78, а).

Если схема выполнена на пентодах или тетродах, гасящее сопротивление в цепи экранной сетки $R_{экp}$ включается не всегда. Во многих случаях напряжение на аноде и экранной сетке берут одинаковым, тогда это сопротивление не нужно. Корректирующие цепочки RC включаются для уменьшения частотных искажений.

При двухтактной схеме в выходном трансформаторе отсутствует подмагничивание и он имеет сравнительно небольшие размеры.

Схема должна быть симметрична: лампы должны быть одинаковыми, детали (конденсаторы и сопротивления) каждой половины схемы должны возможно меньше отличаться по параметрам.

Двухтактный выходной каскад на транзисторах показан на рис. 78, б. Делитель из сопротивлений R_1, R_2 обеспечивает подачу смещения на базы транзисторов; сопротивление R_3 служит для стабилизации режима каскада. Если нагрузка имеет достаточно большое сопротивление (высокоомная), то выходные каскады усилителей на транзисторах выполняют без выходного трансформатора.

В схеме, показанной на рис. 79, а, транзисторы включены последовательно по отношению к источнику питания E_K (по постоянному току) и параллельно по отношению к сопротивлению нагрузки R_H (по переменному току). Нагрузка включается через разделительный конденсатор C_p . Через нагрузку не протекает постоянная составляющая тока. На вход этой схемы должны быть поданы два переменных напряжения $u_{вх1}$ и $u_{вх2}$, сдвинутые по фазе на 180° . Их обычно получают с фазоинверсной схемы.

Сочетания транзисторов с проводимостью $p-n-p$ и $n-p-n$ позволяют получить двухтактную схему, не требующую применения фазоинверсного каскада (рис. 79, б).

Катодный повторитель. Выходные каскады широкополосных усилителей чаще всего работают на емкостную нагрузку (например, нагрузкой служит коаксиальный кабель, соединяющий усилитель с другими элементами схемы). В этом случае выходной каскад выполняют по схеме катодного повторителя. Сопротивление нагрузки R_H делится на две части (рис. 80, а). С одной из них через сопротивление утечки R_c снимается напряжение смещения на сетку. Схема катодного повторителя обычно выполняется на триоде.

При усилении фаза переменного напряжения не изменяется («повторяется»), отсюда и название схемы — катодный повторитель. Иногда ее называют схемой с заземленным анодом. Через емкость, блокирующую источник анодного питания, анод оказывается зазем-

ленным для переменной составляющей тока. Коэффициент усиления по напряжению для катодного повторителя меньше единицы.

К достоинствам схемы катодного повторителя относятся малое выходное сопротивление, большое входное сопротивление, малые частотные искажения. В схеме имеется глубокая отрицательная

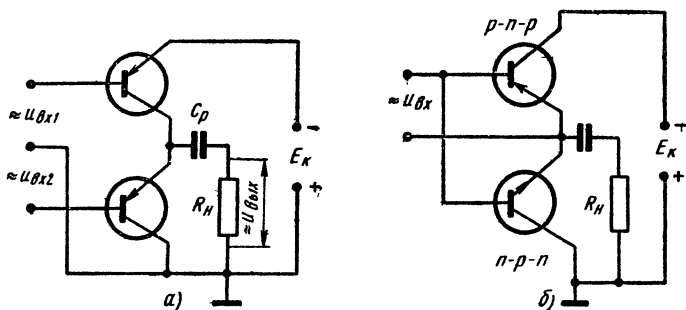


Рис. 79. Схемы бестрансформерных двухтактных каскадов:

а — на триодах $p-n-p$, б — на триодах $p-n-p$ и $n-p-n$

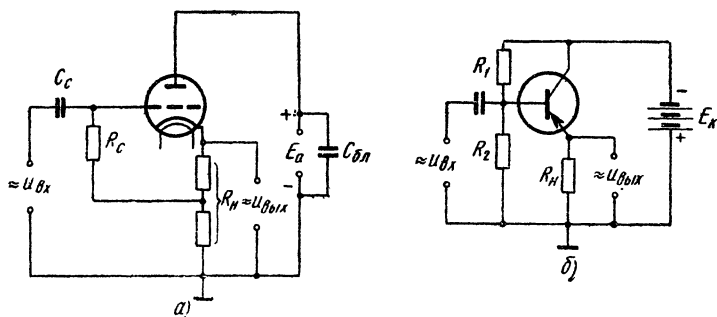


Рис. 80. Схемы катодного (а) и эмиттерного (б) повторителей

обратная связь: все выходное напряжение действует и во входной цепи.

В схеме на транзисторе (рис. 80, б) сопротивление нагрузки включено в цепь эмиттера. Такая схема называется эмиттерным повторителем или схемой с общим коллектором.

Фазоинверсные схемы. Фазоинверсными или инверсными называются схемы, которые служат для перехода с однотактного каскада усиления на двухтактный. На вход фазоинверсной схемы подается

переменное напряжение сигнала, а на выходе получается два переменных напряжения, сдвинутые по фазе на 180° .

Существует несколько разновидностей фазоинверсных схем. Наиболее простой является схема с *разделенной нагрузкой* (рис. 81, а). Нагрузка разделена на две части. Одна часть включена

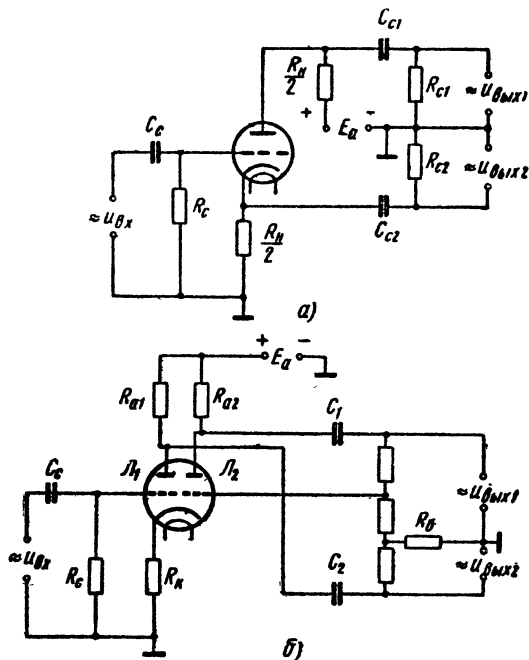


Рис. 81. Фазоинверсные схемы:

а — с разделенной нагрузкой, б — автобалансная

со стороны анода, а другая — со стороны катода. Переменные напряжения, которые возникают на сопротивлениях нагрузки, сдвинуты по фазе на 180° относительно заземленной точки схемы. Через разделительные конденсаторы C_{c1} и C_{c2} эти напряжения подаются на сетки ламп двухтактной схемы. Недостаток такой схемы — малое усиление ($K \leq 2$).

Широкое распространение получила *автобалансная фазоинверсная схема*. Обычно она выполняется на двойном триоде (рис. 81, б). На сетку первого триода Π_1 подается переменное напряжение сигнала, которое усиливается, как и в обычном реостатном усилителе. Часть усиленного напряжения подается на сетку второго триода Π_2 , который служит для поворота фазы напряжения на 180° . Выходные

напряжения подаются на сетки ламп двухтактной схемы. Если в схеме имеется асимметрия и выходные напряжения не равны по амплитуде, то на сопротивлении R_6 возникает добавочное переменное напряжение, уменьшающее асимметрию. Это сопротивление называется балансным.

§ 40. Обратные связи в усилителях

Обратной связью называется связь между выходной и входной цепями схемы (например, между цепями анода и сетки). Напряже-

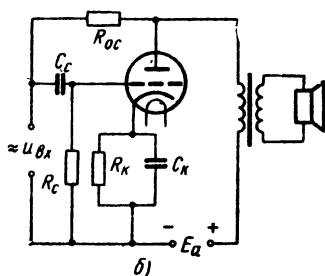
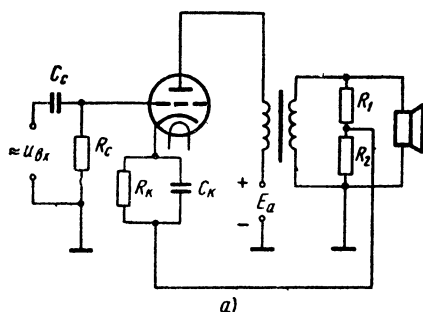


Рис. 82. Схема отрицательной обратной связи:

а — последовательной, *б* — параллельной

ние выходной цепи, действующее на входную цепь, называется напряжением обратной связи.

Если напряжение обратной связи совпадает по фазе с напряжением на входе схемы и складывается с ним, то обратная связь называется *положительной*. Усиление схемы при этом возрастает, может возникнуть самовозбуждение. Если напряжение обратной связи противоположно по фазе входному напряжению и они вычитаются, то обратная связь называется *отрицательной*.

Напряжение обратной связи может изменяться пропорционально току в выходной цепи или выходному напряжению. В соответствии с этим различают обратную связь *по току* или *по напряжению*. Если на величину обратной связи влияет и ток и напряжение выходной цепи, то обратная связь называется *комбинированной*.

Отрицательная обратная связь уменьшает нелинейные и частотные искажения. Работа усилителя с отрицательной обратной связью более устойчива (меньше влияют изменения параметров ламп и сопротивления нагрузки), но при этом уменьшается усиление схемы.

Отрицательная обратная связь обычно вводится в выходной ступени, где возникают наибольшие нелинейные и частотные искажения.

Наиболее часто применяется отрицательная обратная связь по напряжению.

Напряжение обратной связи может быть взято с отдельной обмотки выходного трансформатора или с делителя в выходной цепи (рис. 82, а). В этой схеме напряжение обратной связи включено последовательно с выходным напряжением. В схеме, приведенной на рис. 82, б, напряжение обратной связи через резистор $R_{ос}$ приложено к входной цепи параллельно входному напряжению.

Отрицательная обратная связь по току возникает в любой ступени, имеющей автоматическое смещение от анодного тока, если отсутствует конденсатор C_k (см., например, рис. 73). При этом на резисторе R_k возникает переменное напряжение, действующее в цепи сетки навстречу входному напряжению.

При неудачной конструкции усилителя между выходной и входной цепями может возникнуть нежелательная обратная связь, которая называется *паразитной*. Положительная паразитная обратная связь ухудшает стабильность работы усилителя и увеличивает искажения. Сильная положительная обратная связь может вызвать самовозбуждение, и на выходе усилителя звуковых колебаний появится свист.

Причинами паразитных обратных связей являются:

наличие емкости между отдельными деталями схемы или монтажными проводами входной и выходной цепей. (Детали входной и выходной цепей надо располагать возможно дальше друг от друга. При монтаже входных цепей, особенно при малых входных напряжениях, следует применять экранированный провод.);

магнитная связь между трансформаторами и дросселями. (Эти детали располагают возможно дальше друг от друга и экранируют.);

связь через общие источники питания. (Анодные цепи ламп многокаскадного усилителя обычно питаются от общего источника. Чтобы уменьшить связь между первыми и последними ступенями, в анодные цепи включают развязывающие фильтры.)

Глава IX. РАДИОПЕРЕДАТЧИКИ

§ 41. Общие сведения

Радиопередатчик предназначен для создания и излучения в эфир модулированных колебаний высокой частоты.

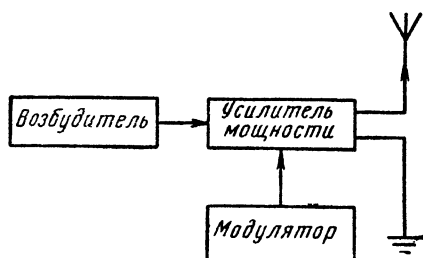


Рис. 83. Блок-схема радиопередатчика

Простейший радиопередатчик содержит следующие элементы (рис. 83):

возбудитель (задающий генератор), вырабатывающий колебания высокой частоты;

усилитель мощности, увеличивающий мощность колебаний до необходимой величины;

модулятор, при помощи которого осуществляется модуляция колебаний в ч. передаваемым сигналом, т. е. изменение

по определенному закону амплитуды, частоты или фазы излучаемых колебаний.

В широкодиапазонных передатчиках к числу основных блоков добавляется умножитель частоты, повышающий до необходимой величины частоту задающего генератора.

Мощность, отдаваемая в антенну, зависит от назначения передатчика. Мощность радиовещательных и радиолокационных передатчиков — сотни и тысячи киловатт, а передатчиков, применяемых для связи, — от долей ватта до десятков киловатт.

§ 42. Автогенераторы

Автогенератором или генератором с самовозбуждением называется устройство, которое вырабатывает переменный ток высокой частоты. Различают схемы автогенераторов с индуктивной, автотрансформаторной и емкостной обратной связью.

В схеме автогенератора с индуктивной обратной связью (рис. 84, а, б) колебательный контур LC в анодной цепи связан с катушкой обратной связи L_c общим магнитным полем (индуктивная связь). В схеме с автотрансформаторной связью (рис. 84, в) часть витков катушки контура включается в цепь сетки лампы. В схеме

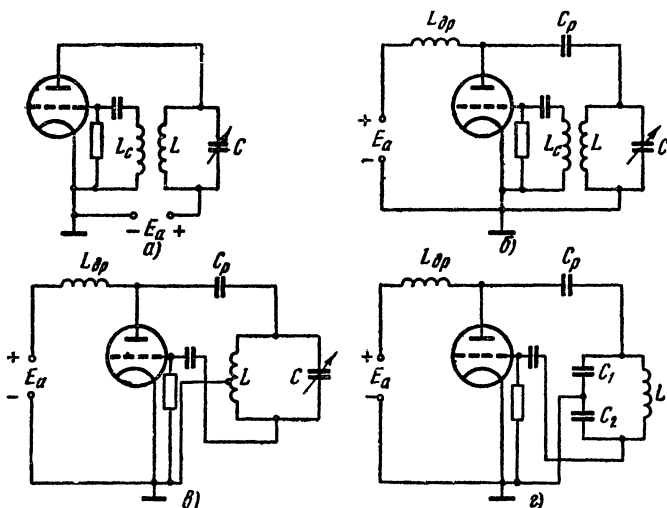


Рис. 84. Схемы автогенераторов:

а — с индуктивной обратной связью с последовательным анодным питанием, б — с индуктивной обратной связью с параллельным питанием, в — с автотрансформаторной связью, г — с емкостной связью

с емкостной связью переменное напряжение на сетку снимается с конденсатора контура C_2 (рис. 84, г).

В каждой схеме автогенератора имеется сильная положительная обратная связь: анодная цепь связана с цепью сетки. Благодаря избирательным свойствам колебательного контура самовозбуждение происходит лишь на частоте резонанса контура.

В современных передатчиках часто применяются схемы *двухконтурных генераторов* на пентодах, разработанные советским инженером Б. К. Шембелем. Двухконтурная схема (рис. 85) имеет более высокую стабильность частоты. По результатам работы она эквивалентна двухкаскадной схеме, состоящей из генератора и усилителя мощности.

В зависимости от способа включения контура различают схемы генераторов с последовательным и параллельным питанием. В схеме с *последовательным анодным питанием* (см. рис. 84, а) лампа, контур и источник анодного питания включены последовательно. Достоин-

ством этой схемы является простота и дешевизна, недостатком — то, что контур находится под постоянным напряжением источника анодного питания.

Этого недостатка лишена схема с параллельным анодным питанием (см. рис. 84, б, в, г). Здесь источник питания, лампа и контур соединены параллельно. Постоянная составляющая анодного тока протекает через дроссель $L_{др}$ и источник анодного напряжения,

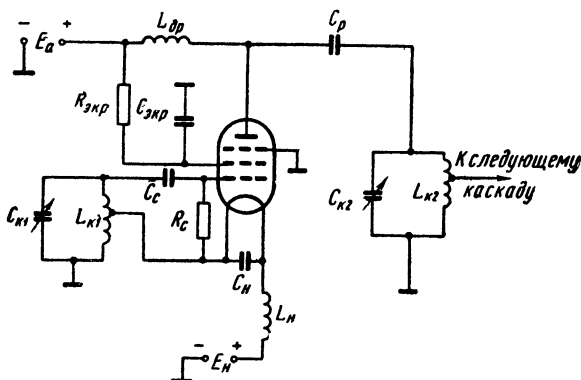


Рис. 85. Схема двухконтурного генератора

переменная составляющая — через разделительный конденсатор C_p и контур. Недостаток этой схемы — наличие дополнительных деталей, которые довольно дороги и громоздки, особенно в мощных передатчиках диапазона длинных волн.

§ 43. Усилители мощности

Усилители мощности в передатчике являются усилителями мощности высокой частоты. Их выполняют на триодах, тетрадах или пентодах по схеме с параллельным или последовательным анодным питанием (рис. 86).

При усилении мощных колебаний иногда практикуется параллельное включение двух или более ламп в одном каскаде. Однако чаще применяется двухтактная схема (рис. 87), которая помимо удвоения выходной мощности обладает рядом ценных свойств.

Работа усилителя мощности может происходить в разных режимах. Для характеристики режима пользуются величиной, называемой коэффициентом использования анодного напряжения ξ . Он равен отношению амплитуды переменного напряжения на контуре $U_{тк}$ к постоянному напряжению на аноде E_a .

$$\xi = \frac{U_{тк}}{E_a}.$$

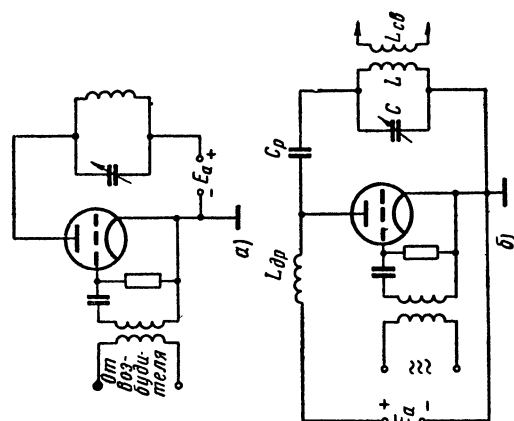


Рис. 86. Однотактные схемы усилителей мощности:
а — с последовательным анодным питанием, б — с параллельным анодным питанием

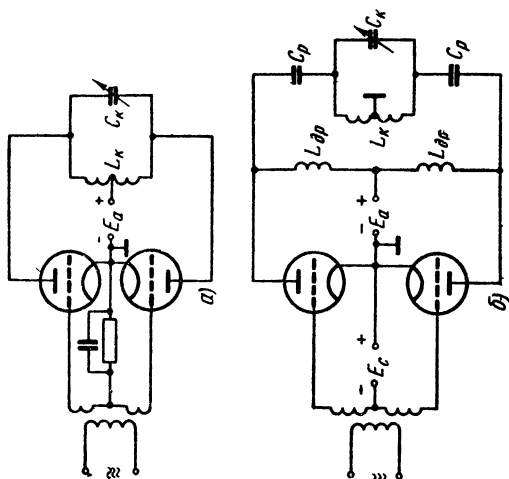


Рис. 87. Двухтактные схемы усилителей мощности:
а — с последовательным анодным питанием, б — с параллельным анодным питанием

Величина ξ зависит от амплитуды возбуждения на сетке лампы, напряжения смещения и эквивалентного сопротивления контура.

Если мала амплитуда возбуждения или мало эквивалентное сопротивление контура, то напряжение на аноде изменяется в небольших пределах, переменное напряжение на контуре мало ($\xi < 1$). Такой режим называется *недонапряженным*.

Если увеличивать ξ , например увеличивая амплитуду возбуждения, то можно получить *перенапряженный режим*, при котором $\xi > 1$. Между этими двумя случаями лежит *граничный*, или критический, режим ($\xi \approx 1$).

Форма тока в анодной цепи зависит от режима работы. В недонапряженном режиме анодный ток протекает в течение всего периода

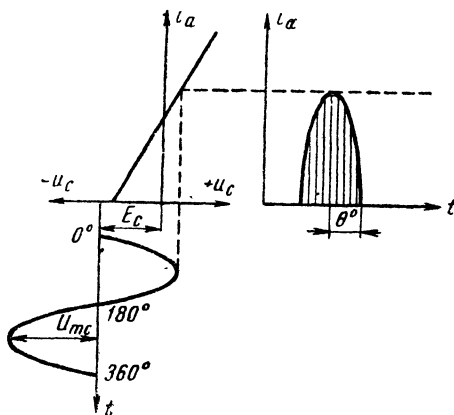


Рис. 88. График работы лампы в режиме колебаний второго рода

переменного напряжения на сетке. Колебания тока имеют синусоидальную форму и называются *колебаниями первого рода*. Усилитель при этом работает в режиме класса А. Этот режим неэкономичен и в современных радиопередатчиках не применяется. Значительно выгоднее режим *колебаний второго рода* с отсечкой анодного тока (рис. 88).

Половину длительности импульса, выраженную в градусах, называют углом отсечки анодного тока и обозначают θ . В режиме колебаний первого рода $\theta = 180^\circ$. В режиме колебаний второго рода $\theta < 180^\circ$. Если анодный ток возникает в течение половины периода ($\theta = 90^\circ$), то работа усилителя происходит в режиме класса В. В этом режиме могут работать и усилители низкой частоты. Если $\theta < 90^\circ$ (промежутки между импульсами больше, чем длительность импульса), то происходит усиление в классе С. В этом режиме и работают усилители мощности большинства передатчиков.

При работе с отсечкой анодного тока, т. е. в режиме класса В форма импульса анодного тока может быть различной (рис. 89). В недонапряженном режиме импульс имеет остроконечную форму (косинусоидальный импульс, рис. 89, а). В перенапряженном режиме на вершине импульса возникает впадина (седлообразный импульс, рис. 89, в). В момент наибольшего напряжения на сетке резко возрастает сеточный ток, а анодный ток уменьшается. Впадина может быть настолько большой, что импульс раздваивается (раздвоенный импульс).

В критическом режиме или близком к нему импульс еще не имеет впадины, но вершина его притупляется (затупленный, или плоский, импульс, рис. 89, б). Это наиболее распространенный случай работы.

В передатчиках широко применяется *умножение частоты*. Анодный контур усилителя мощности настраивают на частоту в 2 и 3 раза большую частоты переменного напряжения на сетке. Искаженный благодаря режиму с отсечкой входной сигнал в анодной цепи лампы содержит высшие гармоники основной частоты. При этом в контуре выделяется мощность второй или третьей гармоники анодного тока. При удвоении частоты режим работы подбирают так, чтобы угол отсечки составлял 60° , а при утроении 40° . Недостатком работы усилителя при умножении частоты является низкий к. п. д. — 55—65% при удвоении и около 45% при утроении.

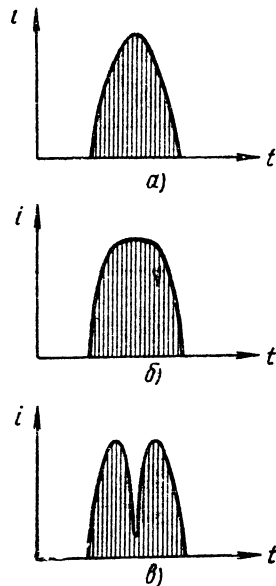


Рис. 89. Форма импульсов анодного тока усилителя мощности:

а — остроконечный, б — плоский, в — седлообразный

§ 44. Стабилизация частоты

Каждому радиопередатчику отводится определенная частота (длина волны). На эту частоту настраивается приемник корреспондента. Если в процессе работы частота колебаний, излучаемых передатчиком, меняется, то нужно подстраивать приемник. Это затрудняет работу и ухудшает прием, а при передаче сигналов с большой скоростью создает перерывы в работе. Кроме того, если передатчик отклоняется от заданной частоты, то он создает помехи другим линиям радиосвязи. Поэтому частота колебаний передатчика должна быть строго постоянной (стабильной).

Таблица 86

Общесоюзные нормы стабильности частоты радиопередатчиков

Тип станции	Допустимые отклонения частоты, %							
	диапазон 10—535 кГц	диапазон 1605— 5385 кГц	диапазон 1605—4000 кГц	диапазон 4—29,7 МГц	диапазон 29,7—100 МГц	диапазон 100—470 МГц	диапазон 470—2450 МГц	диапазон 2450—1050 МГц
Фиксированная	0,02—0,1	—	0,005—0,01	0,0015—0,005	0,003—0,005	0,002—0,005	0,01	0,01—0,03
Наземная	0,01—0,05	—	0,005—0,01	0,0015—0,005	0,002—0,005	0,002—0,005	0,03	0,03
Подвижная	0,1—0,5	—	0,001—0,003	0,005—0,02	0,005—0,01	0,002—0,005	0,03	0,03
Станция радиопередачи	0,01	—	0,001—0,005	—	0,02	0,005	0,05	0,2
Радиовещательная	10 гц	10 гц	—	15 гц	0,002—0,005	0,002	0,01	—
Телевизионная	—	—	—	—	1000 гц	1000 гц	1000 гц	—

Министерством связи СССР установлены общесоюзные нормы стабильности частоты. В табл. 86 приведены допустимые величины нестабильности частоты в процентах (для некоторых случаев в герцах).

На частоту передатчика влияют многие факторы: температура, напряжение источников питания, смена ламп, механические воздействия (тряска, вибрация и др.). Поэтому принимают специальные меры для стабилизации частоты передатчика.

Параметрическая стабилизация частоты заключается в таком подборе элементов схемы передатчика, чтобы параметры их (в том числе емкость, индуктивность, сопротивление) в процессе работы изменялись мало.

Для уменьшения влияния температуры применяют специальные материалы для каркасов катушек, пластин конденсаторов. Возбудитель передатчика выполняют на маломощной лампе, которая мало нагревается при работе. В ряде случаев элементы схемы возбудителя помещают в термостат.

В качестве конденсатора контура включают батарею конденсаторов с ТКЕ разного знака. Емкость конденсатора с отрицательным ТКЕ при нагревании уменьшается, этим компенсируется увеличение емкости других элементов схемы.

Особенно хорошие результаты получаются при использовании в задающих генераторах транзисторов и туннельных диодов, которые в процессе работы нагреваются очень незначительно.

Для уменьшения влияния на частоту колебаний питающих напряжений применяют стабилизаторы напряжений и токов.

Влияние механических воздействий уменьшают, используя амортизационные прокладки из губчатой резины, специальные подвесы. Монтаж передатчика выполняют жестким. Почти полностью устраняют влияние механических воздействий печатный монтаж и применение проводов, вживаемых в керамику.

Кварцевая стабилизация частоты состоит в использовании в задающем генераторе вместо контура пластинки кварца. Пластинку кристаллического кварца помещают между двумя металлическими пластинками-электродами и включают в схему возбудителя. К электродам подводят переменное синусоидальное напряжение. Кварцевая пластинка, обладающая пьезоэлектрическими свойствами, начинает колебаться в такт с приложенным напряжением. Механические колебания вызывают переменное напряжение на электродах.

Когда частота переменного напряжения, подведенного к электродам, близка к собственной частоте пластинки, наступает резонанс и колебания достигают наибольшей величины. Собственная частота кварцевой пластинки зависит от ее размеров и от того, каким образом пластинка вырезана из кристалла (вдоль оси кристалла или под углом к ней).

По своим свойствам кварц эквивалентен параллельному колебательному контуру с очень высокой добротностью (более 10 000). Получить такую величину добротности в обычных колебательных контурах невозможно. Кроме того, частота колебаний кварца постоянна. Кварцевые генераторы служат эталонами частоты. Поэтому кварцевую стабилизацию широко используют в передатчиках. Осо-

бенно удобен этот способ для передатчиков, работающих на одной частоте, например для радиовещательных станций. Если нужно изменить частоту передатчика, то требуется новая кварцевая пластинка.

Схемы включения кварца показаны на рис. 90, а, б. Схема, показанная на рис. 90, а, применяется чаще, так как кварц в ней нахо-

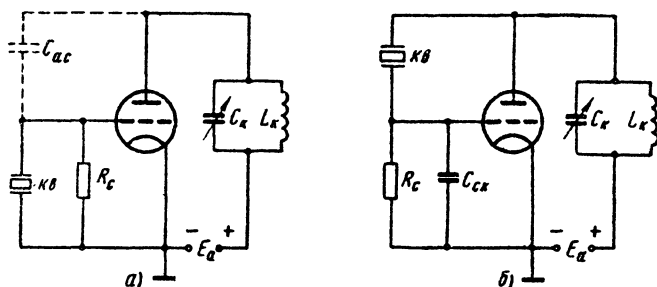


Рис. 90. Схемы включения кварца:

а — в цепь сетки, б — в цепь анода

дится под меньшим напряжением и работает в более легких условиях.

Существуют схемы кварцевой стабилизации в плавном диапазоне частот, но они очень сложны и не могут быть рассмотрены в данном справочнике.

§ 45. Управление колебаниями радиопередатчика

Модуляция

Процесс управления колебаниями высокой частоты при передаче речи, музыки, телевизионных или других сигналов называется *модуляцией*.

Передаваемый сигнал может воздействовать на амплитуду, частоту или фазу колебаний высокой частоты. В соответствии с этим различают амплитудную, частотную или фазовую модуляцию (АМ, ЧМ, ФМ).

Амплитудная модуляция чаще всего применяется при радиовещании и радиотелефонной связи в диапазоне коротких, средних и длинных волн. Амплитудно-модулированные колебания характеризуются *коэффициентом модуляции*. При отсутствии модуляции амплитуда тока в антенне передатчика неизменна и равна I_0 . При модуляции синусоидальным сигналом она увеличивается и уменьшается на величину ΔI (рис. 91).

Коэффициентом модуляции называется отношение

$$m = \frac{\Delta I}{I_0}.$$

Обычно m выражается в процентах. При нормальной работе коэффициент модуляции 30—80%.

При амплитудной модуляции высокочастотного колебания с частотой f синусоидальным сигналом с частотой F модулированное колебание содержит три составляющие (рис. 92, а): несущую частоту f_n , верхнюю боковую частоту $f_n + F$, нижнюю боковую частоту $f_n - F$.

Обычно передаваемый звуковой сигнал имеет сложную форму и состоит из ряда синусоидальных составляющих. Каждая из этих составляющих дает два колебания боковых частот. Из них складываются верхняя и нижняя боковые полосы частот (рис. 92, б). Интервал частот, занимаемый передатчиком (канал передатчика), равен удвоенной частоте самого высокого из передаваемых звуковых колебаний.

Для высококачественной передачи речи и музыки нужно передавать полосу частот 12—15 кГц. Практически эту полосу сужают. Для радиовещательных станций, работающих в диапазоне 200—2000 м, установлена ширина канала 9000 Гц. При передаче речи вполне достаточно полосу 5000—6000 Гц, а стандартный телефонный канал связи ограничивается частотой 3400 Гц.

Амплитудная модуляция осуществляется в одном из каскадов усилителя мощности передатчика.

В передатчиках, работающих на триодах, применяется схема *анодной модуля-*

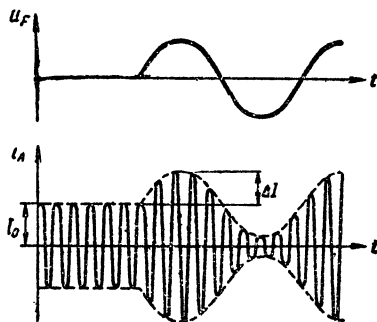


Рис. 91. Графики тока и напряжения при анодной модуляции

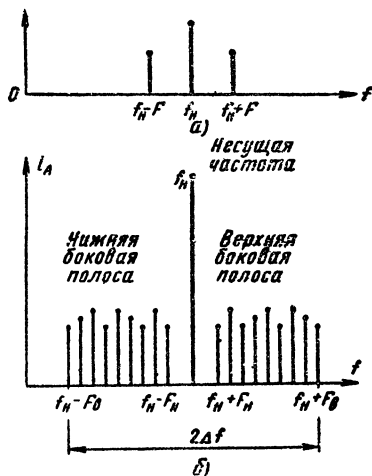


Рис. 92. Полоса частот передатчика АМ:

а — при модуляции синусоидальным тоном, б — при модуляции сложным звуком

ции (рис. 93). Звуковые колебания усиливаются лампой модулятора Λ_1 и создают на вторичной обмотке модуляционного трансформатора Tr_2 переменное напряжение звуковой частоты. Через эту обмотку подается напряжение анодного питания лампы Λ_2

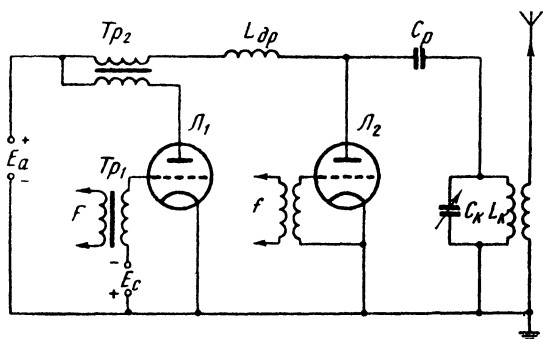


Рис. 93. Схема анодной модуляции

усилителя мощности. Анодный ток этой лампы, а следовательно, и амплитуда колебаний в контуре $C_K L_K$ изменяются в такт звуковым колебаниям. Недостатком этого способа является необходимость применения очень мощных модуляторов, равных по мощности самому передатчику.

Если усилитель мощности работает на тетроре или пентоде, то через обмотку модуляционного трансформатора подается и напряжение на экранирующую сетку. Так осуществляется схема *анодноэкранной модуляции*.

Широкое распространение имеет схема *сеточной модуляции*. Звуковое напряжение изменяет напряжение смещения на сетке лампы (рис. 94) и вызывает изменение анодного тока в соответствии с формой модулирующего сигнала. При сеточной модуляции мощность модуляторов сравнительно невелика, но при больших значениях коэф-

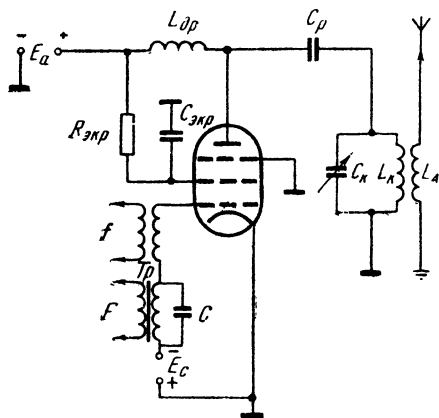


Рис. 94. Схема сеточной модуляции

модулирующего сигнала. При сеточной модуляции мощность модуляторов сравнительно невелика, но при больших значениях коэф-

фициента модуляции появляются сильные нелинейные искажения.

При модуляции на защитную (ангидинатронную) сетку напряжение звуковой частоты вместе с постоянным отрицательным напряжением смещения подается на защитную сетку пентода и управляет величиной анодного тока лампы, а вместе с этим и амплитудой колебаний в контуре. Этот метод не требует мощных модуляторов и дает сравнительно небольшие искажения, но осуществим только в передатчике на пентодах.

При частотной модуляции в соответствии с передаваемым сигналом изменяется частота несущей передатчика. Максимальное отклонение частоты Δf называют *девиацией частоты*. Чем больше амплитуда передаваемого сигнала, тем больше изменяется частота тока в антенне, т. е. девиация частоты пропорциональна амплитуде сигнала.

Отношение девиации частоты Δf к частоте модулирующего напряжения F называется *индексом модуляции* M_f .

$$M_f = \frac{\Delta f}{F}.$$

Реальная полоса частот, занимаемых передатчиком при $M_f \approx 1$, получается равной $2F_{\text{акс}}$ — двойной максимальной частоте модулирующего сигнала (как и при амплитудной модуляции). Это соответствует *узкополосной частотной модуляции*, которая применяется в служебной и массовой радиосвязи. Полоса передаваемых частот в этом случае от 200—300 гц до 2500—3000 гц. Передатчик занимает полосу частот 6—10 кц. Узкополосная аппаратура ЧМ несколько сложнее аппаратуры АМ, но при $M_f < 1$ обеспечивает более защищенный от помех прием сигналов.

Широкополосная частотная модуляция применяется при высококачественном радиовещании и для звукового сопровождения телевизионных передач. При этом передаются звуковые частоты до 10—15 кц при максимальном индексе модуляции $M_f \approx 5 \div 8$.

Реальная полоса частот, излучаемых передатчиком, около 200 кц. Ориентировочно считают, что канал ЧМ передатчика с широкополосной модуляцией в $1 + M_{\text{макс}}$ раз шире, чем канал АМ передатчика ($M_{\text{макс}}$ — максимальный индекс модуляции).

Амплитуда тока в антенне передатчика ЧМ неизменна, и передатчик все время работает в режиме максимальной мощности. Экономичность передатчика и дальность радиосвязи больше, чем у передатчика АМ. Широкополосная ЧМ обладает высокой помехоустойчивостью, но сопряжена с большим усложнением аппаратуры.

Частотную модуляцию обычно осуществляют в возбuditеле. Наиболее часто применяют схему с реактивной лампой. Между анодом и сеткой такой лампы включают так называемую фазовращающую цепочку, обычно состоящую из R и C . В результате проводимость лампы приобретает реактивный характер, эквивалентный индуктивности или емкости. При изменении режима работы лампы (например, напряжения смещения) изменяется величина реактивной проводимости.

В схеме, показанной на рис. 95, реактивная лампа L_2 эквивалентна индуктивности. Она включена параллельно контуру возбу-

дителя, собранного на лампе Λ_1 . Напряжение звуковой частоты изменяет величину реактивной проводимости лампы. При этом по закону звуковой частоты изменяется и частота колебаний, возникающих в контуре возбуждителя. Если в фазовращающей цепочке RC поменять местами емкость и сопротивление, то реактивная проводимость лампы будет иметь емкостный характер.

При фазовой модуляции в соответствии с передаваемым сигналом изменяется фаза колебаний высокой частоты. Одновременно изменяется и частота колебаний. При передаче простого синусоидального сигнала фазовая и частотная модуляции тождественны.

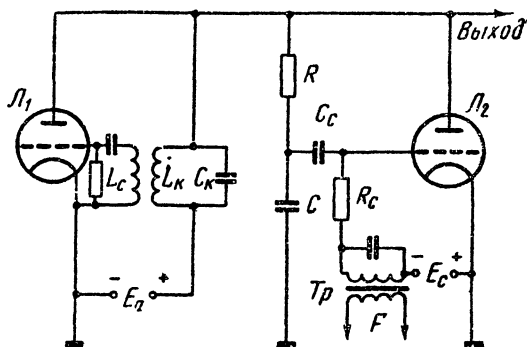


Рис. 95. Схема частотной модуляции с реактивной лампой

Разница возникает при воздействии сложного сигнала. Девияция частоты при фазовой модуляции прямо пропорциональна и амплитуде, и частоте модулирующего сигнала, а при частотной модуляции — только амплитуде. Вопросы получения и использования фазовой модуляции очень сложны и не могут быть рассмотрены в настоящем справочнике.

Манипуляция

Манипуляцией называется процесс управления колебаниями высокой частоты при помощи телеграфных сигналов (рис. 96).

Передачу телеграфных сигналов производят от руки (телеграфным ключом) или при помощи специальных механических устройств (трансммиттеров, фото:рансмиттеров). Полоса частот, излучаемых передатчиком при радиотелеграфии, зависит от скорости передачи сигналов. При обычных скоростях передачи она значительно уже, чем при радиотелефонии, т. е. передаче речи или музыки.

В табл. 87 приведены сравнительные данные скорости передачи и ширины канала частот при работе незатухающими колебаниями. Этот

Т а б л и ц а 87

Полоса частот радиотелеграфного передатчика

Вид работы	Скорость передачи (число слов в минуту)	Ширина канала передатчика, гц
Телеграфным ключом (от руки) .	20—30	60—80
Механическим трансмиттером . . .	До 200	400—500
Фототрансмиттером	800—1000	2000—2500

вид работы соответствует *амплитудной манипуляции*. При передаче сигнала в антенне возбуждаются незатухающие колебания, во время паузы колебания прекращаются. Для уменьшения влияния помех принимают *частотную манипуляцию*.

Во время передачи сигнала ток в антенне имеет одну частоту, а во время паузы — другую.

Амплитудная манипуляция осуществляется в одном из каскадов усилителя мощности. На время паузы лампа этого каскада запирается и колебания в антенне прекращаются. Чтобы запереть лампу, подают отрицательное напряжение на управляющую или экранирующую сетку. В маломощных передатчиках на время паузы снимают анодное напряжение. В соответствии с этим различают схемы манипуляции в цепи управляющей сетки, в цепи экранирующей сетки и схемы анодной манипуляции.

В схемах частотной манипуляции при нажатии ключа к контуру задающего генератора подключается дополнительная емкость или индуктивность, изменяющая частоту генерации.

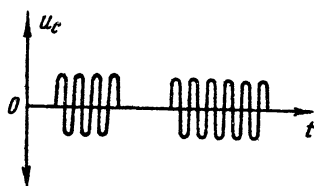


Рис. 96. Колебания высокой частоты при манипуляции

Глава X. РАДИОВЕЩАТЕЛЬНЫЕ ПРИЕМНИКИ

§ 46. Основные качественные показатели радиовещательных приемников

Диапазон принимаемых частот — область частот, в пределах которой возможен прием радиостанций на данный приемник. Участки частот (волн), отведенные для радиовещания, принято называть длинноволновым ДВ (150—408 кГц или 2000—735 м), средневолновым СВ (525—1600 кГц или 571,4—187 м), коротковолновым КВ (3,95—12,1 МГц или 75,9—24,8 м) и ультракоротковолновым УКВ (65,8—73 МГц или 4,56—4,11 м) диапазонами*. В приемниках высшего класса КВ диапазон разделен на несколько поддиапазонов (растянутые диапазоны), перекрывающих отдельные участки диапазона (13; 16; 19; 25; 31; 41; 49 и 75 м), в пределах которых ведутся передачи.

Номинальная выходная мощность — наибольшая электрическая мощность сигнала, которая подводится к громкоговорителю приемника при заданной величине нелинейных искажений. Выходная мощность сетевых ламповых радиовещательных приемников 0,5—10 ватт, портативных транзисторных 10—150 мватт. Обычно выходная мощность достигает номинальной величины лишь в моменты действия сильных звуков.

Номинальное выходное напряжение — эффективное звуковое напряжение на громкоговорителе, соответствующее номинальной выходной мощности.

Чувствительность с антенного входа приемника характеризуется минимальной величиной э. д. с. сигнала в антенне, при которой обеспечивается получение нормальной выходной мощности при отношении сигнал/шум не менее 20 дБ (в 10 раз). Для радиовещательных приемников чувствительность составляет десятки-сотни микровольт. При малом значении э. д. с. полезного сигнала могут оказаться соизмеримыми уровни принимаемого сигнала и собственных шумов на выходе приемника. Практически хороший прием сигналов обеспечивается при отношении сигнал/шум на выходе приемника более десяти.

Кроме чувствительности с антенного входа различают чувстви-

* Это деление, принятое для радиовещательного приема, несколько отличается от деления на диапазоны, предусмотренного регламентом радиосвязи — см. табл. 4 (прим. ред.).

тельность с гнезд звукоснимателя. Она характеризуется величиной напряжения низкой частоты, которое нужно подать на эти гнезда, т. е. на вход УНЧ приемника, чтобы на его выходе получить номинальную выходную мощность. Для большинства приемников чувствительность со входа звукоснимателя 250 мв.

Избирательность по соседнему каналу характеризует способность приемника ослаблять сигналы мешающих радиостанций, работающих на частотах, близких к частоте принимаемой радиостанции. Несущие частоты радиовещательных станций, работающих на КВ, СВ и ДВ, отличаются примерно на 10 кГц. Вследствие этого в приемнике при высокой его чувствительности наряду с частотой основного сигнала могут прослушиваться сигналы соседних по частоте радиостанций. Поэтому избирательность по соседнему каналу определяется ослаблением сигнала, выраженным в децибелах, при расстройке приемника на ± 10 кГц при приеме анодно-модулированных (АМ) сигналов в диапазонах ДВ, СВ, КВ или на ± 250 кГц при приеме частотно-модулированных (ЧМ) сигналов в диапазоне УКВ.

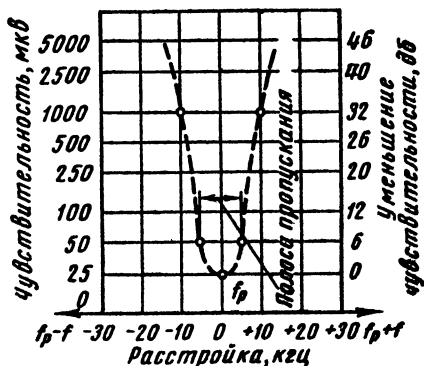


Рис. 97. Кривая избирательности приемника

Избирательность приемника иллюстрируется графиком, выражающим изменение чувствительности приемника при расстройке контуров относительно частоты приема (рис. 97). Приемник с такой кривой избирательности имеет на резонансной частоте максимальную чувствительность 25 мкВ, а при расстройке контуров на ± 10 кГц от резонансной частоты чувствительность ухудшается до 1000 мкВ, т. е. в 40 раз.

Избирательность по зеркальному каналу. Наряду с основной частотой приема супергетеродинный приемник может принимать сигналы радиостанций, частота которых отличается от частоты принимаемого сигнала на удвоенную промежуточную частоту приемника. Предположим, что несущая частота принимаемой радиостанции 2535 кГц. Для получения промежуточной частоты 465 кГц гетеродин приемника настроен на 3000 кГц. В этом случае частота 3465 кГц других радиостанций, отстоящая от частоты гетеродина тоже на 3465—3000=465 кГц или от частоты принимаемого сигнала на удвоенную промежуточную частоту (3465—2535=2×465 кГц), тоже может быть принята приемником и создает зеркальную помеху.

Ослабление зеркальных помех осуществляется резонансными

контурами входных устройств и УВЧ, включенных до преобразователя и настраиваемых на частоту принимаемой станции. Избирательность приемника по зеркальному каналу показывает, во сколько раз чувствительность приемника к сигналу на зеркальной частоте меньше чувствительности к сигналу основной частоты приема.

Полоса пропускаемых частот. Отдельные каскады приемника неодинаково усиливают принимаемые частоты, что вызывает появление частотных искажений. Оценка величины частотных искажений ведут по частотным характеристикам, выражающим зависимость усиления от частоты.

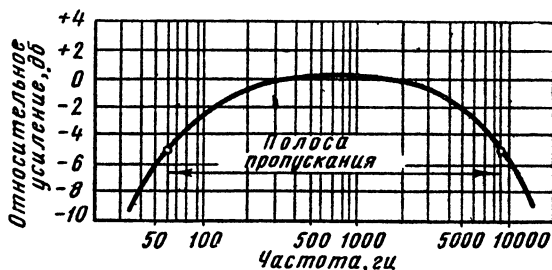


Рис. 98. Частотная характеристика УНЧ приемника

Различают частотные характеристики усилителя низкой частоты УНЧ, высокочастотной части приемника (включающей усилитель высокой частоты УВЧ, преобразователь и усилитель промежуточной частоты) и в целом всего тракта приемника.

Наиболее полно характеризует приемник частотная характеристика всего тракта усиления, включая частотную характеристику громкоговорителя (кривая верности). Она выражает зависимость звукового давления, создаваемого громкоговорителем, от частоты низкочастотного сигнала.

По частотной характеристике судят о полосе пропускания тракта. Полоса пропускания ВЧ части радиовещательного приемника на ДВ, СВ и КВ оценивается интервалом частот, на границах которого чувствительность приемника уменьшается на 6 дБ (в 2 раза) по сравнению с чувствительностью к сигналу основной (резонансной) частоты. Пример определения полосы пропускания ВЧ тракта по его резонансной характеристике показан на рис. 97.

Полоса пропускания УНЧ оценивается по частотной характеристике (рис. 98) интервалом частот, на границах которого усиление снижается на 6 дБ (в 2 раза) от своего максимального значения (имеющего место на частоте 1000—2000 Гц). Полоса воспроизводимых звуковых частот характеризует качество звучания. Чем шире полоса воспроизводимых звуковых частот и равномернее усиление в ее пределах, тем меньше частотные искажения и выше качество звучания.

Уровень фона приемника характеризуется отношением напряжения фона переменного тока к номинальному выходному напряжению приемника.

§ 47. Классификация радиовещательных приемников

В зависимости от электроакустических показателей радиоприемники в соответствии с ГОСТ 5651—64 делятся на пять классов: высший, I, II, III и IV. Стандарт охватывает радиовещательные приемники всех типов, включая транзисторные, а также распространяется на приемники, входящие в комбинированные установки (радиолы, магнитолы, телерадиолы и др.). В табл. 88 приведены основные требования к качественным показателям радиовещательных приемников различных классов.

Т а б л и ц а 88

Требования к качественным показателям приемников

Параметры	Классы				
	Высший	I	II	III	IV
Диапазоны принимаемых частот:					
ДВ, кгц	150—408				
СВ, кгц	525—1605				
КВ, Мгц	3,95—12,1			—	
УКВ, Мгц	65,8—73				—
Промежуточная частота:					
ДВ, СВ и КВ, кгц	465				
УКВ, Мгц	8,4 6,5	6,5			—
Чувствительность с внешней антенной, мкв:	50				
ДВ и СВ		150		200	300
КВ		200		—	
УКВ	5	10	20	30	—

Продолжение табл. 88

Параметры	Классы				
	Высший	I	II	III	IV
Чувствительность с внутренней магнитной антенной, $\mu\text{В/м}$:					
ДВ	—	1	2	2,5	3
СВ	—	0,7	1	1,5	2
Избирательность, дБ :					
ДВ и СВ	60	46	34	26	16—20
Крутизна ската резонансной характеристики на УКВ, дБ/кгц	0,25	0,2	0,17	0,15	—
Ослабление зеркального канала, дБ :					
ДВ	60	46	40	20—26	16—20
СВ	50	26		20	
КВ	26	14	12	—	
УКВ	30	24		20	—
Действие автоматической регулировки усиления на ДВ, СВ и КВ диапазонах, дБ :					
изменение напряжения на входе	60	40	26		
соответствующее изменение на выходе	8	12	10	12	

Продолжение табл. 88

Параметры	Классы				
	Высший	I	II	III	IV
Ручная регулировка громкости, <i>дб</i>	60	50		30—40	
Уровень фона, <i>дб</i> : с антенного входа	—54	—44	—40	—30	
со входа усилителя низкой частоты	—60	—50	—46	—36	
Частотная характеристика приемников на ДВ, СВ и КВ, <i>гц</i> : непереносные мебельные	40—6000	60—4000	80—4000	—	
непереносные настольные	60—6000	80—4000	100—4000	150—3500	200—3000
Переносные	—	150—4000	200—4000	300—3500	450—3000
Частотная характеристика приемников на УКВ, <i>гц</i> : непереносные мебельные	40—15 000	60—12 000	80—10 000	—	
непереносные настольные	60—15 000	80—12 000	100—10 000	120—7000	200—6000
переносные	—	150—12 000	200—10 000	300—7000	—
Потребление электроэнергии приемниками, <i>вт</i> : непереносные батарейные	4	3,5	1,2	0,5	0,3

Продолжение табл. 88

Параметры	Классы				
	Высший	I	II	III	IV
переносные батарейные	—	2	0,5		0,3
Напряжения питания от сети, в: номинальные	127 и 220				
предельные	114—140 и 198—242				
Напряжения питания от бата- рей, в: номинальные	120 или 9	9	9 или 4,5		
предельные	7,2 или 5,6	5,6	5,6 или 2,8		

Радиовещательные приемники для удобства их эксплуатации должны иметь ряд вспомогательных устройств. Приемники высшего и I классов — растянутые и полурастянутые диапазоны, а также регулятор громкости с тонкомпенсацией. Приемники высшего, I и непереносные II класса — обязательно внутреннюю антенну УКВ диапазона и фиксированное положение «местный прием» в диапазонах ДВ и СВ. Приемники высшего, I и непереносные II класса должны иметь регулятор тембра по низшим звуковым частотам. Приемники высшего, I, II и непереносные III класса — регулятор тембра высших звуковых частот.

§ 48. Блок-схемы радиовещательных приемников

Различают радиовещательные приемники прямого усиления и супергетеродинные.

Блок-схемы приемников прямого усиления (рис. 99, а) содержат: входные цепи *ВхЦ*, выделяющие сигнал, принятый антенной; усилитель высокой частоты *УВЧ*; детектор *Д*; усилитель низкой частоты *УНЧ*, нагруженный на громкоговоритель *Гр*, и устройства электропитания *УЭ*.

Приемники прямого усиления имеют низкую избирательность и чувствительность. Повышение этих параметров путем увеличения чис-

ла усилительных каскадов высокой частоты значительно усложняет схемы. Особенно низка избирательность приемника в КВ и УКВ диапазонах вследствие трудности получения контуров с высокой добротностью. Наличие большого числа перестраиваемых каскадов УВЧ снижает также устойчивость работы приемника.

По **супергетеродинной схеме**, обеспечивающей высокую избирательность, большую чувствительность и неискаженное воспроизведение сигнала при относительно простой настройке на частоту прини-

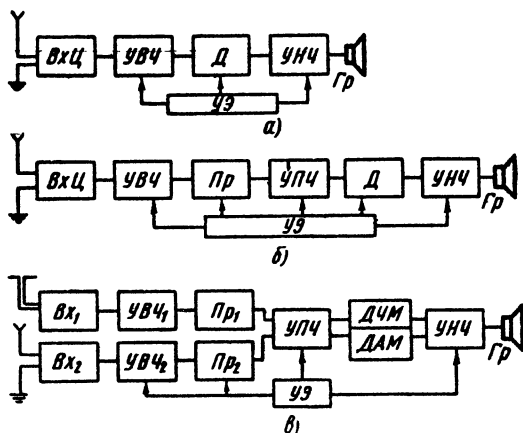


Рис. 99. Блок-схемы радиовещательных приемников:

а — прямого усиления, б — супергетеродинного типа, в — супергетеродинного типа с трактом УКВ ЧМ

маемой станции, выполняется большинство современных радиовещательных приемников. Блок-схема супергетеродинного приемника (рис. 99, б) содержит: входные цепи $ВхЦ$, усилитель высокой частоты $УВЧ$, преобразователь частоты $Пр$, усилитель промежуточной частоты $УПЧ$, детектор $Д$, усилитель низкой частоты $УНЧ$, громкоговоритель $Гр$, устройства электропитания $УЭ$.

В приемниках, собранных по супергетеродинной схеме, основное усиление осуществляется не на принятой, а на промежуточной частоте. Вследствие этого в схеме снижаются нежелательные обратные связи и повышается устойчивость. В результате увеличения числа каскадов $УПЧ$ повышается избирательность. Недостатком супергетеродинных приемников является возможность появления помех на зеркальной и промежуточной частоте.

В связи с развитием радиовещания на УКВ в приемниках высшего и I — III классов предусматривается прием частотомодулированных сигналов в диапазоне ультракоротких волн (УКВ ЧМ).

На рис. 99, в показана блок-схема супергетеродинного приемника с трактом УКВ ЧМ. Приемник имеет два входа (Bx_1 и Bx_2) и два отдельных преобразователя (Pr_1 и Pr_2). Один вход предназначен для диапазонов с амплитудной модуляцией АМ, другой — для УКВ ЧМ диапазона. Дальнейший усилительный тракт приемника от УПЧ до входа УНЧ сделан комбинированным. В нем одни и те же лампы путем соответствующего переключения используются для усиления и детектирования сигналов как с амплитудной модуляцией ДАМ, так и с частотной модуляцией ДЧМ.

§ 49. Входные устройства приемника

Назначение. Входное устройство служит для связи приемника с антенной. Оно повышает избирательность и ослабляет специфические для супергетеродинного приема помехи по зеркальному каналу

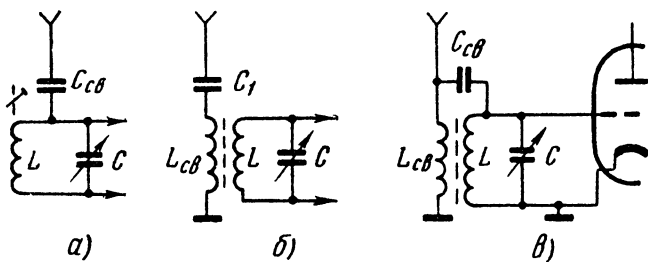


Рис. 100. Схемы связи антенны с входным контуром:

а — емкостная, б — индуктивная, в — индуктивно-емкостная

(помехи от станций, отличающихся по частоте от принимаемой на величину, равную удвоенной промежуточной частоте).

Входное устройство радиовещательного приемника при приеме на ДВ, СВ и КВ обычно содержит один или несколько связанных колебательных контуров, настраиваемых на частоту принимаемого сигнала, и элемент связи антенны с этими контурами. Для лучшего ослабления помех эти контуры должны обладать высокой добротностью.

Характеристикой входной цепи является коэффициент передачи, показывающий, во сколько раз напряжение сигнала на контуре больше э. д. с. сигнала в антенне. Коэффициент передачи зависит от диапазона частот, способа и величины связи антенны с входным резонансным контуром и его добротности. Входная часть приемника должна обеспечивать возможно меньшую зависимость его параметров от данных антенны и обладать возможно большей равномерностью усиления по диапазону, обеспечивая равномерную чувствительность приемника.

Схемы связи. Существует несколько схем связи антенны с входным контуром. Наиболее употребительны входные цепи с емкостной, индуктивной и индуктивно-емкостной связью.

Емкостная связь (рис. 100, а) позволяет при относительно малой емкости конденсатора связи $C_{св}$ (5—30 пф) получить достаточное усиление и малую зависимость настройки приемника от параметров антенны. При выборе большой емкости $C_{св}$ повышается коэффициент передачи напряжения, однако при этом увеличивается влияние параметров антенны на настройку входного контура. При емкостной связи коэффициент передачи входной цепи увеличивается с ростом частоты (рис. 101, кривая 1).

При **индуктивной связи с антенной** (рис. 100, б) катушка связи $L_{св}$ имеет значительно большую индуктивность, чем катушка входного контура. Катушка связи и определяет собственную частоту антенной цепи, которая обычно выбирается меньше наиболее низкой частоты принимаемого диапазона. При этом усиление уменьшается на высших частотах и увеличивается на низших частотах (рис. 101, кривая 2). Неравномерность коэффициента передачи по диапазону в этом случае получается относительно небольшой. Конденсатор C_1 служит для защиты приемника от переменного тока в случае замыкания антенны с электросетью.

Индуктивно-емкостная связь с антенной (рис. 100, в) обеспечивает более равномерное усиление по диапазону. Благодаря индуктивной связи обеспечивается подъем усиления на нижних частотах, благодаря емкостной связи — на верхних частотах диапазона. Вследствие этого выравнивается характеристика усиления.

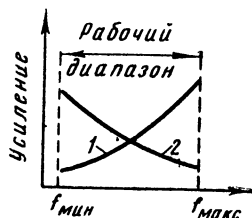


Рис. 101. Характеристики усиления (передачи) при различных видах связи с антенной

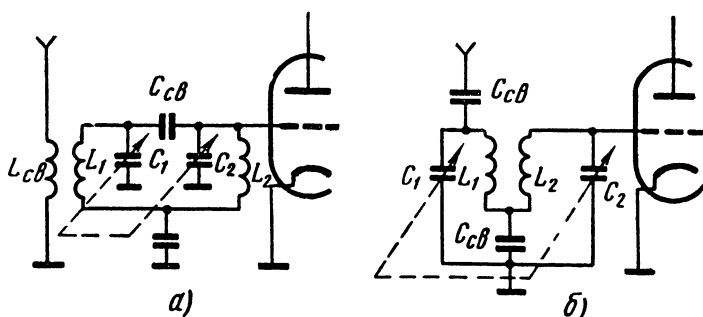


Рис 102. Виды связи входных устройств:

а — емкостная, б — индуктивно-емкостная

Входные колебательные контуры. Выделяют напряжение колебаний принимаемого сигнала и подают на управляющую сетку первой лампы приемника. По числу контуров различают одноконтурные (см. рис. 100), т. е. входные цепи с одиночным настраиваемым контуром, двухконтурные (рис. 102, а, б) и многоконтурные. Связь между контурами может быть емкостной, индуктивной и индуктивно-емкостной.

В диапазоне коротких волн для удобства настройки часто применяют «растяжку» отдельных участков коротковолнового диапазона на всю шкалу. Растяжка достигается за счет уменьшения перекрытия по емкости конденсаторов настройки. В результате шкала растягивается в 20—25 раз и охватывает 400—600 кГц вместо обычных 9—10 МГц.

На средних и длинных волнах широко используются входные цепи, совмещенные с магнитной (ферритовой) антенной. Такая антенна выполнена из ферритового стержня, на котором намотана контурная катушка, и позволяет осуществлять радиоприем без подключения внешней антенны, что важно в портативных приемниках. В стационарных приемниках иногда размещают на ферритовом стержне лишь часть витков контурной катушки.

Ферритовая антенна обладает ярко выраженной направленностью. Для получения максимального сигнала антенну нужно ориентировать так, чтобы ось ферритового стержня была перпендикулярна направлению на принимаемую станцию. Действующая высота ферритовой антенны мала, что снижает чувствительность приемника. Поэтому для приема удаленных радиостанций даже в карманных приемниках предусмотрена возможность подключения внешней антенны.

Для ослабления мешающих сигналов на промежуточной частоте приемника или близких к ней на входе приемника нередко включают специальные фильтры. Эти фильтры выполняются в виде па-

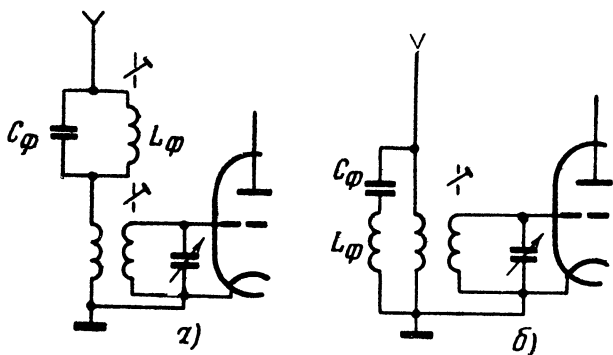


Рис. 103. Схемы антенных фильтров:

а — с параллельным контуром, б — с последовательным контуром

параллельных контуров $L\phi C\phi$, включаемых последовательно в антенную цепь (рис. 103, а). Они настраиваются на промежуточную частоту и представляют собой большое сопротивление для нее, чем затрудняется проникновение этой частоты в приемник.

Иногда фильтры выполняют в виде последовательного контура $L\phi C\phi$, включаемого параллельно входу приемника (рис. 103, б). Такой фильтр представляет собой малое сопротивление для сигналов промежуточной частоты и отводит их в землю входной цепи.

Входные цепи УКВ диапазона. Для приема УКВ применяют симметричные вибраторы и симметричные шлейфные антенны, индуктивно связываемые с входными контурами приемника (рис. 104, а). Катушку связи L_1 для сохранения симметрии изолируют от земли или заземляют ее среднюю точку.

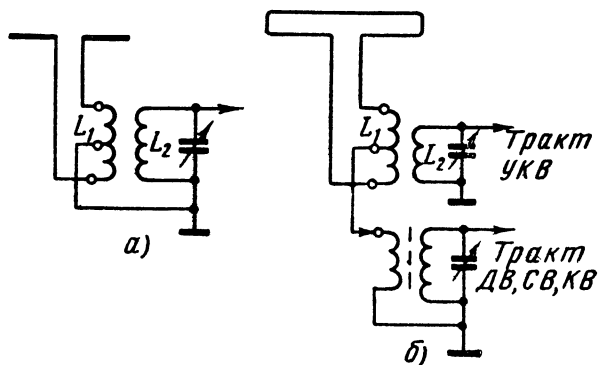


Рис. 104. Входные устройства УКВ диапазона:

а — входные цепи с заземленной средней точкой катушки связи, б — входные цепи УКВ с подключением тракта ДВ, СВ, КВ

В радиовещательных АМ — ЧМ приемниках обычно устраивают небольшую внутреннюю шлейфную антенну УКВ диапазона. Эта антенна может быть применена для приема мощных станций других диапазонов. С этой целью среднюю точку катушки связи внутренней УКВ антенны соединяют с катушками ДВ, СВ и КВ диапазонов (рис. 104, б).

§ 50. Усилители высокой частоты

Усилители высокой частоты (УВЧ) улучшают чувствительность и избирательность приемника. При наличии в приемнике УВЧ ослабляется связь гетеродина с антенной, что способствует уменьшению излучения антенной его колебаний.

Каскады УВЧ выполняют на электронных лампах или транзисторах. В качестве нагрузки УВЧ используют параллельные резонансные контуры, резисторы, дроссели. Каскады УВЧ на резисторах или дросселях называются аperiодическими.

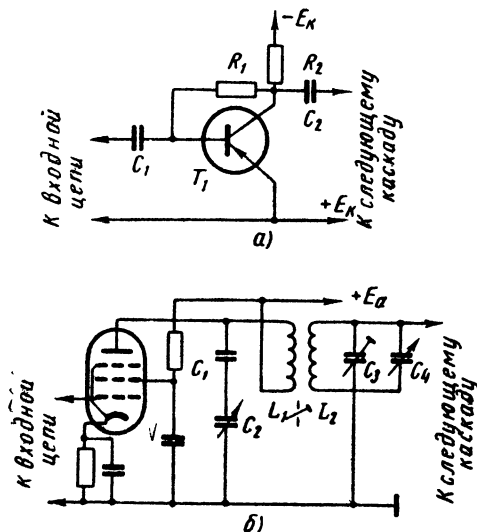


Рис. 105. Схемы каскадов УВЧ:

а — аperiодический, б — резонансный

Аperiодические усилители увеличивают лишь чувствительность приемника. Вариант схемы аperiодического УВЧ на транзисторе показан на рис. 105, а. В этой схеме напряжение ВЧ через разделительный конденсатор C_1 подводится к базе триода T_1 , в коллекторной цепи которого включена нагрузка R_2 . Температурная стабилизация режима осуществляется резистором R_1 в результате возникновения отрицательной обратной связи по постоянному току.

Ламповые схемы аperiодических УВЧ выполняют на пентодах с большой крутизной характеристики ($S > 10$ ма/в), иначе не удастся получить выигрыша в чувствительности.

УВЧ с резонансными контурами предпочтительны, так как улучшают резонансную характеристику ВЧ части приемника. При этом повышается избирательность по зеркальному каналу и ослабляются помехи от перекрестной модуляции. По сравнению с аperiодическими резонансные УВЧ увеличивают не только чувствительность, но и избирательность приемника.

Резонансные каскады УВЧ на ДВ, СВ и КВ обычно строят на ВЧ пентодах, обеспечивающих устойчивую работу при высоком коэффициенте усиления. Применение пентодов с переменной крутизной характеристики позволяет осуществить автоматическую регулировку усиления (АРУ).

В зависимости от способа включения резонансного контура различают схемы с непосредственной и индуктивной (трансформаторной) связью. Наиболее распространена схема с индуктивной связью (рис. 105, б), позволяющая изменить связь и получить наибольшее усиление или наилучшую избирательность. Изменением связи по диапазону можно несколько компенсировать неравномерность коэффициента передачи входных цепей.

Каскады УВЧ могут содержать один или два ($L_1C_1C_2$ и $L_2C_3C_4$, рис. 105, б) резонансных контура. Конденсатор C_1 предохраняет от короткого замыкания источник анодного питания E_a при случайном замыкании ротора и статора конденсатора C_2 . УВЧ с одним контуром дает меньшее усиление, но более прост в изготовлении и настройке.

УВЧ УКВ диапазона выполняют на триодах, вносящих в тракт приема на УКВ меньшие шумы. Чтобы уменьшить влияние проходной емкости и повысить устойчивость работы, УВЧ осуществляют по схеме с заземленной сеткой или схеме с нейтрализацией проходной емкости.

В схеме с заземленной сеткой (рис. 106, а) входной электрод лампы (катод) экранирован от выходного (анода) заземленной управляющей сеткой, чем снижается нежелательная связь между входным L_2C_1 и выходным L_7C_5 контурами. Чтобы исключить нежелатель-

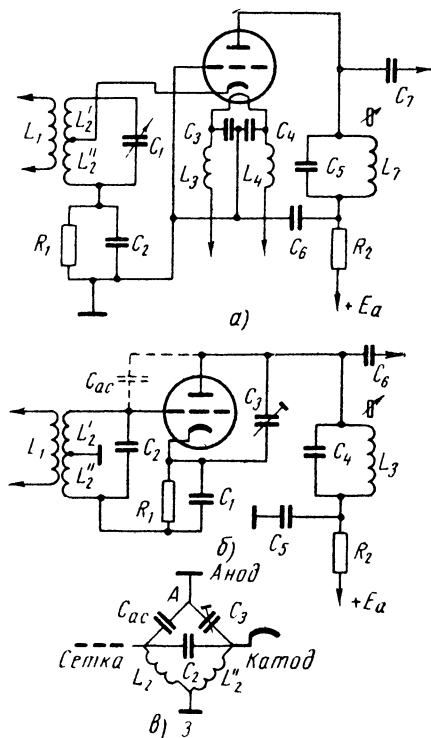


Рис. 106. Схемы УВЧ УКВ диапазона:

а — с заземленной сеткой, б — с нейтрализацией проходной емкости, в — эквивалентная схема УВЧ

ную связь по цепям накала, имеющим большую емкость относительно катода, в цепь накала включают фильтр $L_3L_4C_3C_4$.

Входное сопротивление лампы в схеме с заземленной сеткой невелико (сотни ом). Чтобы уменьшить шунтирование входного контура низким входным сопротивлением лампы в схеме применяют автотрансформаторную (см. отвод от катушки L_2 на схеме) связь лампы с входным контуром. Однако вследствие этого снижается коэффициент передачи входной цепи. Цепь R_2C_6 является развязывающим фильтром. Цепь R_1C_2 обеспечивает автоматическое смещение на управляющей сетке.

Схема с нейтрализацией контура (рис. 106, б) позволяет несколько повысить коэффициент усиления. Здесь заземляется средняя точка входного контура и сигнал в противофазе подается на управляющую сетку и катод лампы. Чтобы нейтрализовать нежелательную обратную связь между входным L_2C_2 и выходным L_3C_4 контурами через проходную емкость C_{ac} , в схему введен конденсатор C_3 . Из эквивалентной схемы УВЧ с заземленной средней точкой (рис. 106, в) видно, что проходная емкость лампы C_{ac} и нейтрализующий конденсатор C_3 с полуобмотками L'_2 и L'_2 входного контура образуют мост, в диагональ $A—З$ которого включен выходной контур. Подбором величины емкости C_3 устанавливают баланс моста, при котором устраняется нежелательная связь между контурами.

Наряду с рассмотренными схемами на УКВ в настоящее время применяется каскодная схема УВЧ на двух триодах, один из которых включается по схеме с заземленным катодом, а второй — по схеме с заземленной сеткой. Каскодная схема УВЧ устойчива в работе, так как позволяет почти полностью устранить нежелательную обратную связь между входным и выходным контурами и получить большое усиление. Особенно широко ее применяют в переключателях телевизионных каналов в телевизорах.

§ 51. Преобразователи частоты

В основе супергетеродинного приема лежит преобразование ВЧ колебания принимаемого сигнала в колебание промежуточной частоты (обычно более низкой), на которой производится основное усиление принятого сигнала.

Преобразование электрических колебаний возможно лишь в цепи, которая содержит нелинейный элемент. В качестве нелинейного элемента используют диод, триод или многосеточную лампу, на которую одновременно воздействуют два напряжения разных частот.

Для преобразования частоты принимаемого сигнала f_c (рис. 107, а) при помощи малоомощного генератора (гетеродина) создают вспомогательные колебания с частотой f_r , отличной от частоты сигнала. Затем колебания принятого сигнала и гетеродина подаются в смеситель $См$, функции которого выполняет нелинейный элемент. При одновременном воздействии частот сигнала и гетеродина на нелинейный элемент в анодном токе смесителя кроме составляющих с частотами исходных колебаний сигнала и гетеродина возникнут со-

ставляющие с разностной $f_r - f_c$ и суммарной $f_r + f_c$ частотами и ряд других частот высших порядков вида $mf_r \pm nf_c$, где m и n — любые целые числа. Эти новые частоты, представляющие комбинации частот f_r и f_c и их гармоник, называются *комбинационными частотами*.

Амплитуды комбинационных колебаний тем больше, чем меньше значения m и n . Поэтому из всех продуктов преобразования в качестве колебания *промежуточной частоты* $f_{пр}$ используют разностную

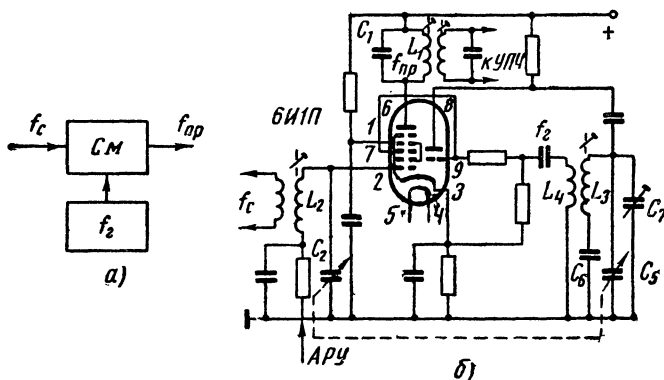


Рис. 107. Схемы преобразователей частоты:

а — блок-схема, б — принципиальная на триод—гептоде

частоту $f_r - f_c$. Выделение этой частоты производят с помощью колебательного контура, включенного в анодную цепь лампы и настроенного на промежуточную частоту.

Преобразователи частоты ДВ, СВ и КВ диапазонов современных ламповых приемников чаще строят на комбинированных триод—гептодах, обеспечивающих достаточно большое усиление при относительно низком уровне собственных шумов.

На рис. 107, б изображена принципиальная схема преобразовательного каскада на триод—гептоде. Гетеродин здесь собран на триодной части лампы по схеме с индуктивной обратной связью. Колебательный контур гетеродина образован индуктивностью L_3 и емкостями C_5 , C_6 и C_7 . Катушка L_4 выполняет функции элемента обратной связи. Колебания гетеродина с частотой f_r подаются на третью сетку гептодной части. Гептодная часть лампы является смесителем. Принимаемый сигнал f_c подводится к первой (управляющей) сетке гептодной части лампы. В результате взаимодействия колебаний сигнала и гетеродина в анодном токе лампы будут содержаться колебания промежуточной частоты $f_{пр}$, которые выделяются колебательным контуром и подаются затем в усилитель промежуточных частот УПЧ.

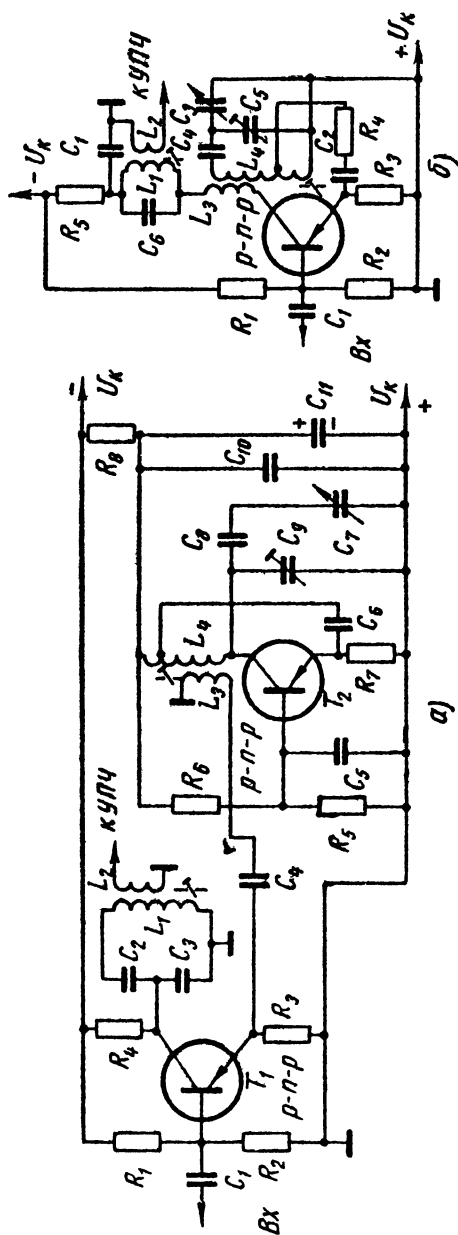


Рис. 108. Схемы преобразователей частоты на транзисторах:
а — с отдельным гетеродином, б — с совмещенным гетеродином

Гетеродин должен обладать высокой стабильностью частоты. Уход частоты может привести к частотным искажениям и нарушению радиосвязи. Для компенсации увеличения емкости конденсатора настройки C_6 , вызванных нагревом, параллельно ему подключен конденсатор C_7 с отрицательным температурным коэффициентом емкости. Емкость этого конденсатора уменьшается при разогреве, чем компенсируется увеличение емкости контурного конденсатора.

Настройка приемника производится блоком спаренных конденсаторов C_2 , C_5 переменной емкости, входящих в приемные контуры ВЧ и гетеродина. Эти конденсаторы должны иметь одинаковые начальную и конечную емкости и одинаковый закон изменения емкости во всех секциях.

Частота колебаний гетеродина должна отличаться от частоты сигнала на величину промежуточной частоты. Это требование удовлетворяется сопряженной настройкой колебательного контура гетеродина и входных ВЧ контуров приемника. Однако идеальное сопряжение по всему диапазону, при котором $f_r = f_c + f_{пр}$, получить трудно. Поэтому его добиваются в трех точках каждого диапазона — в начале, середине и конце. При этом достигается хорошее для практики сопряжение контуров. В схеме (рис. 107, б) сопряжение контуров осуществляют включением в контур гетеродина вспомогательных сопрягающих конденсаторов C_6 и C_7 . На практике сопрягающий конденсатор C_6 берут постоянной емкости, а регулировку сопряжения производят лишь в начале диапазона конденсатором C_7 и в конце изменением индуктивности L_3 . От точности сопряжения контуров зависит усиление приемника и равномерность чувствительности по диапазону.

Преобразовательные каскады на транзисторах выполняют как с отдельным, так и совмещенным гетеродином.

Приемники с КВ диапазоном обычно содержат преобразователь с отдельным гетеродином (рис. 108, а). Гетеродин собран по автотрансформаторной схеме на триоде T_2 , включенном в схему с общей базой. Колебательный контур гетеродина, включенный в коллекторной цепи, образован катушкой L_4 и конденсаторами настройки C_7 , подстроечным C_9 и сопрягающим C_8 .

На триоде T_1 собран смеситель. Напряжение принятого сигнала подается на базу триода T_1 , а сигнал гетеродина — с катушки связи L_3 на эмиттер. Колебания промежуточной частоты выделяются контуром $L_1C_2C_3$ в коллекторной цепи и с катушки связи L_2 подаются к УПЧ.

Достоинством преобразователей частоты с отдельным гетеродином является независимость режимов транзисторов смесителя и гетеродина, относительная простота налаживания и др.

В приемниках только с ДВ и СВ диапазонами часто применяют схемы совмещенных преобразователей частоты (рис. 108, б). Контур гетеродина образован катушкой индуктивности L_4 и конденсаторами настройки C_3 , подстроечным C_5 и сопрягающим C_4 . Принятый сигнал через конденсатор C_1 подается в цепь базы. Для входного сигнала транзистор включен по схеме с общим эмиттером, а для гетеродина — по схеме с общей базой с обратной связью в цепи эмиттера.

Колебания промежуточной частоты выделяются контуром L_1C_6 , включенным в коллекторной цепи, и с катушки L_2 подаются к УПЧ.

Схемы преобразователей частоты УКВ диапазона АМ-ЧМ ламповых приемников обычно выполнены на двойных триодах (рис. 109), причем один триод (Λ_1) используют в каскаде УВЧ, а второй (Λ_2) — в преобразователе Пр. Конструктивно УВЧ и преобразователь оформляются в виде отдельного УКВ блока.

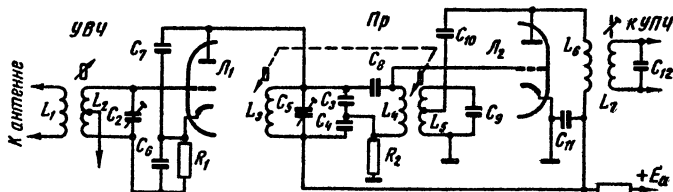


Рис. 109. Схема преобразователя частоты УКВ диапазона

Настройку контуров УКВ блока производят подвижными немагнитными сердечниками. Напряжение принимаемого сигнала f_c снижается с емкостного делителя C_3C_4 в анодной цепи УВЧ и подается в цепь сетки преобразователя.

Гетеродин и смеситель преобразователя выполнены на одном триоде Λ_2 . Гетеродин собран по схеме с индуктивной обратной связью, и частота его колебаний определяется параметрами контура L_5C_9 . Колебания ПЧ выделяются с помощью контура L_7C_{12} .

§ 52. Усилители промежуточной частоты

Усилитель промежуточной частоты (УПЧ) определяет чувствительность и избирательность по соседнему каналу супергетеродинного приемника и его полосу пропускания. В каскадах УПЧ обычно используются ВЧ пентоды с переменной крутизной характеристики, позволяющие регулировать усиление путем изменения смещения на управляющей сетке. При этом величина напряжения смещения изменяется автоматически в соответствии с величиной принятого сигнала, вследствие чего напряжение сигнала на выходе УПЧ практически остается одинаковым.

В большинстве приемников УПЧ выполняется однокаскадным (рис. 110, а) с полосовым фильтром ФПЧ, обеспечивающим достаточную ширину полосы пропускания при сохранении высокой избирательности. Полосовой фильтр состоит из двух индуктивно связанных колебательных контуров C_3L_3 и C_4L_4 , настроенных на промежуточную частоту.

Выбор величины промежуточной частоты имеет очень важное значение. Она должна располагаться в участке диапазона, где отсут-

ствуют мощные радиовещательные станции, сигналы от которых могут прямо проникать в тракт УПЧ. При сравнительно низкой частоте (≈ 100 кГц) можно легко получить высокую избирательность по соседнему каналу и большое усиление, но при этом трудно обеспечить избирательность по зеркальному каналу, при высоких частотах (≈ 1000 кГц) — наоборот. Промежуточная частота в широковещательных приемниках при приеме ДВ, СВ и КВ принята 465 кГц, а при приеме УКВ — 8,4 МГц.

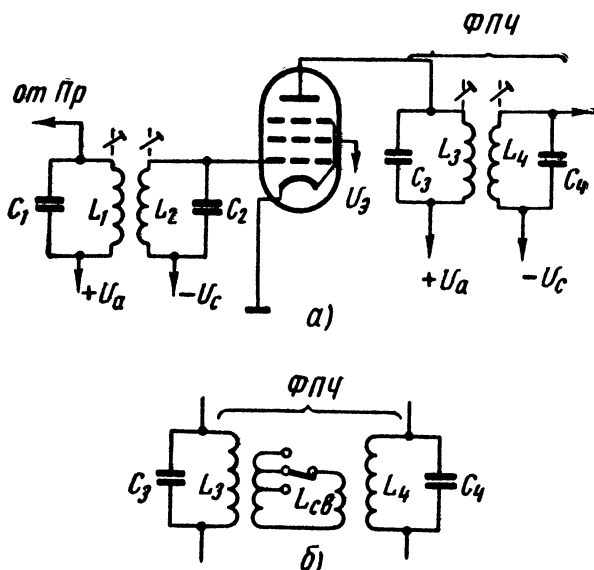


Рис. 110. Схема каскада УПЧ на лампе:

а — с полосовым фильтром ФПЧ, б — с полосовым фильтром со ступенчатой регулировкой полосы пропускания

Для получения хорошей избирательности контуры УПЧ должны иметь высокую добротность. Чтобы смена ламп усилителя не вызвала заметной расстройки контуров вследствие разброса собственных емкостей лампы, в контурах применяют слюдяные или керамические конденсаторы относительно большой емкости (120—180 пф). Подстройка контуров производится ВЧ сердечниками из альсифера, феррита.

В простых радиовещательных приемниках каскад УПЧ выполняют с одиночным резонансным контуром, настроенным на промежуточную частоту. Такой УПЧ по сравнению с УПЧ с полосовым фильтром обладает большим коэффициентом усиления, но худшей избира-

тельностью и большей неравномерностью усиления в полосе пропускания.

В современных радиовещательных приемниках применяют ручную регулировку полосы пропускания. При приеме местных мощных станций или отсутствии помех со стороны других станций прием можно вести с широкой полосой пропускания, так как от нее зависит качество воспроизведения передач.

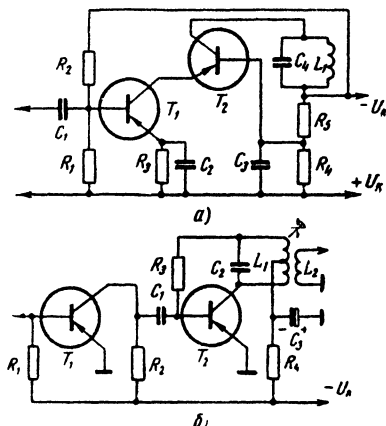
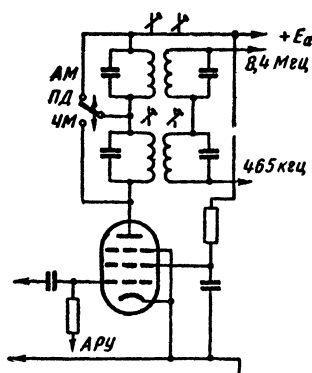


Рис. 111. Схемы каскадов УПЧ на транзисторах:

а — каскадная, б — с апериодическим усилителем



ными и выходным сопротивлениями, малой проходной емкостью и большой устойчивостью в работе.

Устойчиво работает схема УПЧ, содержащая аperiodический каскад с емкостной связью на триоде T_1 и резонансный каскад на триоде T_2 с контуром L_1C_2 (рис. 111, б). Применение настроенного контура на выходе УПЧ сужает полосу пропускания второго каскада, следовательно, уменьшает усиление сигналов, отличающихся от ПЧ, что повышает избирательность контура.

Каскады УПЧ АМ-ЧМ приемников содержат два полосовых фильтра (рис. 112). Один фильтр предназначен для пропускания АМ сигналов. Он настроен на промежуточную частоту 465 кГц. Второй фильтр предназначен для пропускания ЧМ сигналов и настроен на частоту 8,4 МГц. Взаимное влияние фильтров устраняется вследствие большого сдвига резонансных частот контуров. Иногда (для предотвращения помех на неиспользуемой промежуточной частоте) в схемах с помощью переключателя диапазонов ПД предусматривается замыкание одного из нерабочих контуров, например при работе приемника в АМ диапазоне замыкается один из контуров ЧМ тракта, и наоборот.

§ 53. Детекторы

Амплитудные диодные детекторы АМ сигналов. С выхода УПЧ высокочастотные модулированные по амплитуде колебания подаются на детектор, с помощью которого выделяют модулирующее напряжение низкой частоты. В супергетеродинных приемниках, как правило, применяется диодное детектирование, обеспечивающее минимальные искажения и позволяющее просто осуществить автоматическую регулировку усиления (АРУ).

На рис. 113 изображена схема последовательного диодного детектора АМ колебаний. Модулированные колебания со вторичного контура L_2C_2 фильтра промежуточной частоты ФПЧ подаются на диод D_1 (или D_2) и детектируются им. Колебания звуковой частоты выделяются на нагрузке R_1 (0,2—0,5 Мом), шунтированной для переменной составляющей конденсатором C_3 (100—200 пф). С резистора R_1 звуковые колебания через разделительный конденсатор C_4 подаются на управляющую сетку первой лампы УНЧ.

Частотные детекторы предназначены для детектирования модулированных по частоте ВЧ колебаний. Наиболее распространен в настоящее время частотный детектор, называемый детектором отношений или дробным детектором.

Часто применяется схема симметричного дробного детектора (рис. 114). Вначале производится преобразование ЧМ сигнала в АМ сигнал с помощью системы связанных контуров L_1C_1 и L_2C_2 , настроенных на промежуточную частоту приемника. В основе действия схем лежат фазовые соотношения между напряжениями, действующими на контурах. При резонансе э. д. с., индуцируемая во вторичном контуре, совпадает по фазе с напряжением, действующим на зажимах первичного контура. Напряжения, подаваемые на диоды D_1 и D_2 детектора, определяются геометрической суммой напряжений, снимае-

мых с полуобмоток катушки L_2 и катушки L_3 , индуктивно связанных с первичным контуром.

При резонансе токов в контурах на частоте сигнала напряжения на диодах равны по величине, но различны по фазе. При отклонении

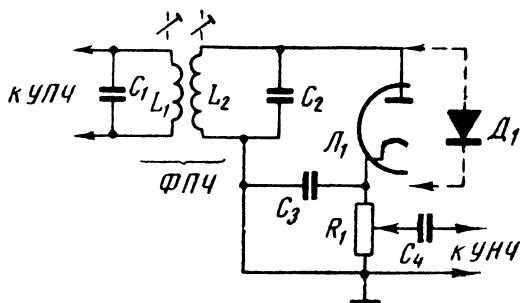


Рис. 113. Схема детектора АМ колебаний

частоты сигнала от резонансной (в сторону увеличения или уменьшения) меняется фаза напряжений, снимаемых с полуобмоток катушки L_2 , вследствие чего меняется величина напряжений на дио-

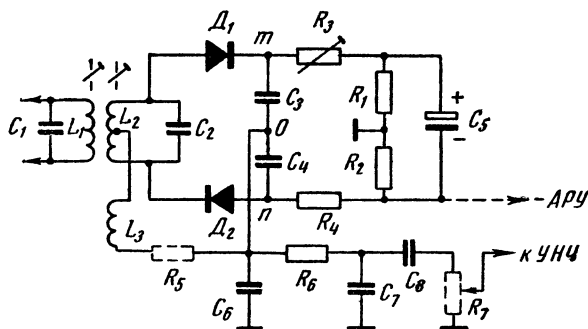


Рис. 114. Схема симметричного частотного детектора

дах D_1 и D_2 . Таким образом, напряжения, подаваемые на диоды, оказываются модулированными по амплитуде по тому же закону, по которому модулирован по частоте принимаемый сигнал.

Детекторная часть схемы содержит два последовательно включенных диода D_1 и D_2 , проводящих ток в течение одного полупериода. Нагрузочные резисторы R_1 и R_2 диодов заблокированы конденсатором C_5 большой емкости. Вследствие этого возрастает постоян-

ная времени цепи нагрузки, в результате чего напряжение на резисторах может изменяться весьма медленно.

В такой схеме большие изменения амплитуды сигнала вызывают резкие изменения тока через диоды, заряжающего конденсатор C_5 . Вследствие этого изменяется добротность колебательного контура. При увеличении амплитуды сигнала добротность уменьшается, а при уменьшении — возрастает, что приводит к сглаживанию изменений амплитуды сигнала. Таким образом, дробный детектор подавляет амплитудную модуляцию и импульсные помехи, что допускает работу без отдельного ограничителя амплитуд.

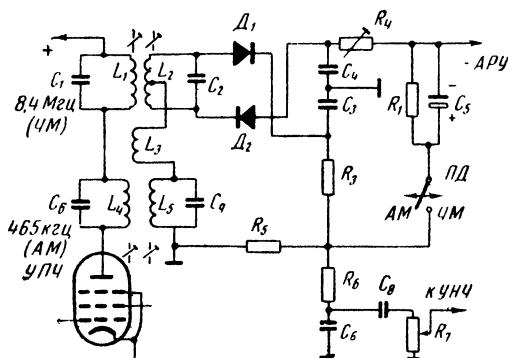


Рис. 115. Схема комбинированного детектора АМ-ЧМ сигналов

Напряжения, протектированные диодами и изменяющиеся по закону низкой частоты, выделяются на конденсаторах C_3 и C_4 . В связи с тем что увеличение напряжения на одном из конденсаторов сопровождается таким же уменьшением напряжения на другом конденсаторе, суммарное напряжение между точками $m-n$ не меняется. Низкочастотное напряжение сигнала снимается со средней точки соединения конденсаторов (точка 0) и подается в тракт УНЧ.

Остальные элементы схемы выполняют вспомогательные функции. Конденсатор C_6 включен для сглаживания высокочастотной составляющей. Резистор R_5 , иногда вводимый в схему дробного детектора, ограничивает импульсы тока через диоды, что ослабляет влияние импульсных помех. Цепь R_6C_7 служит для выравнивания частотной характеристики тракта приема в области высших звуковых частот. Резисторы R_3 и R_4 служат для симметрирования схемы.

Комбинированный АМ-ЧМ детектор приемника. При приеме АМ сигналов диод D_1 (рис. 115) работает по схеме амплитудного диодного детектора (аналогичной схеме, показанной на рис. 113), а диод D_2 используется в качестве детектора для получения напряжения автоматической регулировки усиления (АРУ). При приеме ЧМ

сигналов переключатель диапазонов ПД приемника ставят в положение ЧМ. При этом схема работает как несимметричный дробный детектор.

§ 54. Вспомогательные устройства ВЧ части приемника

Автоматическая регулировка усиления. Уровни сигналов различных радиостанций на входе приемника неодинаковы, вследствие этого изменяется громкость приема. При высоком уровне сигнала возможна перегрузка приемника, при которой возникают большие нелинейные искажения. Чтобы не возникали эти нежелательные явления,

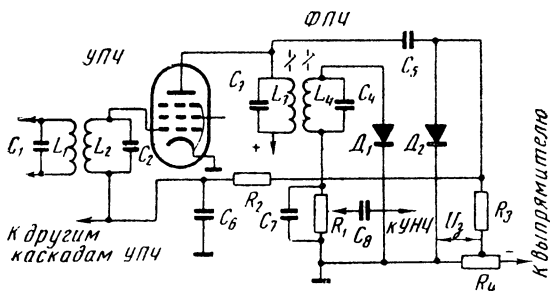


Рис. 116. Схема АРУ с задержкой

в схемах супергетеродинных приемников предусматривается АРУ, обеспечивающая на выходе приемника относительно постоянную громкость при различном уровне принимаемого сигнала.

АРУ производится изменением смещения на сетках УВЧ и УПЧ, а иногда и преобразователя. Для этого в каскадах УВЧ и УПЧ обычно применяют лампы с переменной крутизной характеристик, на управляющие сетки которых от специального детектора подается отрицательное напряжение. Величина этого управляющего напряжения тем больше, чем больше уровень сигнала на входе приемника. При увеличении отрицательного напряжения на сетках регулируемых ламп рабочая точка перемещается в область меньшей крутизны характеристики, вследствие чего снижается усиление УВЧ и УПЧ, а уровень выходного сигнала остается почти постоянным.

Различают схемы простой АРУ и с задержкой.

Схема простой АРУ начинает действовать при любом уровне сигнала, даже при поступлении на детектор слабого сигнала. При этом начинает возрастать отрицательное смещение на сетках регулируемых ламп и уменьшается усиление, вследствие чего снижается чувствительность приемника к слабым сигналам.

В схемах с задержкой АРУ начинает действовать лишь тогда, когда напряжение сигнала достигает определенного уровня. В этих схемах напряжение АРУ снимается с диода, нормально закрытого некоторым отрицательным напряжением. Диод открывается лишь при достаточно сильных сигналах, при которых напряжение промежуточной частоты, подводимое к нему, превышает запирающее напряжение.

Одна из простейших схем АРУ с задержкой показана на рис. 116. Детектором сигнала работает диод D_1 . На него подается напряжение сигнала со второго контура L_4C_4 фильтра ФПЧ. Нагрузкой детектора является потенциометр R_1 , шунтированный конденсатором C_7 . Напря-

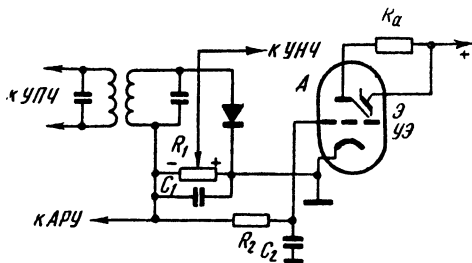


Рис. 117. Схема включения индикатора настройки

жение звуковой частоты снимается с потенциометра R_1 и подается через конденсатор C_8 в тракт УНЧ.

Управляющее напряжение для АРУ получают от детектора на диоде D_2 . Диод работает по схеме с параллельно включенной нагрузкой R_3 . Диод откроется лишь тогда, когда напряжение промежуточной частоты, подаваемое с первого контура C_3L_3 фильтра ФПЧ через конденсатор C_5 , превысит постоянное отрицательное напряжение задержки. Это напряжение снимается с делителя R_4 , включенного между шасси приемника и отрицательным полюсом выпрямителя. Выпрямленное напряжение АРУ с делителя R_4 через фильтр R_2C_6 подается на сетки регулируемых ламп.

Индикатор настройки. В приемниках с АРУ затруднена их настройка на частоту принимаемой радиостанции, так как АРУ стремится уменьшить усиление при увеличении сигнала в момент точной настройки. Чтобы облегчить настройку в приемниках высших классов, применяют электронные индикаторы, указывающие момент точной настройки на радиостанцию.

Схема включения индикатора изображена на рис. 117. Здесь с нагрузки R_1 детектора напряжение подается в цепь АРУ, а также через сглаживающий фильтр R_2C_2 — на сетку триодной части индикатора настройки. При точной настройке контуров приемника на принимаемую радиостанцию напряжение смещения на сетке индикатора достигает максимума. Анодный ток триода при этом уменьшается, а потенциал анода A и управляющего электрода $УЭ$ индикатора

тора возрастает, приближаясь к потенциалу экрана Э. При этом происходит сужение теневого сектора на экране, минимальная ширина которого указывает на точную настройку приемника.

§ 55. Усилители низкой частоты приемников

В зависимости от класса радиоприемника диапазон усиливаемых частот УНЧ лежит в пределах 50—12 000 гц. УНЧ должны обеспечить получение равномерного неискаженного усиления в заданном диапазоне частот при заданных напряжении на входе и мощности

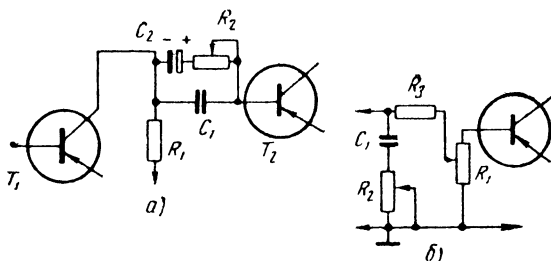


Рис. 118. Схемы регулировки тембра:

а — регулятор нижних частот, б — регулятор верхних частот

на выходе. Обычно УНЧ радиоприемника содержат предварительный усилитель напряжения и оконечный мощный каскад.

Регулировка громкости принимаемого сигнала производится изменением величины напряжения низкой частоты, подаваемого на первый каскад УНЧ. Такую регулировку можно осуществить с помощью переменного резистора R_1 , включенного в цепь детектора (см. рис 113). Однако приведенная схема регулировки не обеспечивает естественного звучания речи, особенно при малой громкости, вследствие того, что ухо человека обладает неодинаковой чувствительностью к разным звуковым частотам. Наиболее чувствительно оно к средним звуковым частотам (1000—3000 гц), наименее — к нижним частотам. При снижении громкости передачи слушателю кажется, что нижние частоты ослаблены больше, чем средние и верхние. Более четко и естественней звучит сигнал, если больше усилены нижние или ослаблены верхние частоты (выше 4000 гц).

Изменения в воспроизведении различных участков диапазона звуковых частот производят, применяя в усилителе частотнозависимые регуляторы (регуляторы тембра). Они состоят из конденсаторов (обычно постоянной емкости) и переменных резисторов, включаемых на входе или выходе каскадов УНЧ или в цепи отрицательной обратной связи усилителей.

Такие частотнозависимые схемы регулировки показаны на рис. 118, а и б. На схемах изображены регуляторы тембра нижних

и верхних частот. При уменьшении сопротивления резистора R_2 (рис. 118, а) цепочка R_2C_2 будет представлять собой большое сопротивление для нижних звуковых частот и малое для верхних. Вследствие этого произойдет ослабление сигнала в области нижних частот, подаваемых на базу триода T_2 . Подобным образом ослабляется сигнал в области верхних частот в схеме, показанной на рис. 118, б, при уменьшении сопротивления переменного резистора R_2 .

Таким образом, изменяя положение движков переменных резисторов R_2 , изменяют сопротивление цепи регулятора для различных частот звукового диапазона, что приводит к изменению частотных характеристик усилителей, а вместе с этим — к изменению тембра звучания передачи.

Глава XI. ИМПУЛЬСНАЯ ТЕХНИКА

§ 56. Общая характеристика импульсного сигнала

Виды импульсных сигналов. Под импульсной техникой понимают область радиоэлектроники, изучающую вопросы формирования импульсных сигналов и их прохождение через электрические цепи. Импульсный сигнал может состоять из одного или серии импульсов.

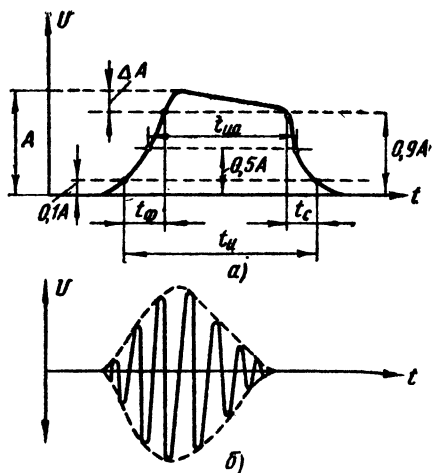


Рис. 119. Одиночные импульсы:

a — видеоимпульс, *б* — радиопульс

Под импульсом понимают быстрое появление и исчезновение тока или напряжения, т. е. кратковременное действие тока или напряжения на электрическую цепь или устройство. В импульсной технике различают два вида импульсных сигналов — *видеоимпульсы* (рис. 119, *a*), представляющие собой кратковременные односторонние (относительно оси времени) изменения напряжения или тока в цепи

постоянного тока, и *радиоимпульсы* (рис. 119, б) — сигнал, состоящий из высокочастотных колебаний напряжения или тока, огибающая которых повторяет форму видеоимпульса. В импульсной технике в основном рассматриваются видеоимпульсы.

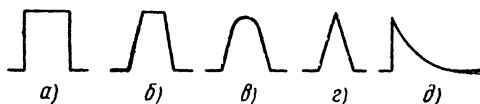


Рис. 120. Формы импульсов:

a — прямоугольная, *б* — трапецидальная; *в* — колоколообразная, *г* — треугольная, *д* — экспоненциальная

Форма импульсов. Импульсы могут иметь прямоугольную, трапецидальную, колоколообразную, треугольную и экспоненциальную форму (рис. 120). В импульсе различной формы различают фронт, вершину и спад. Импульсы могут быть положительной или отрицательной полярности. Импульсы положительной полярности на графиках изображают выше горизонтальной оси времени, а отрицательной — ниже оси.

Параметры импульсов. Каждый импульс характеризуется амплитудой A (см. рис. 119, а), длительностью импульса t_n , длительностями фронта t_f , спада t_c , снижением вершины ΔA , а также мощностью в импульсе.

Амплитуда однополярного импульса характеризуется величиной (размахом) напряжения или тока от нуля до максимального значения импульса данной формы. В двустороннем импульсе величина от вершины положительного до вершины отрицательного импульса называется *полным размахом импульса* (полной амплитудой A_n (рис. 121)).

Длительность импульса t_n — интервал времени, в течение которого ток или напряжение действует на электрическую цепь. В реальных схемах искажается форма импульсов, поэтому длительность определяют на уровне 0,1А и реже по основанию импульса. Активную длительность импульса $t_{н.а}$ измеряют на уровне 0,5А.

Длительность фронта t_f и спада t_c оценивается интервалом времени, в течение которого амплитуда импульса нарастает от 0,1 до 0,9 своего максимального значения и падает от 0,9А до 0,1А. В большинстве случаев желательно иметь минимальные t_f и t_c .

Снижение вершины ΔA практически не должно превышать (0,01—0,05) А.

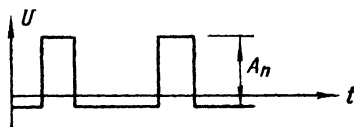


Рис. 121. Амплитуда прямоугольных импульсов

Мощность в импульсе характеризуется отношением энергии W , выделенной в цепи при прохождении импульса, к его длительности t_n .

$$P_n = \frac{W}{t_n}.$$

§ 57. Периодическая последовательность импульсов и ее параметры

Для периодической последовательности импульсов (рис. 122, а) свойственно следование импульсов через равные промежутки времени. Ее характеризуют следующие параметры.

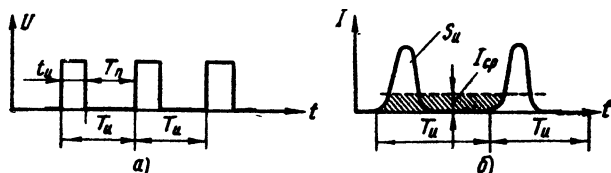


Рис. 122. Периодическая последовательность импульсов:

а — прямоугольных, б — колоколообразных

Период следования T_n — интервал времени от момента появления одного импульса до момента появления следующего импульса той же полярности.

Частота следования F_n , являющаяся величиной, обратной периоду следования, т. е.

$$F_n = 1/T_n.$$

Длительность паузы T_p — время между моментом окончания одного импульса и началом другого:

$$T_p = T_n - t_n.$$

Скважность импульсов Q , определяемая как отношение периода следования T_n к длительности t_n .

$$Q = \frac{T_n}{t_n}.$$

Коэффициент заполнения — величина, обратная скважности, показывающая, какую часть периода занимает импульс.

$$\gamma = \frac{1}{Q} = \frac{t_n}{T_n} = t_n F_n.$$

Среднее значение импульсного тока (напряжения) получается, если ток (напряжение) импульса равномерно распределить на весь период так, чтобы площадь прямоугольника $I_{\text{ср}}T_{\text{и}}$ (рис. 122, б) была равновелика площади импульса $S_{\text{и}}$.

$$S_{\text{и}} = I_{\text{м}} t_{\text{и}} \quad I_{\text{ср}} = \frac{S_{\text{и}}}{T_{\text{и}}} = \frac{I_{\text{м}} t_{\text{и}}}{T_{\text{и}}} = I_{\text{м}} \gamma = \frac{I_{\text{м}}}{Q}.$$

Средняя мощность $P_{\text{ср}}$ определяется отношением энергии W , выделенной в цепи за период следования импульса $T_{\text{и}}$, к длительности этого периода.

$$P_{\text{ср}} = \frac{W}{T_{\text{и}}}.$$

Очевидно, $P_{\text{ср}}T_{\text{и}} = P_{\text{и}}t_{\text{и}}$, откуда $P_{\text{ср}} = \frac{P_{\text{и}}t_{\text{и}}}{T_{\text{и}}} = \frac{P_{\text{и}}}{Q} = P_{\text{и}}\gamma$. Элек-

тронные приборы для импульсных схем очень часто выбирают по средней мощности.

§ 58. Спектральный состав импульсных сигналов

Периодическую последовательность импульсов, являющуюся не-синусоидальным колебанием, согласно теореме Фурье можно представить тригонометрическим рядом. Этот ряд состоит из постоянной составляющей и бесконечного числа гармонических составляющих с определенными частотами, амплитудами и начальными фазами. Спектр периодической последовательности импульсов выражает зависимость амплитуд гармоник от их частоты. Графическое изображение спектра составляет спектральную диаграмму. На этой диаграмме амплитуда каждой гармоники в определенном масштабе изображается на оси частот вертикальным отрезком, длина которого пропорциональна амплитуде этой гармоники.

На рис. 123, б показан амплитудно-частотный спектр для периодической последовательности прямоугольных импульсов (рис. 123, а). По оси ординат (рис. 123, б) отложены амплитуды напряжения U_{mn} , а по оси абсцисс — частота соответствующих гармоник $f = nF_{\text{и}}$, где n — любое целое положительное число.

Гармонические составляющие спектра отстоят друг от друга по частоте на величину $F_{\text{и}}$, т. е. в спектре содержатся лишь колебания частот, кратных частоте $F_{\text{и}} = 1/T_{\text{и}}$.

Такой спектр называется линейчатым. Он состоит из дискретных (раздельно существующих) линий, представляющих собой гармонические составляющие. Вершины спектральных линий соединены плавной кривой (огibaющей).

Закон изменения огibaющей спектральных линий не зависит от их количества (густоты), т. е. от частоты повторения импульсов. Поэтому на графиках амплитудно-частотных спектров импульсов заданной формы проводят лишь одну огibaющую спектральных

линий, который можно пользоваться независимо от частоты повторения импульсов.

Интервал между спектральными линиями равен $1/T_n$, поэтому при увеличении периода T_n (уменьшении частоты) следования импульсов и сохранении их длительности t_n увеличивается количество спектральных линий. Отсюда следует, что при переходе от периодической последовательности импульсов к одиночному импульсу ($T_n = \infty$) частотный спектр преобразуется из линейчатого в сплошной, так как интервал между спектральными составляющими уменьшается до нуля ($F_n = 0$) и содержит колебания всех частот от 0 до ∞ .

При переходе линейчатого спектра к сплошному форма огибающей остается неизменной, потому что она зависит не от периода повторения импульсов, а только от их формы.

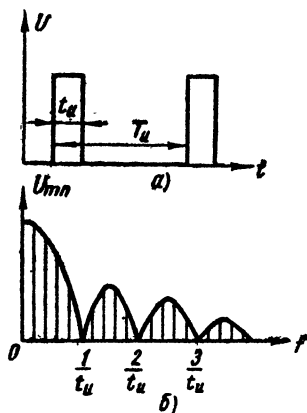


Рис. 123. Периодическая последовательность импульсов:

а — форма импульсов; б — амплитудно-частотный спектр

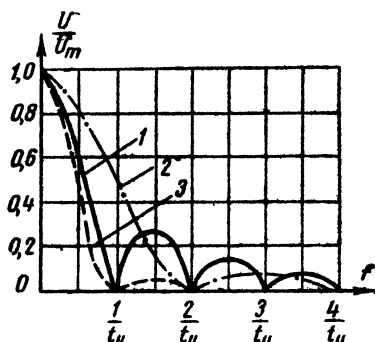


Рис. 124. Огибающие амплитудно-частотных спектров импульсов в относительных единицах

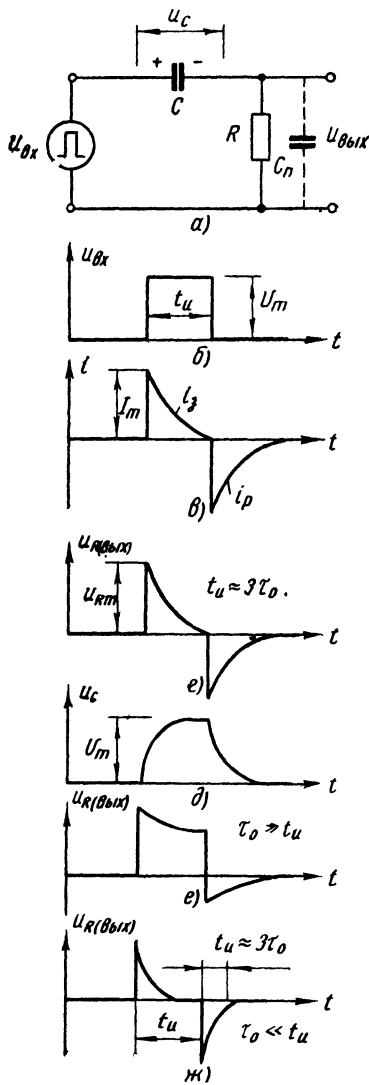
На рис. 124 изображены огибающие амплитудно-частотных спектров для прямоугольного 1, треугольного 2 и колоколообразного 3 импульсов. Из графика следует, что прямоугольный импульс с более крутым фронтом в спектре содержит больше высокочастотных составляющих, чем колоколообразный импульс, у которого почти вся энергия сосредоточена в низкочастотной части спектра.

Наибольшее значение имеют амплитуды гармоник, частоты которых лежат в пределах трех огибающих спектральных линий (см. рис. 123, б). Каждый последующий максимум огибающей амплитудного спектра меньше предыдущего, следовательно, в каждом последующем интервале частот заключено все меньше энергии.

Практически для неискаженной передачи достаточно ограничиться передачей активной ширины спектра видеосигнала $F_{\text{акт}}$ (диапазона частот, в котором заключено 95% всей энергии сигнала).

Обычно чем круче фронт импульса, тем больше активная ширина его спектра. Например, для прямоугольного импульса $F_{\text{акт}} = 2/t_u$, а для колоколообразного той же длительности — в четыре раза меньше. Импульс проходит через линейную цепь с малыми искажениями, если $F_{\text{акт}}$ не превосходит полосы пропускания линейной цепи.

Чем меньше длительность импульса t_u , тем большая полоса пропускания требуется для неискаженной передачи. При сужении полосы воспроизводится меньше высокочастотных гармоник на выходе устройства, что приводит к уменьшению крутизны фронтов импульсов.



§ 59. Прохождение импульсов через линейные цепи

Понятие о переходных процессах. В электрической цепи, состоящей из активных сопротивлений, между подводимым напряжением и действующим в цепи током существует прямая зависимость, выражаемая законом Ома. В такой цепи всякое изменение подводимого напряжения сопровождается мгновенным изменением на соответствующую величину тока.

Электрические цепи реальных радиотехнических схем

Рис. 125. Воздействие прямоугольного импульса на дифференцирующую цепь:

а — схема, б — форма импульса на входе, в — форма тока в цепи, г — форма напряжения на резисторе, д — то же, на конденсаторе, е — форма импульса на выходе при $\tau_0 \gg t_u$, ж — то же, при $\tau_0 \ll t_u$

обычно содержат сопротивления, индуктивности и емкости. В таких цепях, состоящих из активного и реактивного сопротивлений, связь между напряжением и током имеет более сложный характер. Объясняется это тем, что емкость и индуктивность обладают способностью накапливать и отдавать электроэнергию. Этот процесс не может протекать скачкообразно. При изменении напряжения в такой цепи ток изменяется с некоторой задержкой во времени. Эти процессы, связанные с изменением запаса энергии в цепях с реактивными элементами при воздействии импульса, называются *переходными*.

Действие импульсного напряжения на цепь RC . Предположим, что на входе цепи, содержащей конденсатор C и резистор R (рис. 125, *а*), действует последовательность прямоугольных импульсов (рис. 125, *б*). В момент появления на входе RC цепи переднего фронта импульса в ней потечет наибольший ток $I_m = \frac{U_m}{R}$ (рис. 125, *в*).

По мере заряда конденсатора результирующее напряжение в схеме $u_p = U_m - u_c$ уменьшается, соответственно уменьшается зарядный ток i_z . Уменьшение тока происходит по экспоненциальному закону.

Ток заряда i_z создает на резисторе R падение напряжения (рис. 125, *г*). С уменьшением тока экспоненциально снижается напряжение на резисторе R . Напряжение на конденсаторе u_c по мере его заряда экспоненциально возрастает (рис. 125, *д*) и к некоторому моменту достигает наибольшего значения U_m , после чего остается постоянным на все время действия плоской вершины входного импульса.

Время, в течение которого напряжение на C и R достигает амплитудного значения, зависит от величины сопротивления резистора R и емкости конденсатора C . Чем меньше эти величины, тем быстрее заканчивается переходный процесс.

После спада входного импульса конденсатор разряжается через резистор R . Скорость изменения разрядного тока i_p (рис. 125, *в*) и напряжения u_R (рис. 125, *г*) такая же, как и при заряде, а на выходе формируется задний фронт (спад) импульса. Направление тока и полярность напряжения на резисторе в этом случае станут противоположными.

Оценку длительности переходного процесса ведут с помощью постоянной времени цепи

$$\tau_0 = R(ом) C(ф).$$

С увеличением τ_0 длительность переходных процессов возрастает. Практически переходные процессы в схеме заканчиваются по истечении промежутка времени $t = (2,3 \div 3) \tau_0$.

Форма выходного напряжения зависит от значения τ_0 (рис. 125, *г, е, ж*). При $\tau_0 \gg t_H$ (рис. 125, *е*) конденсатор за время действия входного импульса не успевает зарядиться, и форма выходного сигнала лишь незначительно отличается от формы входного. С такими параметрами ($\tau_0 \gg t_H$) цепь часто используют в схемах импульсных устройств как разделительную (переходную) между усилительными каскадами.

При $\tau_0 \ll t_n$ заряд и разряд конденсатора происходят за время, намного меньшее длительности импульса, поэтому выходное напряжение имеет вид двух узких разнополярных импульсов (рис. 125, ж).

Пример. Длительность импульса $t_n = 5$ мксек. Рассчитать элементы переходной цепи.

Чтобы получить переходную цепь $\tau_0 \gg t_n$, примем $\tau_0 = RC = = 10 t_n = 10 \cdot 5 = 50$ мксек, т. е. $t_n \ll 3\tau_0$. Задаемся сопротивлением резистора $R = 10$ ком, тогда емкость конденсатора должна быть

$$C(\phi) = \frac{50 \cdot 10^{-6} \text{ сек}}{R(\text{ом})} = \frac{50 \cdot 10^{-6}}{10 \cdot 10^3} = 50 \cdot 10^{-10} \phi = 5000 \text{ пф}.$$

Как очевидно из рис. 125, цепи из элементов RC в различных комбинациях могут быть использованы для преобразования формы импульсов. В зависимости от того, с какого элемента снимается сигнал (с R или C), цепь называют дифференцирующей или интегрирующей.

Дифференцирующие цепи. Цепь, показанная на рис. 125, а, называется дифференцирующей, поскольку при $\tau_0 \ll t_n$ выходное напряжение пропорционально производной от входного и служит для получения кратковременных остроконечных импульсов напряжения, часто используемых для запуска формирующих устройств. Чем меньше τ_0 , тем больше скорость изменения напряжения и тем острее будут импульсы напряжения на выходе дифференцирующей цепи.

На работу дифференцирующей цепи существенно влияет входная (паразитная) емкость C_n последующей цепи, которая вызывает уменьшение амплитуды выходного напряжения $U_{\text{вых}}$. Чтобы уменьшить влияние C_n на выходной сигнал, выбирают емкость цепи $C \gg (5-10) C_n$.

Пример. Длительность импульса $t_n = 5$ мксек. Рассчитать элементы дифференцирующей цепи.

В дифференцирующей цепи $\tau_0 \ll t_n$. Примем $\tau_0 = RC = 0,1 t_n = = 0,1 \cdot 5 = 0,5$ мксек, т. е. $t_n > 3\tau_0$. Задаемся величиной $R = 10$ ком, тогда емкость

$$C = \frac{0,5 \cdot 10^{-6} \text{ сек}}{R(\text{ом})} = \frac{0,5 \cdot 10^{-6} \text{ сек}}{10 \cdot 10^3 \text{ ом}} = 50 \cdot 10^{-12} \phi = 50 \text{ пф}.$$

Интегрирующие цепи. Если в цепи RC выходное напряжение снимается с емкости (рис. 126, а), то при $\tau_0 \gg t_n$ выходной сигнал пропорционален интегралу от входного, и такая цепь называется *интегрирующей*. Если постоянная времени RC цепи выбрана равной или больше длительности прямоугольного импульса (рис. 126, б) напряжения на входе ($\tau_0 \geq t_n$), то на выходе RC цепи возникает импульс с растянутым фронтом и спадом (рис. 126, в). При воздействии на вход такой цепи кратковременного импульса напряжения на выходе образуется более широкий импульс.

Интегрирующие цепи применяют для увеличения длительности импульса. Кроме того, их используют в схемах генерирования пилообразного напряжения, селекции импульсов по длительности и т. д. Чем больше τ_0 при неизменной длительности входного импульса t_n

тем больше растянут импульс на выходе (рис. 126, *з*). Амплитуда импульса при этом уменьшается, так как конденсатор не успевает полностью зарядиться за время действия входного импульса.

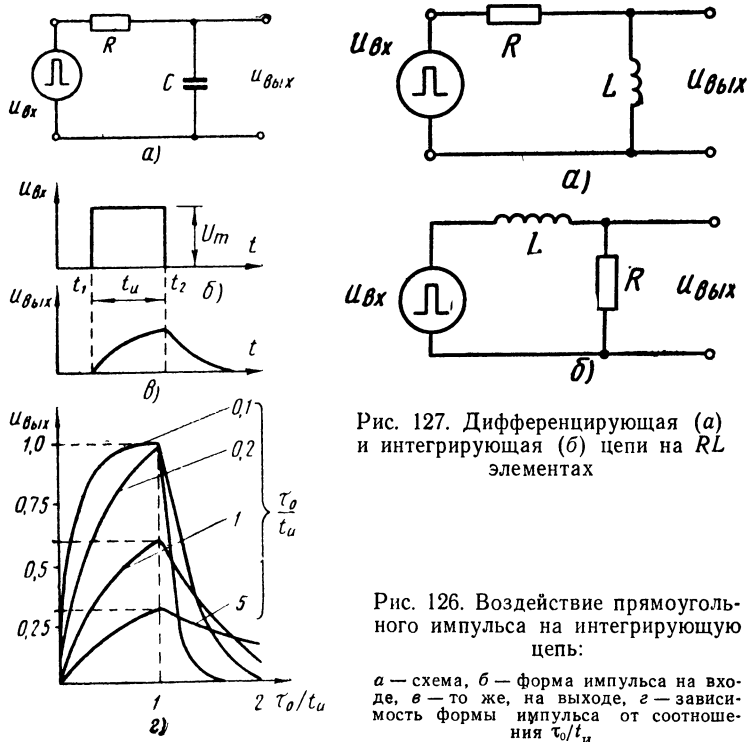


Рис. 127. Дифференцирующая (а) и интегрирующая (б) цепи на RL элементах

Рис. 126. Воздействие прямоугольного импульса на интегрирующую цепь:

а — схема, б — форма импульса на входе, в — то же, на выходе, г — зависимость формы импульса от соотношения τ_0/t_u

Дифференцирование и интегрирование может также осуществляться с помощью цепей RL (рис. 127). Поскольку реактивное действие индуктивности противоположно емкости, то в RL цепях при дифференцировании выходной сигнал снимается с индуктивности (рис. 127, а), а при интегрировании — с резистора (рис. 127, б). Цепи RL применяют сравнительно редко, так как они содержат дорогую точную деталь.

§ 60. Линии для задержки импульсов

В различных импульсных устройствах часто необходима задержка импульсов во времени. Электрические линии задержки, состоящие из звеньев LC , применяются для задержки импульсов на время от

сотых долей до десятков микросекунд. Задержка импульсов основана на конечном времени распространения электромагнитной энергии вдоль линии и обусловлена переходными процессами в ее элементах.

Если линия нагружена на волновое сопротивление ρ , в ней не возникает отражений. Если линия разомкнута, от ее конца отражается импульс напряжения без изменения полярности. Если линия замкнута на конце на коротко, от ее конца отражается импульс напряжения противоположной полярности.

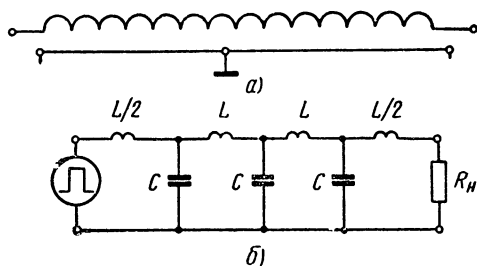


Рис. 128. Искусственные линии задержки:

a — однородная с распределенными параметрами, *б* — с сосредоточенными постоянными

Различают однородные линии с равномерно распределенными постоянными (емкостью и индуктивностью) и неоднородные (многоячеечные) линии с сосредоточенными параметрами.

Однородные линии выполняют в виде спирали, намотанной на гибкий диэлектрический стержень (рис. 128, *a*). Спираль покрывают слоем диэлектрика и заключают в медную оплетку, защищаемую пластмассовым чехлом. Емкость создается спиралью относительно оплетки, а индуктивность — витками спирали. Волновое сопротивление

однородной линии, равное $\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$ невелико (до 1,5 ком)

и может быть увеличено путем расширения диаметра спирали.

Задержка линии на единицу длины

$$t_3 = \sqrt{LC} \text{ (мксек/см)},$$

где L — погонная индуктивность, мкГн/см;

C — погонная емкость, мкФ/см.

В однородных линиях существенна нежелательная межвитковая емкость, шунтирующая индуктивность ячейки, что вызывает искажение формы импульса на выходе линии. Для увеличения погонной индуктивности спираль наматывают на гибкий ферромагнитный стержень с высокой магнитной проницаемостью μ . При этом в $\sqrt{\mu}$ раз увеличивается задержка и волновое сопротивление.

Плавную регулировку задержки импульса в однородной линии можно осуществить путем перемещения скользящего контакта вдоль витков спирали. Обычно однородные линии задержки применяют для получения небольшой (до 1 мксек) задержки. Однородные линии задержки выпускаются также и в виде специального кабеля задержки, по виду напоминающего обычный коаксиальный. Например, радиокабель задержки РКЗ-401 имеет $\rho \approx 400$ ом и $t_3 \approx 0,6$ мксек/м. Для получения задержки импульсов на время от сотых долей до десятков микросекунд используют многоячеечные линии (рис. 128, б), включающие большое количество последовательно соединенных ячеек (звеньев). Каждая ячейка состоит из сосредоточенных элементов (катушки индуктивности и конденсатора).

Волновое сопротивление *многоячеечной линии* определяется так же, как и однородной. Время задержки импульса линией из n ячеек

$$t_3 = n \sqrt{LC}.$$

Линия должна быть нагружена на резистор R_n с сопротивлением, равным волновому. Чтобы обеспечить неискаженное пропускание импульса длительностью t_n с задержкой t_3 , частотная характеристика линии должна быть равномерной в области частот до

$$f = \frac{2 + 4}{t_n}.$$

Параметры элементов ячеек приблизительно рассчитывают по заданным t_n , t_3 и R_n :

$$L = 0,1 t_n R_n, \quad C = 0,1 \frac{t_n}{R_n}, \quad n = \frac{t_3}{\sqrt{LC}}.$$

Пример. Рассчитать линию для задержки импульсов длительностью 0,5 мксек на время 1,5 мксек при сопротивлении нагрузки $R_n = 100$ ом.

$$L = 0,1 t_n R_n = 0,1 \cdot 0,5 \cdot 10^{-6} \cdot 1000 = 5 \cdot 10^{-6} \text{ гн} = 5 \text{ мкгн}.$$

$$C = 0,1 \frac{t_n}{R_n} = 0,1 \frac{0,5 \cdot 10^{-6}}{100} = 5 \cdot 10^{-10} \text{ ф} = 500 \text{ пф}.$$

$$n = \frac{t_3}{\sqrt{LC}} = \frac{1,5 \cdot 10^{-6}}{\sqrt{5 \cdot 10^{-6} \cdot 5 \cdot 10^{-10}}} = 30.$$

Более длительная задержка (до нескольких миллисекунд) осуществляется с помощью ультразвуковых линий задержки. В этих линиях электрический импульс преобразуется в ультразвуковой сигнал, который распространяется в звукопроводящей среде.

Поскольку ультразвуковые колебания распространяются со значительно меньшей скоростью, чем электромагнитные, в таких устройствах можно получить относительно большую задержку при малых габаритах.

Еще большую задержку можно получить при использовании специальных магнитофонов или накопительных электроннолучевых трубок (трубок памяти), но такие устройства очень сложны и громоздки.

§ 61. Ограничители

Ограничитель представляет собой устройство, в котором выходное напряжение после достижения определенного уровня остается постоянным несмотря на дальнейшее изменение входного напряжения. Этот уровень напряжения, начиная с которого выходное напряжение не меняется, называется порогом ограничения.

Ограничители применяются для ограничения амплитуды входного сигнала, формирования прямоугольных импульсов и селекции (выделения) импульсов по амплитуде и полярности из их последовательности.

По способу ограничения различают:

ограничители сверху (по максимуму), в которых выходное напряжение остается постоянным при достижении определенного максимального значения;

ограничители снизу (по минимуму), в которых имеется нижний порог ограничения при уменьшении входного напряжения;

двусторонние ограничители, имеющие верхний и нижний пороги ограничения.

Работа ограничителей основана на односторонней проводимости электроннолучевых приборов. В зависимости от типа прибора и режима схемы ограничители делятся на диодные и с усилением (сеточные, анодные).

Диодные ограничители. В схемах диодных ограничителей в качестве ограничивающего элемента используют электровакуумный или полупроводниковый диод, включаемый последовательно или параллельно нагрузке. По схеме подключения диода различают схемы последовательных и параллельных диодных ограничителей.

На рис. 129 показаны схемы последовательных диодных ограничителей по минимуму и максимуму. При подаче на вход положительных импульсов (рис. 129, а) диод отпирается и через нагрузку R_n проходит ток. На нагрузке, а следовательно, на выходе схемы возникает напряжение

$$u_{\text{вых}} = u_R = iR_n = \frac{u_{\text{вх}}}{R_n + R_l} R_n,$$

где R_l — усредненное внутреннее сопротивление открытого диода.

Нагрузку R_n берут значительно больше R_l , поэтому, пренебрегая по малости падением напряжения на R_l напряжением на выходе $u_{\text{вых}} \approx u_{\text{вх}}$.

Пример Определить напряжение на выходе ограничителя, если $u_{\text{вх}} = 30$ в, $R_n = 50$ ком, $R_l = 200$ ом.

$$u_{\text{вых}} = u_{\text{вх}} \frac{R_n}{R_n + R_l} = 30 \frac{50 \cdot 10^3}{50 \cdot 10^3 + 200} = 29,9 \text{ *}.$$

При смене полярности входного напряжения диод запирается, ток через диод не проходит, напряжение на нагрузке равно нулю. В схеме происходит ограничение по минимуму с нулевым порогом (уровнем) ограничения.

Если изменить полярность включения диода (рис. 129, б), схема превращается в последовательный ограничитель по максимуму с нулевым уровнем ограничения. При положительных входных импульсах диод тока не проводит и на нагрузке не создается напряжения.

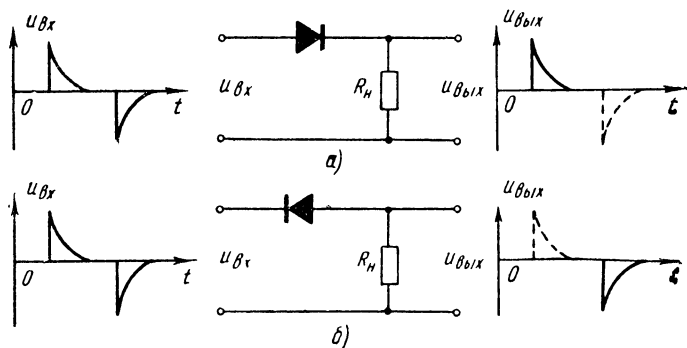


Рис. 129. Схемы и графики напряжений последовательных диодных ограничителей:

а — по минимуму, б — по максимуму

В момент воздействия на входе отрицательных импульсов диод отпирается и на нагрузке выделяются отрицательные импульсы.

Чтобы получить ограничение на заданном уровне, в схему ограничителя включают источник постоянного напряжения смещения (рис. 130). В этом случае уровень ограничения (порог ограничения) определяется величиной напряжения смещения E .

На рис. 130, а изображена схема *последовательного* диодного ограничителя снизу на заданном уровне E . При такой полярности смещения ток через диод проходит даже при отсутствии сигнала. Напряжение на выходе примерно равно напряжению смещения E . При поступлении на вход дополнительного положительного импульса $u_{вх}$ напряжение на выходе $u_{вых}$ соответственно возрастает. Диод запирается лишь тогда, когда входное напряжение становится отрицательным и равным по амплитуде положительному смещению на диоде. Вершина отрицательных импульсов, амплитуда которых превышает величину смещения E , будет срезана.

Если на диод подать отрицательное смещение (рис. 130, б), диод отопрется при условии $+u_{вх} = -E$. На выход пойдет лишь вершина положительного импульса.

На рис. 131 показаны схемы *параллельных* диодных ограничите-

лей, в которых нагрузка R_H и диод включаются параллельно. Величину ограничительного сопротивления резистора R_0 выбирают больше внутреннего сопротивления R_i отпруготого диода, но меньше нагрузки ($R_H > R_0 \gg R_i$).

При подаче на вход параллельного диодного ограничителя (рис. 131, а) положительного импульса с напряжением $u_{вх}$ диод отключается. Ток в схеме проходит через R_0 и диод с внутренним сопро-

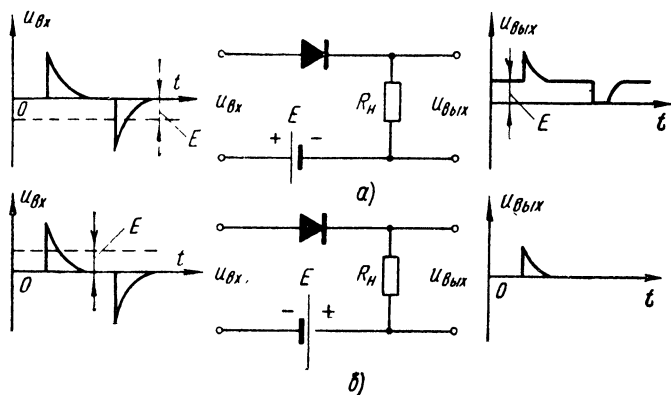


Рис. 130. Схемы и графики напряжений последовательных диодных ограничителей на заданном уровне:

а — с положительным смещением, б — с отрицательным смещением

тивлением R_i . Выходное напряжение снимается с внутреннего сопротивления R_i делителя $R_0 R_i$ и равно

$$u_{\text{вых}} = \frac{R_i}{R_i + R_0} u_{\text{вх}}.$$

При $R_0 \gg R_i$ выходное напряжение почти равно нулю. В схеме имеет место ограничение по максимуму. При смене полярности сигнала на входе схемы на отрицательный импульс диод запирается, а на нагрузке выделяется импульс $u_{\text{вых}}$ отрицательной полярности.

Если изменить полярность включения диода, получится схема параллельного диодного ограничителя по минимуму с нулевым порогом ограничения (рис. 131, б).

Чтобы изменить порог ограничения, в схему включают источник постоянного напряжения E с ограничением по максимуму (рис. 131, в) и минимуму (рис. 131, г).

Если объединить в одной схеме ограничитель по максимуму и по минимуму, получится схема двустороннего параллельного ограничителя (рис. 131, д). Такая схема позволяет формировать импульсы трапецеидальной формы из синусоидального напряжения. Если на-

напряжение на входе положительно и меньше E_1 и E_2 (участок до t_1), оба диода заперты, напряжение на выходе равно напряжению на входе. Когда напряжение на входе превысит напряжение смещения $+E_1$ (участок t_1-t_2), диод D_1 открывается и происходит ограничение сверху. В момент t_2 входное напряжение уменьшается до $+E_1$,

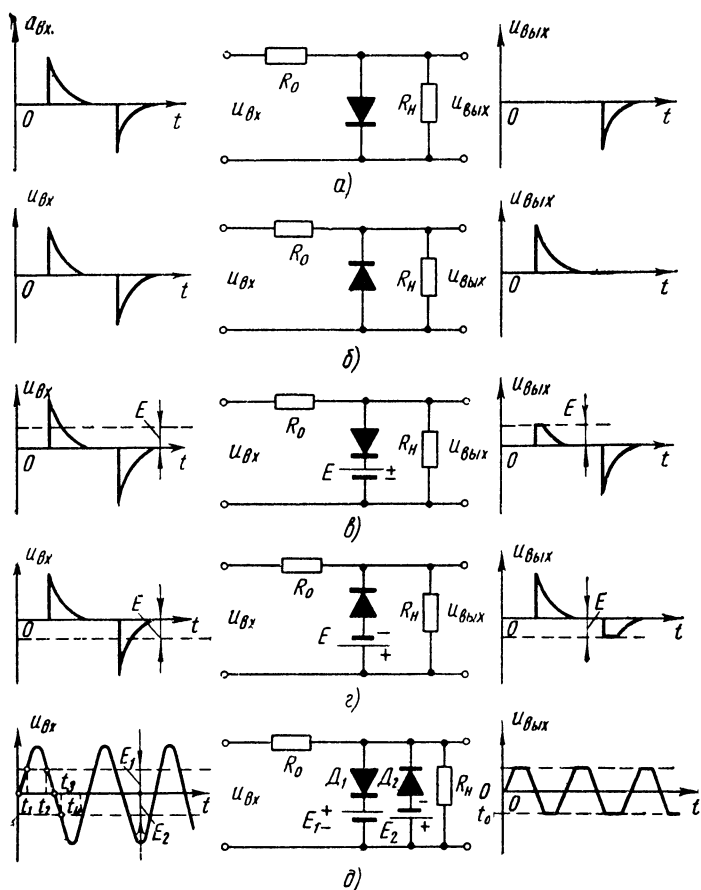


Рис. 131. Схемы и графики напряжений параллельных диодных ограничителей:

а — по максимуму, б — по минимуму, в — на заданном уровне по максимуму, г — то же, по минимуму, д — двусторонний ограничитель на заданном уровне

диод D_1 запирается, напряжение на входе и выходе одинаково. При уменьшении входного напряжения до уровня E_2 (момент t_4) открывается диод D_2 и происходит ограничение выходного напряжения снизу.

Ограничители с усилением. Ограничение входного импульса с одновременным его усилением может быть получено в схемах ограничителей на триодах и экранированных лампах. При этом возможно ограничение сверху, снизу или двустороннее. Ограничение сверху можно получить с помощью сеточных и анодных ограничителей.

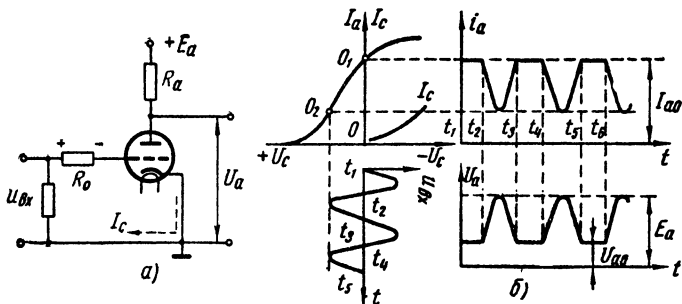


Рис. 132. Сеточный ограничитель:

а — схема, б — графики напряжения и тока

В схеме *сеточного ограничителя по максимуму* (рис. 132, а) участок сетка — катод действует как диод в схеме параллельного диодного ограничения. При подаче на вход синусоидального напряжения $u_{вх}$ в его положительный полупериод в цепи сетка — катод протекает сеточный ток I_c . Этот ток на резисторе R_0 создает падение напряжения, минус которого приложен к управляющей сетке, вследствие чего ее результирующий потенциал снижается, приближаясь к нулю. В результате изменения входного напряжения не влияют на величину анодного тока и выходное напряжение остается неизменным.

В отрицательный полупериод входного сигнала, амплитуда которого меньше напряжения задерживания лампы, сеточный ток отсутствует, потенциал сетки равен входному сигналу, а анодный ток и усиленное выходное напряжение, снимаемое с анода, повторяет форму входного напряжения. В рассмотренной схеме срезаются положительные импульсы входного сигнала, т. е. осуществляется ограничение сверху на нулевом уровне. Чтобы ограничить входной сигнал на заданном уровне, достаточно подать в цепь сетки дополнительно смещение, сместив рабочую точку O_1 на характеристике лампы влево (рис. 132, б).

Анодный ограничитель сверху обычно выполняется на пентоде по схеме усиительного каскада с большим сопротивлением анодной нагрузки (десятки — сотни килоом). Анодное ограничение сверху

основано на перераспределении катодного тока между электродами лампы в области критического режима (рис. 133, а). В таком режиме при увеличении сеточного напряжения до определенной величины с ростом катодного тока растет анодный ток, а анодное напряжение

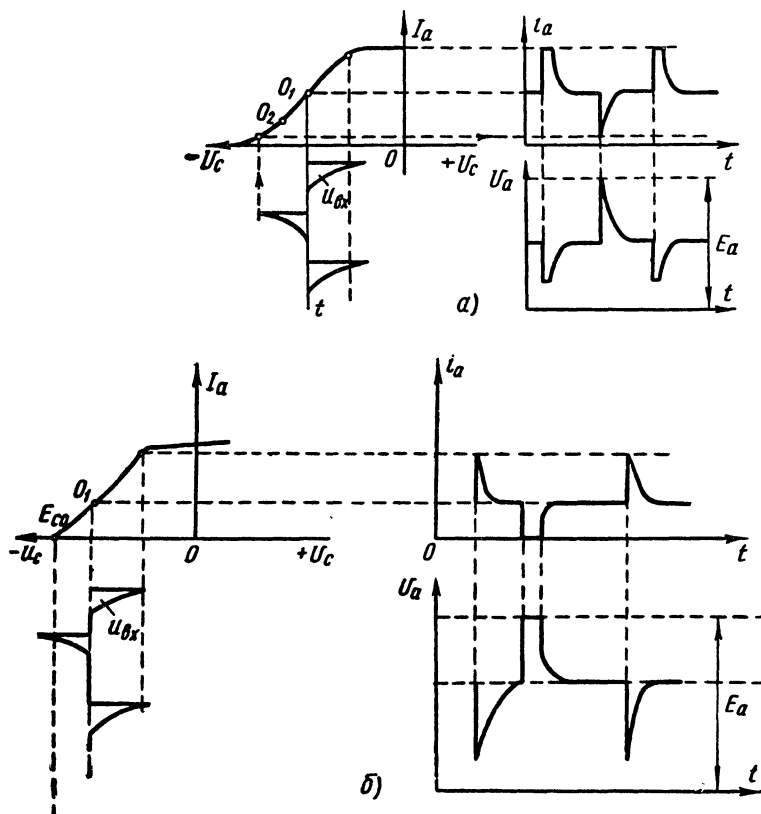


Рис. 133. Графики напряжения и тока при анодном ограничении:
а — сверху, б — снизу

снижается. После этого дальнейшее увеличение сеточного напряжения и катодного тока вызывает увеличение лишь тока экранирующей сетки. Ток в цепи анода (из-за малого значения напряжения на аноде) остается неизменным.

Если рабочую точку на характеристике лампы подает отрицательного смещения сдвинуть влево, то отрицательный импульс может

Вследствие этого в симметричном мультивибраторе возникают периодические колебания с резкими скачками напряжений и токов, изображенные на диаграммах (рис. 134, б, в, г, д). При этом происходят зарядно-разрядные процессы в цепях RC . При идентичных лампах и одинаковых параметрах элементов схемы ($C=C_1=C_2$, $R_c=R_{c1}=R_{c2}$) одинакова постоянная времени цепей связи $\tau=CR_c$, вследствие чего одинакова продолжительность первого и второго временноустойчивого состояния схемы.

Постоянная времени цепи разряда конденсатора больше, чем цепи заряда, следовательно, период колебаний мультивибратора определяется постоянной времени цепи разряда и для ламповой схемы на триодах приблизительно равен:

$$T = T_1 + T_2 \approx 2(\tau_1 + \tau_2) = 2(C_1 R_{c2} + C_2 R_{c1}),$$

где T_1 и T_2 — длительность запертого и открытого состояния лампы; τ_1 и τ_2 — постоянные времени разряда конденсаторов.

В симметричной схеме мультивибратора $C=C_1=C_2$, $R_c=R_{c1}=R_{c2}$, $\tau=\tau_1=\tau_2=CR_c$ и период $T \approx 4\tau = 4R_c C$.

Емкость конденсаторов в цепях связи выбирают в сотни пикофарад, чтобы паразитные емкости не влияли на длительность генерируемых импульсов:

$$C \geq (5 \div 10) C_{\text{вх.дин}} = (5 \div 10) [C_{\text{с-к}} + C_{\text{а-с}} (1 + \mu)].$$

Сопротивления в цепи сеток обычно выбирают в сотни килоом:

$$R_c \geq (5 \div 15) R_a.$$

Анодную нагрузку выбирают 1—20 *ком*, чтобы анодный ток $I_{\text{а.о}}$ открытой лампы (при $U_c=0$) создавал на анодной нагрузке напряжение заданной амплитуды:

$$R_a = \frac{U_m}{I_{\text{а.о}}},$$

а постоянная времени заряда конденсатора через анодную нагрузку запертой лампы составляла небольшую часть длительности положительного импульса на ее аноде.

$$(R_a + R_{\text{с-к}}) C \leq (0,2 - 0,3) t_n,$$

где сопротивление участка сетка — катод открытой лампы $R_{\text{с-к}} \approx 1$ *ком*.

Длительность фронта положительного перепада анодного напряжения запирающейся лампы приблизительно определяется:

$$t_{\phi 1} \approx 2R_{a1} C_1; \quad t_{\phi 2} \approx 2R_{a2} C_2.$$

Симметричный мультивибратор на транзисторах (рис. 135, а) работает по тому же принципу действия, что и ламповый. В транзисторной схеме обязательно применение отпирающего смещения на базу триодов, которое обеспечивается подключением резисторов R_{b1} и R_{b2} к источнику питания. Временные диаграммы напряжений мультивибратора (рис. 135, б) на транзисторах $p-n-p$ отличаются от

соответствующих диаграмм ламповой схемы тем, что они сдвинуты по фазе на 180° .

Резисторы R_6 и R_K должны удовлетворять соотношению

$$R_6 = \frac{1}{2} \beta R_K,$$

где β — коэффициент усиления транзистора по току.

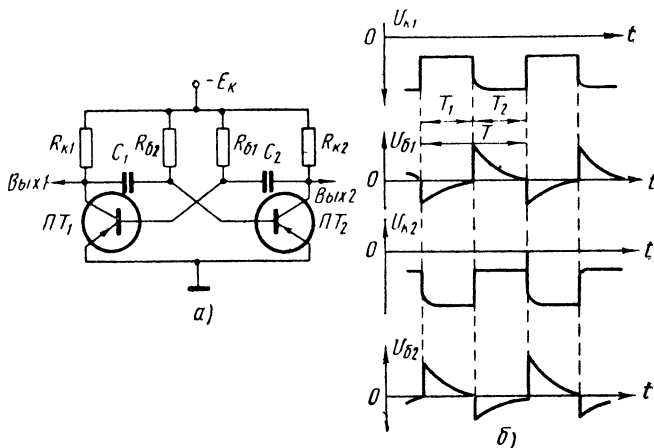


Рис. 135 Симметричный мультивибратор на транзисторах:

а — схема, б — диаграммы напряжений

Длительность импульсов $T_1 \approx 0,7 R_{61} C_2$; $T_2 \approx 0,7 R_{62} C_1$.

Период колебаний мультивибратора $T = T_1 + T_2 = 0,7(R_{61} C_2 + R_{62} C_1)$, а скважность $Q = 1 + 0,3 \beta$. Поскольку у симметричного мультивибратора $R_{61} = R_{62} = R_6$, $C_1 = C_2 = C$, то $T = 1,4 R_6 C$, а частота колебаний

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1,4 R_6 C}.$$

Длительность фронта отрицательного перепада напряжения на коллекторе

$$t_{\Phi 1} \approx 2,3 R_{K1} C_1; \quad t_{\Phi 2} \approx 2,3 R_{K2} C_2.$$

Однако схема, показанная на рис. 135, а, не обеспечивает хорошую форму прямоугольных импульсов; улучшается форма введением цепочек $R_3 C_1$ и $R_4 C_2$ (рис. 136).

Пример. Произведем расчет элементов схемы симметричного мультивибратора, собранного по схеме, изображенной на рис. 135, а,

для следующих данных: частота генерации $f_{\Gamma}=25$ кГц, напряжение на коллекторе $U_K=12$ в.

1. Предельная частота триода ориентировочно оценивается из соотношения $f_{\alpha} \geq 5f_{\Gamma} = 5 \cdot 25 = 125$ кГц.

По табл. 34 выбираем триод МП42А, допускающий $U_{K.б} = -15$ в, $I_{K.макс.имп} = 150$ ма и имеющий $\beta_0 = 40$, $I_{K.о} = 25$ мка, $f_{\alpha} = 1000$ кГц.

2. Напряжение питания коллекторной цепи выбирают равным

$$E_K \approx 1,2U_K = 1,2 \cdot 12 \approx 15 \text{ в.}$$

3. Ток коллектора в импульсе выбирают $I_{K.и} \leq I_{K.макс.имп}$. Примем $I_{K.и} = 0,5 I_{K.макс.имп} = 0,5 \cdot 150 = 75$ ма.

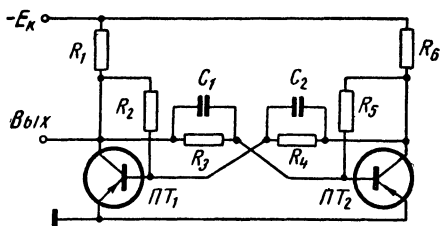


Рис. 136. Практическая схема самовозбуждающегося мультивибратора на транзисторах

4. Сопротивление нагрузки в цепи коллектора

$$R_K = \frac{E_K}{I_{K.и}} = \frac{15}{75 \cdot 10^{-3}} = 0,2 \cdot 10^3 \text{ ом} = 200 \text{ ом.}$$

5. Сопротивление в цепи базы

$$R_6 = \frac{1}{2} \beta_0 R_K = \frac{1}{2} \cdot 40 \cdot 200 = 4 \text{ ком.}$$

6. Величина переходных емкостей

$$C = \frac{T(R_6 + R_{K.п})}{0,7R_6 R_{K.п}} = \frac{40 \cdot 10^{-6} (4 \cdot 10^3 + 1 \cdot 10^6)}{0,7 \cdot 4 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 10^6} = 14 \text{ 000 пф,}$$

где период колебаний

$$T = \frac{1}{f_{\Gamma}} = \frac{1}{25 \cdot 10^3} = 0,04 \cdot 10^{-3} \text{ сек} = 40 \cdot 10^{-6} \text{ сек} = 40 \text{ мксек.}$$

Сопротивление коллекторного перехода постоянному току при запертом триоде

$$R_{K.п} = \frac{E_K}{I_{K.о}} = \frac{15}{25 \cdot 10^{-6}} = 0,6 \cdot 10^8 \text{ ом} = 6 \text{ Мом,}$$

вход 2 или отрицательных импульсов (через разделительный диод D) на вход 1.

Для получения выходных импульсов требуемой длительности в схему включают сменные элементы соответствующих номиналов

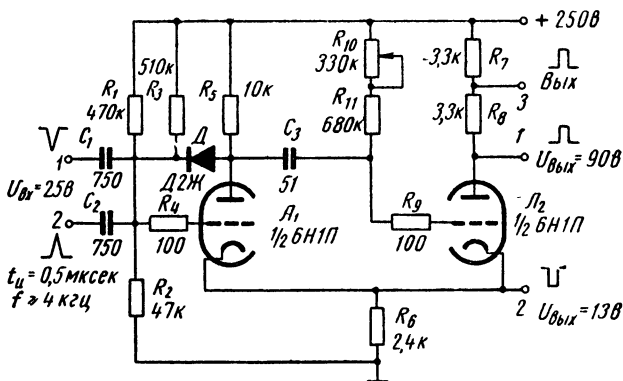


Рис. 138. Практическая схема ждущего мультивибратора с катодной связью

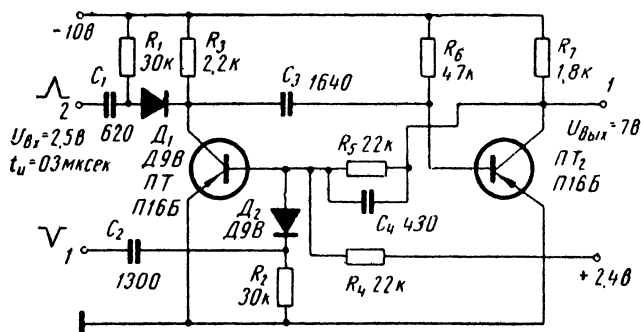


Рис. 139. Схема ждущего мультивибратора с коллекторно-базовыми связями

(формирующий конденсатор C_3 , резисторы R_5 — R_8 , R_{10} и R_{11}). Для приведенных на схеме значений элементов длительность составляет 10 мксек. Электрические параметры измерены при сопротивлении нагрузки $R_H=100$ ком и емкости нагрузки $C_H=50$ пф.

Транзисторная схема ждущего мультивибратора с коллекторно-базовыми связями показана на рис. 139. Эта схема позволяет фор-

мировать импульсы отрицательной полярности длительностью 50—2500 мксек. Запуск мультивибратора осуществляется подачей отрицательных импульсов на вход 1 или положительных на вход 2. Для получения выходных импульсов требуемой длительности и частоты следования в схему включают сменные конденсаторы C_1 и C_3 и резисторы R_4 — R_6 . Для приведенных на схеме значений элементов длительность и частота импульсов составляют соответственно 50 мксек и 10 кГц. Электрические параметры измерены при сопротивлении нагрузки $R_H = 10$ ком и емкости нагрузки $C_H = 200$ пф.

§ 63. Триггеры

Триггерами называют импульсные схемы, имеющие два электрических состояния устойчивого равновесия. В каждое из этих состояний схема переходит в результате воздействия внешнего запускающего

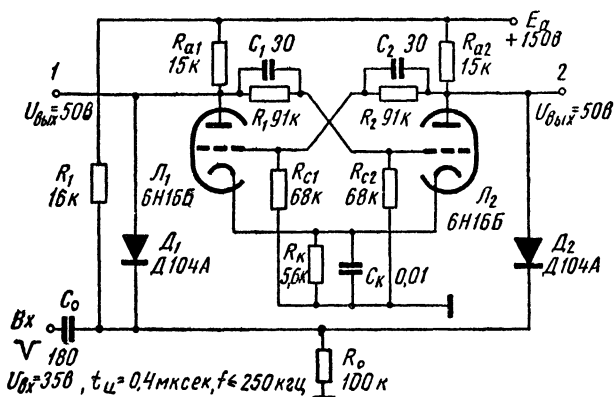


Рис. 140. Схема симметричного триггера на лампах

щего сигнала. За счет лавинообразных процессов в схеме форма выходного напряжения триггера близка к прямоугольной. Триггеры широко применяют в различной аппаратуре радиоэлектроники и автоматики в качестве переключающих устройств, для деления частоты следования импульсов, запоминающих ячеек и т. д.

Схема симметричного триггера на лампах с автоматическим смещением (рис. 140) представляет собой двухкаскадный усилитель на резисторах, в котором выход одного каскада через делитель $R_1 R_{c2}$ ($R_2 R_{c1}$) связан с входом другого. В симметричной схеме триггера лампы Λ_1 и Λ_2 идентичны, резисторы $R_{a1} = R_{a2}$, $R_{c1} = R_{c2}$, $R_1 = R_2$.

Внешне схема сходна с мультивибратором, но отличается от него наличием цепи смещения $R_K C_K$ и резисторов R_1 и R_2 , которые обеспечивают существование двух устойчивых состояний.

Одна из ламп триггера должна быть заперта, а другая открыта. Если L_1 заперта, а L_2 открыта — одно устойчивое состояние; L_1 открыта, а L_2 заперта — второе устойчивое состояние. Обе лампы бывают открыты лишь на короткое время в момент смены устойчивого состояния (опрокидывания).

Перевод (переключение) схемы из одного устойчивого состояния в другое осуществляется подачей внешних импульсов.

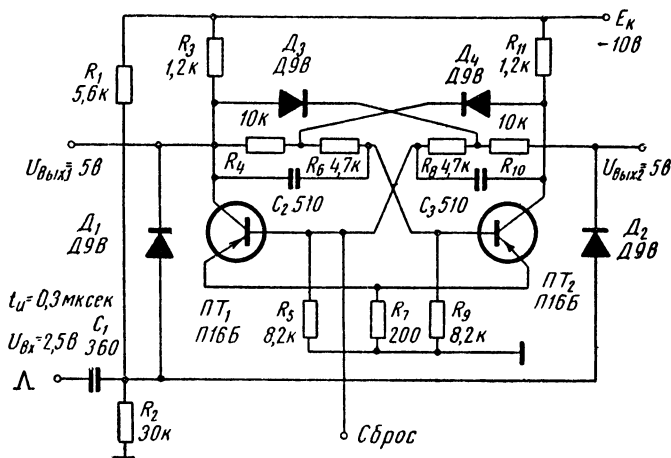


Рис. 141. Схема триггера на транзисторах

Если пусковой отрицательный импульс подать на сетку открытой лампы L_2 , то ее анодный ток начнет уменьшаться, а напряжение на аноде возрастать. Это приведет к увеличению потенциала на сетке лампы L_1 и появлению анодного тока.

Благодаря наличию сильной положительной обратной связи в дальнейшем этот процесс развивается лавинообразно и приводит к новому устойчивому состоянию схемы, при котором лампа L_2 окажется запертой, а L_1 — открытой.

Чтобы уменьшить время переключения триггера, резисторы связи R_1 и R_2 шунтируют конденсаторами C_1 и C_2 небольшой емкости, оказывающими импульсам относительно малое сопротивление. Большие значения емкости этих конденсаторов нежелательны, так как это увеличивает время их заряда и разряда. Существенное влияние на длительность переходного процесса оказывает также паразитная емкость $C_{с.к}$ участка сетка — катод лампы.

Выходные сигналы снимаются с анодов ламп L_1 и L_2 . Чтобы устранить влияние нагрузки на схему триггера, аноды ламп часто связывают с нагрузкой через катодные повторители.

На рис. 140 показана практическая схема триггера с положительными анодно-сеточными связями. Запуск триггера осуществляется

импульсами отрицательной полярности, подаваемыми через диоды на аноды триодов. Электрические параметры триггера сняты при сопротивлении нагрузки $R_H \geq 70 \text{ ком}$ и емкости нагрузки $C_H \leq 50 \text{ пф}$.

Триггеры на транзисторах по построению схем и принципу действия подобны триггерам на электронных лампах. Аналогом ламповой схемы триггера с анодно-сеточными связями является схема на транзисторах с коллекторно-базовыми связями (рис. 141). Запуск триггеров на транзисторах производится подачей пусковых импульсов на коллектор или базу.

Диоды D_3 и D_4 служат для создания нелинейной обратной связи, позволяющей предохранить транзисторы от режима насыщения. Запуск схемы осуществляется подачей на коллектор (через диоды D_1 и D_2) как одиночных импульсов, так и их последовательности с частотой следования до 100 кгц . Электрические параметры измерены при сопротивлении нагрузки $R_H \geq 5 \text{ ком}$ и емкости нагрузки $C_H \leq 50 \text{ пф}$.

§ 64. Блокинг-генераторы

Самовозбуждающиеся блокинг-генераторы на лампах (рис. 142, а) применяются для генерирования импульсов, деления частоты следования импульсов и т. д. В блокинг-генераторе с самовозбужде-

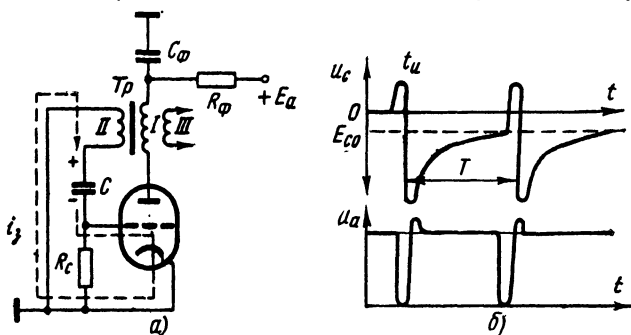


Рис. 142. Схема блокинг-генератора с самовозбуждением (а) и формы выходных импульсов (б)

нием сильная положительная обратная связь с анода усилительной лампы на сетку создается с помощью широкополосного трансформатора (блокинг-трансформатора). Самовозбуждение также происходит в широком спектре частот, и схема генерирует импульсный сигнал сложной формы (рис. 142, б).

В процессе работы блокинг-генератора генерируются кратковременные импульсы, снимаемые с анода лампы или выходной обмотки III импульсного трансформатора. Длительность выходных

импульсов зависит от постоянной времени заряда конденсатора C , входного сопротивления лампы $R_{с.к}$ и коэффициента усиления лампы μ .

$$t_n = 2,3 \cdot CR_{с.к} \lg \mu.$$

Регулировку длительности импульсов производят изменением величины емкости конденсатора C . Пределы изменения длительности

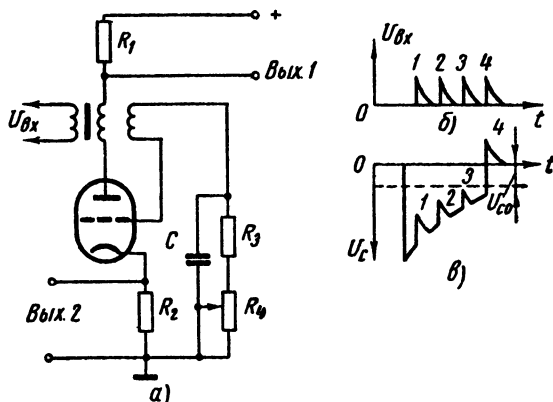


Рис. 143. Деление частоты:

a — схема, b — входные импульсы, $в$ — напряжение на сетке

определяются параметрами трансформатора. Интервал между импульсами определяется постоянной времени разряда конденсатора C через резистор R_c . Частота повторения выходных импульсов приближенно может быть определена так: $F_n = \frac{1}{T} \approx \frac{1}{R_c C}$. Практически регулировка частоты повторения импульсов производится изменением величины резистора R_c .

Анодный развязывающий фильтр $R_\phi C_\phi$ защищает источник питания от больших нагрузок во время импульса, что может влиять на работу других каскадов. Емкость конденсатора фильтра C_ϕ выбирают несколько сотых-десятых долей микрофарады. Во время генерации импульса конденсатор отдает энергию, а в промежутке между импульсами подзаряжается через резистор R_ϕ , величина которого рассчитывается.

$$R_\phi = 1,6 \frac{T}{C_\phi}.$$

Синхронизация блокинг-генератора может производиться внешними сигналами. Синхронизирующими могут быть сигналы импульс-

ной формы или периодические колебания. Синхронизирующие сигналы отрицательной полярности подаются в анодную цепь, а положительной полярности — в сеточную цепь. Если частота синхроимпульсов F_c берется в n раз больше частоты блокинг-генератора f_r , то он синхронизируется каждым n импульсом. При этом можно производить деление частоты следования входных импульсов.

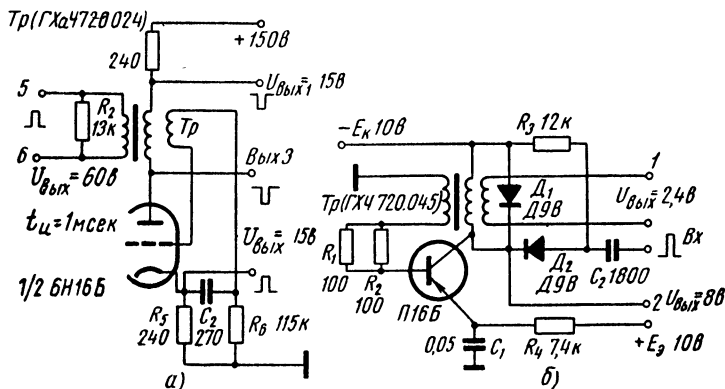


Рис. 144. Схема блокинг-генератора:

а — на электронной лампе, б — на транзисторе

На рис. 143, а показана схема деления частоты повторения входных импульсов $U_{вх}$, в которой синхроимпульсы подаются на входную обмотку трансформатора. Напряжение на сетке изменяется потенциометром R_4 так, чтобы к моменту поступления заданного импульса (на рис. 143, б — четвертого импульса) экспонента сеточного напряжения U_c приближалась к потенциалу отпирания лампы U_{co} (рис. 143, в). В момент поступления четвертого импульса $U_c > U_{co}$ и лампа открывается. Параметры элементов схемы подбирают такими, чтобы обеспечить заданный коэффициент деления импульсов $n = F_c / f_r$. Практически n выбирают 2—10. При $n > 10$ режим блокинг-генератора неустойчив, и даже небольшие изменения напряжения источника питания могут вызвать изменение коэффициента деления.

На рис. 144, а изображена практическая схема блокинг-генератора на электронной лампе, позволяющая получить импульсы положительной и отрицательной полярности. Частота выходных импульсов f_r и длительность импульса t_n зависят от емкости формирующего конденсатора C_2 и разрядного резистора R_6 . Для значений элементов, приведенных на схеме, частота 10 кГц.

В транзисторных схемах самовозбуждающихся блокинг-генераторов процессы внешне подобны процессам в ламповых схемах. Некоторое отличие обусловлено особенностями таких свойств транзистора, как насыщение и инерционность.

На рис. 144, б показана типовая схема блокинг-генератора на транзисторе по схеме с ОЭ с коллекторно-базовой обратной связью. Схема может работать в режимах автоколебаний и синхронизации в диапазоне от 160 гц до 10 кгц.

Для уменьшения разброса длительности генерируемых импульсов при смене транзисторов в цепь базы включены резисторы R_1 и R_2 .

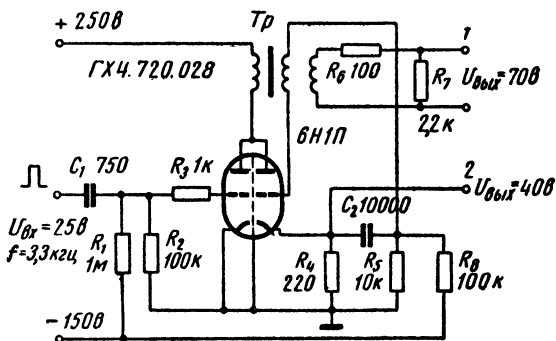


Рис. 145. Схема ждущего блокинг-генератора на лампах

При генерировании частот до 400 гц эти резисторы не применяются, так как ухудшают условия возбуждения.

Синхронизирующие импульсы положительной полярности (амплитудой 6 в и длительностью 0,5 мксек при соотношении синхронизирующей и генерируемой частот $F_c = (1,5 \div 1,6)f_r$) подаются на коллектор через дифференцирующую цепочку и разделительный диод D_2 . Синхронизация также возможна подачей (через соответствующую разделительную цепь) импульсов положительной или отрицательной полярности на выходную обмотку трансформатора.

Длительность t_H и частота f_r импульсов определяются величинами емкости формирующего конденсатора C_1 и разрядного резистора R_4 и, для приведенных на схеме параметров составляют соответственно 5 мксек и 10 кгц. Параметры измерены при сопротивлении и емкости нагрузки: на выходе 1 — при $R_H = 200$ ом, $C_H = 200$ пф, на выходе 2 — при $R_H = 3$ ком, $C_H = 50$ пф.

Ждущие блокинг-генераторы. Для создания ждущего режима в блокинг-генераторах на управляющую сетку лампы подается постоянное запирающее напряжение смещения. Запуск ждущего блокинг-генератора производится внешним пусковым импульсом. Чтобы уменьшить влияние блокинг-генератора на источник пусковых импульсов, запуск иногда производят через промежуточный усилитель.

На рис. 145 изображена типовая схема ждущего блокинг-генератора, предназначенная для формирования почти прямоугольной формы импульсов положительной и отрицательной полярности. За-

пуск осуществляется импульсами положительной полярности, подаваемыми через разделительный конденсатор C_1 на сетку промежуточного усилителя, собранного на левом триоде.

В исходном положении правый триод заперт отрицательным смещением, а через левую лампу усилителя протекает ток покоя усилителя. При подаче на сетку усилителя положительного импульса

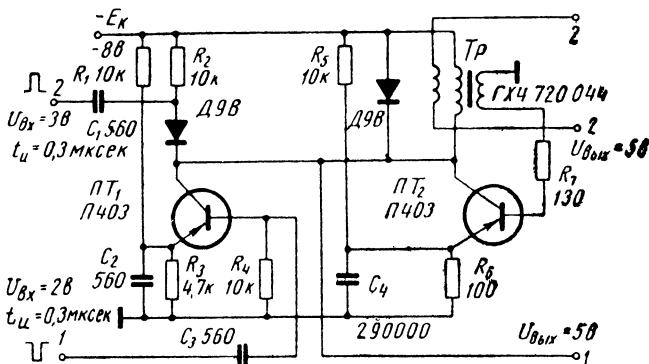


Рис. 146. Схема ждущего блокинг-генератора на транзисторах

правая лампа открывается блокинг-генератор возбуждается и выдает импульс заданной формы. Затем лампа снова запирается и «ждет» следующего запускающего импульса.

Длительность выходных импульсов определяется емкостью формирующего конденсатора C_2 , установкой соответствующего типа импульсного трансформатора и для приведенных на схеме параметров составляет 2,5 мксек. Электрические параметры измерены при сопротивлении и емкости нагрузки: на выходе 1 — при $R_H = 1$ ком, $C_H = 50$ пф; на выходе 2 — при $R_H = 150$ ом.

Схема ждущего блокинг-генератора на транзисторах показана на рис. 146. На триоде $ПТ_1$ собран усилитель запускающих импульсов, а на триоде $ПТ_2$ — ждущий блокинг-генератор. Запуск может осуществляться импульсами отрицательной полярности, подаваемыми на вход 1, или положительной полярности на вход 2. Чтобы исключить взаимное влияние цепей запуска и блокинг-генератора, запускающие импульсы на входе дифференцируются. Длительность и частота следования выходных импульсов определяются емкостью формирующего конденсатора C_4 и установкой соответствующего типа импульсного трансформатора и для приведенных на схеме параметров составляют соответственно 10 мксек и 10 кГц. Электрические параметры измерены при сопротивлении и емкости нагрузки $R_H = 500$ ом и $C_H = 200$ пф, подключаемых к выходной обмотке импульсного трансформатора, и активной нагрузке 10 ком, подключаемой к коллектору $ПТ_2$.

Глава XII. ЭЛЕКТРОПИТАНИЕ РАДИОУСТРОЙСТВ

§ 65. Гальванические элементы и батареи

Гальванические элементы и батареи являются первичными химическими источниками электрического тока, отдающими энергию в результате химического изменения вещества электродов. Наиболее распространены угольно-цинковые и окисно-ртутные элементы.

Угольно-цинковые элементы. В основе конструкции гальванического элемента (рис. 147) лежит пара — уголь и цинк, помещенная в сосуд с электролитом (15-процентный раствор нашатыря). Цинк вступает в химические реакции с электролитом. Между цинковым и угольным электродами возникает некоторая разность потенциалов, постоянная для данной пары, не зависящая от формы и размеров электродов. Если цинковую и угольную пластины соединить внешней цепью через сопротивление R , то во внешней цепи появится ток.

Химические реакции, протекающие в гальванических элементах, необратимы. Они сопровождаются превращением активной массы электродов в невосстанавливаемые вещества. В процессе работы гальванического элемента цинковый электрод растворяется, а на угольном электроде выделяется водород. Он образует с электролитом гальваническую пару, э. д. с. которой действует встречно основной э. д. с. элемента. Это явление, называемое *поляризацией*, устраняют с помощью деполяризаторов. В качестве деполяризаторов используют различные окислители (например, перекись марганца MnO_2), химически связывающие водород.

Существует несколько типов гальванических элементов, различающихся по способу деполяризации, материалу электродов и конструкции. По материалу электродов различают угольно-цинковые элементы, медно-магниевые, окисно-ртутные и др. По конструкции различают стаканчиковые, галетные и чашечные элементы, которые могут быть как «сухими», так и водоналивными. «Сухие» гальванические элементы выпускаются в готовом для работы виде, а водоналивные перед употреблением необходимо заливать дистиллированной водой.

Параметры. Основными электрическими параметрами элемента или батареи являются номинальное напряжение, предельно допустимый разрядный ток и электрическая емкость.

Напряжение угольно-цинкового элемента составляет около 1,5 в.

Предельно-допустимый разрядный ток приведен в паспорте эле-

мента или определяется делением напряжения на указанное в паспорте минимальное сопротивление нагрузки.

Емкость элемента или батареи — количество электричества в ампер-часах ($a \cdot ч$), которое может быть получено от них при данных условиях разряда. Она показывает, какой ток может отдать источник за определенный отрезок времени. Емкость определяют, умножая величину разрядного тока в амперах на время работы в часах до наступления полного разряда. Если, например, емкость элемента $0,5 a \cdot ч$, а разрядный ток $0,01 a$, то элемент может работать примерно 50 ч.

При длительном хранении в гальванических элементах наблюдается явление *саморазряда*. Кроме того, в элементе происходят необратимые изменения (окисление электродов, высыхание электролита и др.). Вследствие этого срок хранения — время, в течение которого элементы теряют способность отдавать электрическую энергию, 6—18 месяцев.

Обозначения. В основу принятых в настоящее время наименований гальванических элементов с цинковым электродом и марганцевой деполяризацией (например, 1,28-НВМЦ-525) положены следующие обозначения. Первые цифры показывают начальное напряжение элемента или батареи в вольтах. Затем прописной буквой или их сочетанием указывается назначение батареи: А — анодная, Н — накальная, Ф — фонарная, Т — телефонная, П — приборная, АН — анодно-накальная, АС — анодно-сеточная, РМ — репортерско-магнитофонная, СА — слуховой анод, СН — слуховой накал, ГР — геологоразведывательная, ЭВ — электронная вспышка, АНС — анодно-накальная сеточная, РЗА — радиозондовая анодная.

Далее без знака раздела следуют прописные буквы, показывающие систему батарей: МЦ — марганцево-цинковая, ВМЦ — воздушно-марганцево-цинковая, МЦГ — марганцево-цинковая галетная, МЦЧ — марганцево-цинковая чашечная. В обозначении батареи стаканчиковой конструкции буквы Г и Ч отсутствуют.

После этого строчной буквой указывается температурная характеристика батареи: х — холодостойкая (для работы в интервале температур от -40 до $+60^\circ C$), у — универсальная (от -50 до $+65^\circ C$). Отсутствие этих букв в обозначении показывает, что элемент или батарея относятся к «летнему типу» (от -20 до $+60^\circ C$).

Затем в конце обозначения приводят цифры, выражающие начальную емкость в ампер-часах или продолжительность работы в

19*

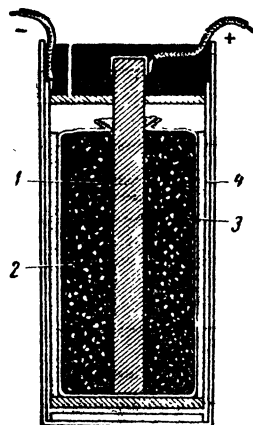


Рис. 147. Устройство гальванического элемента:

- 1 — угольный стержень,
- 2 — деполяризатор,
- 3 — электролит, 4 — цинковый стакан

Таблица 89

Параметры гальванических элементов и батарей

Обозначение		Начальные характеристики			Сохранность, мес.	Условия разряда			Размеры, мм			Вес, кг
новое	старое	напряжение, в	емкость, а.ч.	продолжительность работы, ч		нагрузка, ом	конечное напряжение, в	метр или диаметр	длина	ширина	высота	
1,28-НВМЦ-525	БНС-МВД-500	1,28	525	1100	15	2	0,8	160	160	185	6,5	
1,28-НВМЦ-525п	БНС-МВД-400	1,28	525	1100	15	2	0,8	160	160	185	6,5	
1,3-ФМЦ-0,25	ФБС-0,25	1,3	0,25	—	4	150 ма*	0,6	—	—	Ø21,1	37,5	0,022
1,3-НВМЦ-75	—	1,3	75	300	12	4,5	0,95	162	57	132	2	
1,3-НВМЦ-150	6С-МВД	1,3	150	700	15	5	0,7	82	82	176	1,7	
1,3-НВМЦ-250	—	1,3	250	1000	15	4,5	0,95	228	80	170	5	
1,46-НМЦ-60ч	БНС-15	1,46	60	—	12	3	0,9	180	45	105	1,3	
1,48-ПМЦ-9	2С-Л-9	1,48	9	80	12	10	0,7	42	42	102	0,3	
1,5-СНМЦ-0,6	КБ-СА	1,5	0,6	12	6	2,5	1	—	—	Ø20	59,5	0,04
1,5-ТМЦ-29,5	3С-Л-30	1,5	29,5	280	18	10	0,7	57	57	132	0,7	
1,54-ПМЦ-у-48ч	КБ-у-1,5	1,54	—	48	24	2500	—	—	—	Ø22	62	0,045
1,58-СНМЦ-2,5п	НС-СА	1,58	2,5	20	10	10	1	—	—	Ø36	101	0,16
1,6-ТМЦ-у-8	2-КС-у-8	1,6	8	—	12	10	0,7	—	—	Ø40,5	112	0,3

1,6-ПМЦ-у-3,2	—	1,6	3,2	32	12	10	0,7	—	Ø34	75	0,15
1,6-ФМЦ-у-32	1КС-у-3	1,6	3,2	32	12	10	0,7	—	Ø34	64	0,105
3-РЗН-МЦ-2ч	—	3	—	2	12	30	1,5	39	39	36	0,06
3,7-ФМЦ-0,5	КБС-Л-0,5	3,7	0,5	2	6	10	2	63	22	67	0,16
4,1-ФМЦ-0,7	КБС-х-0,7	4,1	0,7	3	8	10	2	63	22	67	0,16
4,2-САМЦ-1,0	БГ-4,5	4,2	1	—	6	10	2	102	37	81	0,4
5,6-НМЦГ-22ч	—	5,6	—	22	8	—	3,8	80	50	57	0,34
13-АМЦГ-у-0,5	—	13	0,5	500	18	10 000	8	65	51	41	0,25
15-РММЦГ-20ч	—	15	—	20	12	80 ма*	9	142	56	87	1,3
31-САМЦЧ-0,02	ГВЧ-СА-30	31	0,02	40	6	50 000	20	34	20	46	0,04
49-САМЦГ-0,25п	ГБ-СА-45	49	0,25	100	8	25 000	30	80	25	100	0,25
54-АСМЦГ-5п**	БС-Г-60-с-8	54/4	5/5	120	15	800/60	30	225	85	235	7,5
65-АНМЦ-1,3п	—	65/2,5	1,3/29	120/280	15	4680/20	40/1,4	125	120	190	3,5
67,5АМЦГ-у-0,06	—	67,5	0,06	10	6	—	—	62	38	67	0,25
68-АМЦ-х-0,6	БАС-60-х-0,6	68	0,6	—	12	4680	40	174	112	50	1,3

* Допустимый ток в миллиамперах.

** Данные комбинированных батарей, предназначенных для питания анодных, накальных или сеточных цепей, приведены в виде дроби (в числителе — для анодной секции, в знаменателе — для накальной или сеточной секции).

Продолжение табл. 89

Обозначение		Начальные характеристики			Условия разряда		Размеры, мм			Вес, кг
новое	старое	напряжение, в	емкость, а·ч	продолжительность работы, ч	сохранность, мес.	нагрузка, Ом	конечное напряжение, в	длина	ширина или диаметр	высота
70-АМЦГ-у-1,3	БАС-Г-60-у-1,3	70	1,3	120	15	4 680	40	174	112	50
70-АМЦГ-5	БС-Г-70	70	5	120	15	1 000	40	155	155	215
70-АНВ-275ч	—	70/5,2	—	275	12	—	—	235	120	150
75-АМЦГ-22 ч	—	75	—	22	8	—	45	95	40	70
100-АМЦГ-у-2,1	БАС-Г-80-у-2,1	100	2	180	15	7 000	60	218	138	73
102-АМЦГ-у-1,0	БАС-80-у-1	102	1	95	15	7 000	60	218	138	73
117-АНСМЦ-18ч	БАНСС-18	117/2,95	—	27/18	6	17 300/17,3	71/2,24	116	52	140
120-ПМЦГ-0,15	ГБ-120	120	0,15	—	6	49 000	75	174	26	84
123-АСМЦГ-60ч	БАСГ-120-с-0,45	120/12,8	—	60	6	9000/940	65/7	280	53	85
160-АМЦГ-0,35	БАС-Г-160	160	0,35	—	6	11 700	100	109	77	144
225-ПМЦГ-80ч	ГБ-200	225	—	80	6	85 000	150	86	63	147
330-ЭВМЦГ-1000	—	330	—	1000	6	—	240	120	62	132
«Крона 1 и 2»	—	9	0,01	15	12	—	5,6	26	16/21***	49

*** Числитель — для «Крона-1», знаменатель — для «Крона-2».

часах (если за последней цифрой стоит строчная буква ч) при оптимальной нагрузке внешней цепи. Иногда в наименование батареи после обозначения емкости добавляется буква п (панельная), показывающая, что батарея снабжена панелью, на гнезда которой подключены внешние выводы батареи.

Основные конструктивные и электрические параметры наиболее распространенных типов элементов и батарей для питания радиоустройств небольшой мощности приведены в табл. 89.

Наряду с гальваническими элементами, в основу которых положена угольно-марганцево-цинковая система, выпускают окисно-ртутные элементы, обладающие большей удельной энергией, лучшим использованием активных материалов, более высокой стабильностью напряжения в процессе разряда.

Окисно-ртутные элементы (ОР) заключены в стальной корпус 1 (рис. 148), внутри которого находится активная масса. Отрицательный электрод 2 выполнен из цинка с небольшим (до 0,01%) содержанием примесей, а положительный 5 — из окиси ртути и термически обогащенного графита. Электроды разделены пористой диафрагмой 4, пропитанной щелочным электролитом.

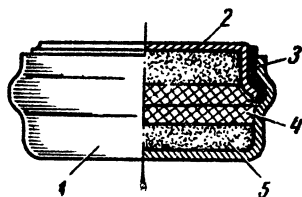


Рис. 148. Устройство окисно-ртутного элемента:

1 — корпус, 2 — отрицательный электрод, 3 — уплотняющее кольцо, 4 — диафрагма, 5 — положительный электрод

Основание корпуса сообщается с активной массой положительного электрода, а крышка — с активной массой отрицательного электрода. Основание и крышка изолированы резиновым уплотняющим кольцом 3, одновременно выполняющим функции герметизирующей прокладки. Через эту прокладку происходит выделение водорода, образующегося при работе элемента. Движение зарядов внутри элемента обеспечивается через пористую диафрагму.

Окисно-ртутные элементы имеют стабильную э. д. с., равную 1,35 в, и могут соединяться последовательно и параллельно в батареи. Эти батареи в основном предназначены для питания полупроводниковой и другой малогабаритной аппаратуры при температурах выше 0° С.

Разрядная емкость ОР элементов снижается при увеличении разрядного тока и значительно уменьшается при понижении температуры. В процессе разряда напряжение на элементе уменьшается незначительно, особенно при малых токах разряда. Стабильность напряжения в процессе разряда ОР элементов позволяет использовать их в качестве опорных (эталонных) источников тока. ОР элементы обладают высокой герметичностью и механической прочностью, устойчивы в условиях сильной тряски, вибрации, высокого и низкого давления, а также при значительных ускорениях. Наряду с ОР элементами выпускают щелочные марганцево-цинковые (МЦ) элементы.

Основные электрические и конструктивные параметры ОР и МЦ элементов и батарей приведены в табл. 90.

Таблица 90

Параметры ОР и МЦ элементов и батарей

Обозначение	Емкость, а·ч	Разряд- ный ток, ма	Сохран- ность, мес.	Размеры, мм		Вес, г
				высота	диаметр	
ОР-1к	0,2	10	9	6,3	15,6	4,7
ОР-2к	0,5	20	12	7,4	21	10
ОР-3к	1	35	12	8,4	25,5	17
ОР-4к	1,6	50	12	9,4	30,1	27,5
ОР-1	0,6	10	18	12,5	15,6	9
ОР-2	1,1	20	18	13	21	17
ОР-3	1,8	35	18	13,5	25,5	28
ОР-4	2,8	50	18	14	30,1	38
120-ПОР-24ч	150/2,5*	30/400*	—	160×86×55**	—	—
МЦ-1к	0,05	25	—	6,6	15,6	4,1
МЦ-2к	0,2	25	—	7,6	21	8,2
МЦ-3к	0,4	25	—	8,6	25,5	14,5
МЦ-4к	0,9	25	—	9,6	30,1	21,5

* В числителе приведены данные анодной секции батареи, в знаменателе — накальной секции.

** Прямоугольная конструкция.

Применение. При выборе элемента или батареи для питания радиоустройства необходимо знать их основные параметры (напряжение, емкость, разрядный ток или минимальное значение сопротивления нагрузки), срок сохранности, дату выпуска, размеры, вес. Желательно элемент или батарею выбирать такой емкости, чтобы потребляемый ток составлял 50—60% от предельно допустимого разрядного тока.

При выборе источников питания нужно иметь в виду, что стоимость энергии, получаемой от гальванических элементов, намного выше, чем от сети.

§ 66. Аккумуляторы

Аккумуляторы широко применяются для питания различной радиотехнической аппаратуры. По сравнению с гальваническими элементами аккумуляторы имеют больший срок службы, обладают большим постоянством напряжения, допускают более сильные разрядные токи, более экономичны. Аккумуляторы подразделяют на кислотные и щелочные.

Кислотный аккумулятор (рис. 149, а) содержит положительные пластины 4, выполненные из перекиси свинца, и отрицательные 5 — из губчатого свинца. Пластины помещены в эбонитовый или стеклянный корпус 6, наполненный электролитом, и отделены друг от друга пористой изоляционной прокладкой — сепаратором 3. Электролитом служит водный раствор серной кислоты плотностью 1,21—1,25 для работы при нормальных температурах и плотностью 1,3—1,35 при низких (от -20 до -30°C) температурах.

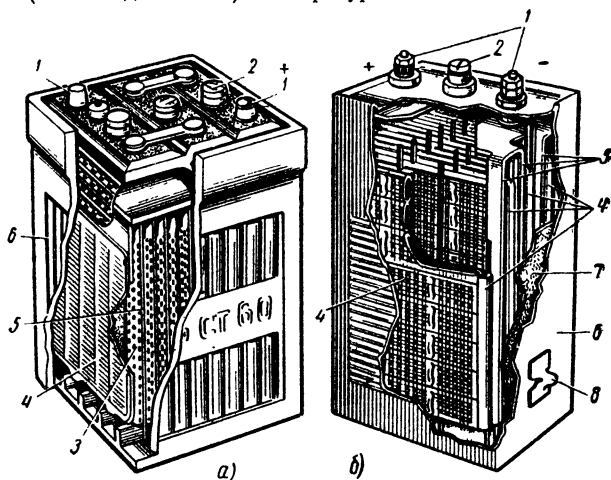


Рис. 149. Устройство аккумуляторов:

а — кислотного, **б** — щелочного; 1 — контактные выводы, 2 — пробка отверстия для заливки электролита, 3 — сепаратор, 4 — положительные пластины, 5 — отрицательные пластины, 6 — корпус, 7 — изолирующая прокладка, 8 — цапфа

Для приготовления 1 л электролита плотностью 1,21 на 864 г дистиллированной воды берут 346 г химически чистой серной кислоты плотностью 1,84. Электролит готовят в стеклянной или фарфоровой посуде, в которую сначала вливают воду, а затем осторожно небольшими порциями кислоту, тщательно перемешивая раствор стеклянной палочкой. Раствор при соединении кислоты с водой сильно разогревается, поэтому добавление больших порций кислоты может испортить сосуд. Вливать воду в кислоту нельзя потому, что кислота, реагируя с водой, сильно кипит и, разбрызгиваясь, может попасть на одежду, кожу и вызвать ожоги. Свежеприготовленный электролит сначала охлаждают до температуры $20-30^{\circ}\text{C}$, а затем заливают в аккумулятор так, чтобы уровень электролита был выше верхних краев пластин на 5—15 мм. Измеряют плотность электролита ареометром.

Зарядку кислотных аккумуляторов производят от источника постоянного тока по истечении 3—6 ч после их заливки. Цепь зарядки должна быть снабжена устройством (например, реостатом), обеспечивающим регулировку величины зарядного тока.

Первую зарядку ведут непрерывно в течение 36 ч током, равным 0,1 емкости аккумуляторов (в ампер-часах). Затем в течение трех часов аккумулятор охлаждают, после чего снова в течение 12 ч заряжают таким же током. Потом снова охлаждают аккумулятор и повторяют процесс зарядки током той же величины. Признаком окончания зарядки служит интенсивное кипение электролита, а также увеличение его плотности до 1,24—1,28. Напряжение одного элемента кислотного аккумулятора в конце зарядки 2,6—2,8 в.

В процессе зарядки идет обильное газовыделение, поэтому пробки аккумуляторов должны быть открыты во время зарядки и в течение 2—3 ч после ее окончания. Водород и кислород, выделяющиеся при зарядке, образуют гремучую смесь, которая воспламеняется при соприкосновении с огнем. Поэтому нельзя располагать в аккумуляторных помещениях электровыключатели и другие искрящие электроприборы, а также вносить в эти помещения зажженные предметы (спички, папиросы и др.).

В начале разрядки аккумулятора на нагрузку напряжение снижается до 2 в и длительное время остается на этом уровне. Признаком окончания разрядки является снижение напряжения аккумулятора на нагрузку до 1,8 в на один элемент, а также уменьшение плотности электролита до 1,17—1,2. Разрядка кислотного аккумулятора ниже 1,8 в недопустима, так как при этом активная масса пластин преобразуется в труднорастворимые соли (сульфат) свинца и снижается емкость аккумулятора. Разряженный аккумулятор в течение суток снова ставят на зарядку. Один раз в год меняют электролит и промывают аккумуляторы дистиллированной водой.

Хранят кислотные аккумуляторы в разряженном состоянии. Для этой цели аккумулятор разряжают до 1,7 в, сливают электролит и заливают его дистиллированной водой. Через 3—4 ч сливают воду. Так делают 2—3 раза, после чего аккумулятор просушивают и ставят на хранение.

Типы аккумуляторов. В зависимости от назначения различают несколько типов кислотных аккумуляторов. Для питания стационарных установок используют стационарные аккумуляторы, свинцовые пластины которых обычно свободно подвешивают в стеклянном сосуде без герметичной крышки. Срок службы стационарных кислотных аккумуляторов доходит до 1000 циклов заряда — разряда, к.п.д. 80%, среднесуточный саморазряд 1—2% от номинальной емкости. Для получения больших напряжений и емкости аккумуляторы соединяют соответственно последовательно и параллельно в батареи.

Для питания радиоаппаратуры выпускают радиоанодные и радиокальные аккумуляторы, смонтированные обычно в эбонитовых ящиках. Для запуска двигателей (автомобильных, мотоциклетных, катерных) выпускают стартерные аккумуляторы в эбонитовых или пластмассовых герметично закрываемых корпусах со сроком службы выше 150—300 циклов заряд — разряда. Среднесуточный саморазряд составляет около 1% их емкости.

Обозначения. Первая цифра в обозначении аккумуляторной батареи (например, ЗСТ-60) указывает, из скольких последовательно соединенных аккумуляторов состоит батарея. Число после букв обозначает номинальную емкость в ампер-часах. Буквы соответствуют назначению аккумулятора: С — стационарный, СП — стационарный с панцирными пластинами, СТ — стартерный, РА — радиоанодный, РН — радионакальный, МТ — мотоциклетный. Материал сосуда и сепараторов обозначают буквами: Э — эбонит, П — пластмасса, Д — дерево, М — мипласт, С — стекловыйлок.

Основные электрические и конструктивные параметры некоторых кислотных аккумуляторов приведены в табл. 9Г.

Щелочные аккумуляторы по сравнению с кислотными обладают более высокой механической прочностью, допускают большие зарядные и разрядные токи, устойчивы к кратковременным коротким замыканиям, допускают продолжительное пребывание в разряженном состоянии. Промышленность выпускает щелочные кадмиево-никелевые (КН), железо-никелевые (ЖН) и серебряно-цинковые аккумуляторы.

Таблица 9Г

Параметры кислотных аккумуляторов

Обозначение	Напряжение, в	Емкость, а·ч	Зарядный ток, а	Разрядный ток, а	Размеры, мм			Вес (без электролита), кг
					длина	ширина	высота	
С-1	—	36	9	3,6	80	215	270	8,6
С-2	—	72	18	7,2	130	215	270	14,1
С-3	—	108	27	10,8	180	215	270	18,5
СП-35	—	35	8	3,5	68	162	280	5,2
СП-70	—	70	16	7	88	162	280	8,19
10РА-10	20	10	1	1	260	200	212	15,7
РН-60	2	60	6	6	171	113	233	7
2РН-80	4	80	8	8	249	167	231	14,4
3РН-110	6	110	11	11	342	194	357	26,3
ЗСТ-60	6	60	5	6	179	178	237	12
ЗСТ-70	6	70	6,5	7	257	194	230	14,9
ЗСТ-135	6	135	10	13,5	335	180	240	23
6СТ-54	12	54	5	5,4	283	182	237	19,3
ЗМТ-14	6	10	1	1	124	100	181	—

В кадмиево-никелевых аккумуляторах (рис. 149, б) активной массой положительных пластин 4 является гидрат окиси никеля в смеси с графитом, а отрицательных 5 — кадмий и его окись. Железо-никелевые аккумуляторы имеют несколько иной состав и аналогичные с кадмиево-никелевыми аккумуляторами размеры и электрические характеристики.

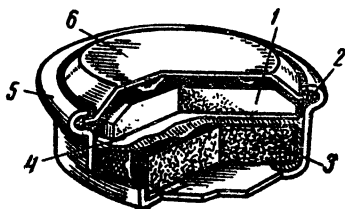
Электролитом щелочных аккумуляторов служит водный раствор едкого натрия (плотностью 1,19) или едкого калия (плотностью 1,21). В химических реакциях электролит не участвует, а лишь является проводником тока, поэтому в процессе работы аккумулятора электролит не меняет своей плотности и состава. Для приготовления 1 л электролита указанной плотности требуется 201 г едкого натрия или 282 г едкого калия, вводимого небольшими порциями в чистую воду (дистиллированную или отстоявшуюся питьевую, желательно кипяченую).

Для увеличения полезной емкости аккумулятора в состав электролита добавляют в небольшом количестве (30 г на 1 л раствора едкого натрия и 20 г на 1 л едкого калия) едкий литий. При температурах ниже -15°C едкий натрий непригоден как электролит, поэтому применяют едкий калий плотностью 1,26—1,3 без добавления едкого лития. На 1 л раствора берут 353—416 г едкого калия.

При приготовлении кислотного и щелочного электролита нельзя пользоваться одной посудой, а также держать и устанавливать кислотные и щелочные аккумуляторы в одном помещении. Электролит готовят в стеклянной, эмалированной или железной посуде, в которую сначала наливают воду, а затем железными щипцами или рукой в резиновой перчатке кладут кристаллы щелочи, перемешивая раствор стеклянной или стальной палочкой. Приготовленный электролит, температура которого понизилась до 25°C , немедленно заливают в аккумулятор, чтобы уменьшить пребывание его на открытом воздухе. В залитый аккумулятор льют тонким слоем (толщиной 0,5—1 см) вазелиновое масло, которое предохраняет электролит от окружающего воздуха. Смена электролита щелочных аккумуляторов должна производиться не реже чем через шесть месяцев.

Рис. 150. Устройство герметичного дискового кадмиево-никелевого аккумулятора:

- | | |
|-----------------------------|-------------|
| 1 — отрицательный электрод, | |
| 2 — уплотняющая прокладка, | |
| 3 — положительный электрод, | |
| 4 — сепаратор, | 5 — корпус, |
| 6 — крышка корпуса | |



При приготовлении электролитов следует помнить, что они могут вызвать ожоги кожи, разъесть одежду и т. д. Пораженную часть тела или одежды смачивают слабым раствором кислоты (борной, уксусной), а затем тщательно промывают проточной водой.

Зарядку щелочных аккумуляторов ведут нормальным током, равным 0,25 от номинальной емкости (в ампер-часах) в течение 6 ч. Окончание зарядки определяется ее продолжительностью, величиной зарядного тока и величиной напряжения каждого элемента. В конце зарядки напряжение повышается до 1,7—1,8 в. После прекращения зарядки оно быстро снижается до 1,4 в. При включении на нагрузку номинальное напряжение одного элемента щелочного аккумулято-

ра 1,2 в. В конце разрядки напряжение снижается до 1 в, что является признаком ее окончания. Срок службы 400—800 циклов заряда—разряда. Суточный саморазряд 1,5%.

Щелочные аккумуляторы дороже свинцовых, обладают меньшим к. п. д. (около 60%).

Обозначения. Первая цифра в обозначении щелочной аккумуляторной батареи (например, 4НКН-45) указывает, из скольких последовательно соединенных аккумуляторов состоит батарея. Далее следует буква, указывающая назначение батареи: А — анодная, Н — накальная, Ф — фонарная, Ш — шахтная. Следующие две буквы указывают материал пластин: КН — кадмиево-никелевые, ЖН — железо-никелевые. Цифры после букв обозначают емкость аккумулятора в ампер-часах. В конце обозначения могут быть цифры I или II, указывающие на особенности сварки корпуса.

Основные электрические и конструктивные параметры щелочных аккумуляторов приведены в табл. 92.

Таблица 92

Параметры щелочных аккумуляторов

Обозначение	Напряжение, в	Емкость, а·ч	Зарядный ток, а	Разрядный ток, а	Размеры, мм	Вес (с электролитом), кг
АКН-2,25	1,25	2,25	0,56	0,28	67×22×135	0,33
НКН-10	1,25	10	2,5	1,25	102×33×125	0,75
НКН-22(ЖН-22)	1,25	22	5,5	2,75	127×34×216	1,69
НКН-45(ЖН-45)	1,25	45	11,25	5,65	127×55×216	2,78
НКН-60(ЖН-60)	1,25	60	15	7,5	154×47×352	4,46
НКН-100(ЖН-100)	1,25	100	25	12,5	154×72×352	6,6
2ФЖН-8-1 (2КН-8-1)	2,5	8	2	1	83×65×126	1,45
2ФЖН-8-11 (2КН-8-11)	2,5	8	2	1	164×34×126	1,45
4НКН-10	5	10	2,5	1,25	188×76×128	—
4НКН-45	5	45	11,25	5,65	305×148×252	15
5НКН-10	6,25	10	2,5	1,25	190×89×128	—
5НКН-45, 5ЖН-45	6,25	45	11,25	5,65	372×148×252	17,6
10НКН-60, 10ЖН-60	12,5	60	15	7,5	600×170×388	57,8
2ШЖН-8-1	40	2,25	2,3	1	57×66×175	—
64АКН-2,25	80	2,25	0,56	0,28	525×317×168	—

Для питания малогабаритной переносной аппаратуры на транзисторах выпущены герметичные дисковые (Д) (рис. 150) и цилиндрические (ЦНК) кадмиево-никелевые аккумуляторы. Напряжение заряженного аккумулятора 1,5—1,7 в, номинальное напряжение 1,3 в, напряжение разряженного аккумулятора 1 в, срок службы 500 циклов заряда — разряда, к. п. д. 50—60%. Аккумуляторы рассчитаны на

Таблица 93

Параметры дисковых и цилиндрических аккумуляторов

Обозначение	Емкость, а·ч	Ток при 15-часовой зарядке, ма	Ток при 10-часовой разрядке, ма	Вес, г
Д-0,01	0,01	1	1	—
Д-0,06	0,06	6	6	3,6
Д-0,07	0,07	7	7	4,8
Д-0,12	0,12	12	12	6,8
Д-0,2	0,2	25	20	14,2
ЦНК-0,2	0,2	20	20	15
ЦНК-0,45	0,45	45	45	21
ЦНК-0,85	0,85	85	85	41
7Д-0,12	0,12	12	12	66
5ЦНК-02	0,2	25	—	730

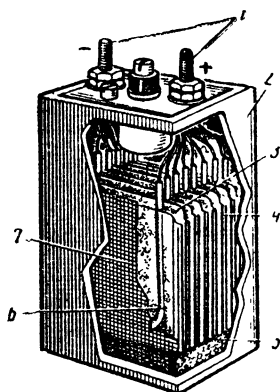


Рис. 151. Устройство серебряно-цинкового аккумулятора:

- 1 — контактные выводы,
2 — корпус, 3 — отрицательные пластины, 4 — сепаратор, 5 — эпоксидная смола, 6 — положительные пластины, 7 — капроновая ткань

работу при температурах выше 0°C . Саморазряд значителен (в течение месяца емкость снижается на 40%). Электрические параметры дисковых и цилиндрических аккумуляторов приведены в табл. 93.

Серебряно-цинковые аккумуляторы (рис. 151) обладают большей удельной емкостью, чем кислотные и щелочные аккумуляторы. Они допускают работу при значительном снижении атмосферного давления и характеризуются высокой предельной плотностью разрядного тока (до 500 ма/см^2) при сравнительно небольшом саморазряде. Достоинствами их являются также механическая прочность, непроницаемость, термостойкость.

В пластмассовом сосуде серебряно-цинкового аккумулятора размещены положительные (из чистого серебра) и отрицательные (из окиси цинка) пластины. Положительные пластины обернуты капроновой тканью, предохраняющей аккумулятор от короткого замыкания. Каждая отрицательная пластина помещена в пласт-

массовый пакет, который проницаем для электролита, но исключает оседание твердых частиц на дно сосуда.

Аккумуляторы содержат небольшое количество электролита (раствор едкого калия плотностью 1,4) и снабжены всдонепроницае-

мыми пробками, что позволяет использовать их для работы в горизонтальном и вертикальном положении.

При зарядке аккумулятора должен находиться в вертикальном положении; отверстие для заливки электролита должно быть открыто. Напряжение заряженного аккумулятора 2,4—2,5 в, разряженного 1 в, номинальное напряжение 1,5 в. Срок службы 300—500 циклов заряда — разряда, к. п. д. 50%. Суточный саморазряд 0,3—0,4%.

Основные параметры серебряно-цинковых (СЦ) аккумуляторов приведены в табл. 94.

Таблица 94

Параметры серебряно-цинковых аккумуляторов

Обозначение	Напряжение, в	Емкость, а·ч	Зарядный ток, а	Ток при 5-минутной разрядке, а	Размеры, мм	Вес, г
СЦ-0,5	1,5	0,5	0,5	7	12×24×37	19,5
СЦ-5	1,5	5	5	70	32×1,5×63	165
СЦ-11	1,5	11	10	120	21×41×100	190
СЦ-25	1,5	25	25	300	47×47×106	470
СЦ-45	1,5	45	50	700	47×51×140	790
СЦ-95	1,5	95	100	1200	71×55×212	1820
СЦ-100	1,5	100	100	1200	50×105×140	1950
5СЦ-5	7,5	5	5	70	50×94×112	1350

§ 67. Выпрямители

Постоянный ток для питания радиоаппаратуры можно получить путем преобразования переменного тока электросети с помощью схем выпрямления. Основными элементами схем выпрямления (рис. 152) являются: электрический вентиль *В*, преобразующий переменный ток в постоянный; силовой трансформатор *Тр*, повышающий или понижающий сетевое напряжение до требуемой в схеме величины; фильтр *СФ*, сглаживающий пульсации выпрямленного тока. Для обеспечения высокого постоянства напряжения на нагрузке на выходе выпрямителя (перед нагрузкой) могут быть включены стабилизаторы *Ст* (на рисунке показано пунктиром).

В зависимости от числа фаз выпрямленного переменного тока и способа присоединения вентилей и потребителя ко вторичной обмотке трансформатора различают:

схемы выпрямления однофазного тока (однополупериодная, двухполупериодная, мостовая, умножения выпрямленного напряжения);

схема выпрямления трехфазного тока (трехфазная однополупериодная, трехфазная мостовая, шестифазная и др.).

Выбор схемы выпрямителя. Определяется величиной мощности P_0 , потребляемой нагрузкой.

$$P_0 = U_0 I_0,$$

где U_0 и I_0 — выпрямленные напряжение и ток, требуемые для питания нагрузки.

При малых значениях тока нагрузки все ее цепи питаются от одного источника U_0 , поэтому расчетное значение выпрямленного тока I_0 находится из соотношения:

$$I_0 = I_{0a} + I_{0э} + \dots,$$

где I_{0a} и $I_{0э}$ — токи, потребляемые анодными и экранными цепями нагрузки.

Для получения небольших (десятки, сотни ватт) мощностей применяют однофазные схемы. Для выпрямления токов мощностью $P_0 > 1$ кВт служат более сложные трехфазные схемы, обеспечивающие равномерную нагрузку на трехфазную сеть и не требующие громоздких фильтров.

Выбор типа вентиля. Определяется основными параметрами схемы выпрямителя: средним I_0 и максимальным I_m значениями тока и величиной наибольшего обратного напряжения $U_{обр.м.}$ действующих в схеме. Выбранный вентиль должен допускать токи и напряжения не ниже расчетных для данной схемы.

Режим работы вентиля в схеме зависит от вида схемы и характера нагрузки (активная, индуктивная, емкостная). Широко применяют схемы, работающие на нагрузку с емкостной реакцией, в которых сглаживающий фильтр на выходе выпрямителя начинается с емкости. В этих схемах расчетные значения напряжений и токов определяют с помощью коэффициентов A, B, D, F, H , которые являются функцией угла отсечки θ , характеризующего продолжительность анодного тока вентиля.

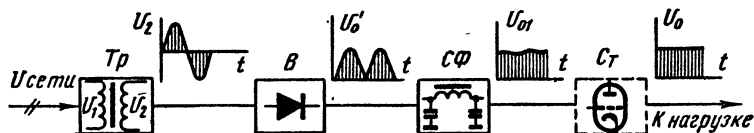


Рис. 152. Блок-схема выпрямителя

При расчете режима в схемах выпрямителей с емкостной реакцией определяют коэффициент A , связывающий режим работы трансформатора и вентиля.

$$A = \frac{\pi (R_i + r_{TP})}{m} \cdot \frac{I_0}{U_0},$$

где R_i — внутреннее сопротивление вентиля ($R_i \approx 10$ ом для большинства плоскостных полупроводниковых диодов);

m — число фаз выпрямителя (определяется по числу полупериодов выпрямленного тока в схеме);

$r_{\text{тр}}$ — сопротивление обмоток трансформатора.

Сопротивление обмоток трансформатора выбирают в зависимости от мощности выпрямителя:

$$\begin{array}{c} P_0, \text{ вт} \dots\dots\dots 1-10 \\ r_{\text{тр}} \text{ ом} \dots\dots\dots (0,1-0,07)R_H \end{array} \quad \begin{array}{c} 10-100 \\ (0,08-0,05) R_H \end{array} \quad \begin{array}{c} 100-1000 \\ (0,06-0,04) R_H \end{array}$$

$$\text{Сопротивление нагрузки } R_H = \frac{U_0}{I_0} \text{ (ом)}.$$

По найденному значению коэффициента A , пользуясь номограммой (рис. 153), определяют коэффициенты B , D , F , H , зная которые можно рассчитать режим и параметры вентиля и трансформатора. По значениям параметров вентиля определяют его тип.

В маломощных схемах выпрямителей, мощность выпрямленного тока в которых десятки ватт, используют полупроводниковые (германиевые и кремниевые) вентили.

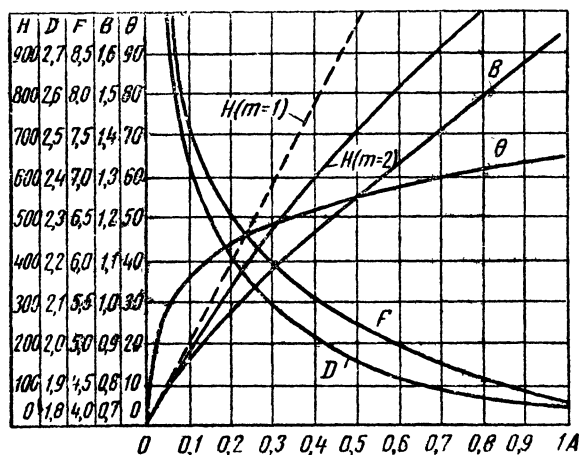


Рис. 153. Номограмма для электрического расчета режима выпрямителя

Для выпрямления высоких напряжений включают последовательно по несколько однотипных диодов. Но даже однотипные диоды имеют разброс параметров (неравенство сопротивлений обратному току). Чтобы при этих условиях обеспечить равномерное распределение обратных напряжений на нескольких последовательно

включенных диодах, их шунтируют высокоомными сопротивлениями в десятки килоом, мощностью 0,25—0,5 вт. Обычно каждое шунтирующее сопротивление принимают такой величины, чтобы оно примерно в 10 раз было меньше минимального обратного сопротивления диода. В § 22 приведены параметры некоторых типов плоскостных германиевых и кремниевых диодов.

В мощных схемах выпрямителей ($P_0 > 1$ квт) применяют ионные вентили (газотроны и тиратроны), а также мощные полупроводниковые вентили. Для выпрямления малых токов при напряжениях в тысячи и десятки тысяч вольт служат кенотроны.

Селеновые вентили предназначены для выпрямления переменного тока частотой до 1000 гц. Выпрямители состоят из круглых, квадратных или прямоугольных выпрямительных элементов (пластин), собранных в столбики и рассчитанных на различные токи и напряжения.

Каждый элемент столбика допускает среднюю плотность тока 50 ма/см² и обратное напряжение 20—60 в. Для выпрямления более высоких напряжений выпрямительные элементы в столбике соединяют последовательно, а для получения больших токов — параллельно (рис. 154). Основные параметры селеновых выпрямительных столбиков приведены в табл. 95.

Полярность выводов селеновых выпрямителей маркируется знаками «+», «—» и «~» или цветными точками (полосками) следующих цветов: (+) — красный, (—) — синий и (~) — желтый.

Выбор выпрямителя производят по заданным условиям его работы.

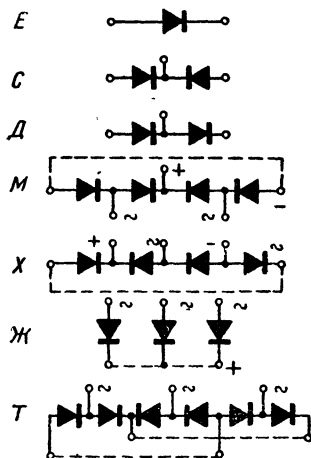


Рис. 154. Схемы соединения селеновых столбиков.

E — однополупериодная, C — двухполупериодная со средней точкой, D — однополупериодная для удвоения напряжения, M — однофазная мостовая, X — открытая однофазная мостовая, Ж — трехфазная однополупериодная, Т — трехфазная мостовая.

Наряду с рассмотренными вентилями промышленность выпускает пакетные селеновые выпрямители типов АВС-80-260 и АВС-120-270, собранные по мостовой схеме со следующими параметрами (табл. 97).

Таблица 95

Параметры селеновых выпрямительных столбиков

Деление на группы по условиям работы			Обозначение по размеру элемента					Деление на классы		Обозначение схем соединения	
условное обозначение групп	температура среды, °C	относительная влажность, %	условное обозначение	диаметр или размер, мм	номинальный выходной ток, мА	среднее значение падения напряжения, в	условное обозначение класса	допускаемое напряжение на элемент, В	условное обозначение	схема (см. рис. 154)	
I	От -60 до +100	До 98 при 40° C	5	Ø 5	1	0,9	В	20	Е	Однополупериодная	
			7	Ø 7,2	6	0,9					
			13	Ø 12,5	25	0,8					
II	От -60 до +100	До 90 при 25° C	18	Ø 18	40	0,65	Д	25	С	Двухполупериодная со средней точкой	
			25	Ø 25	75	0,65					
			35	Ø 35	150	0,65					
III	От -60 до +70	До 98 при 40° C	45	Ø 45	300	0,65	Е	30	Д	Однополупериодная для удвоения напряжения	
IV	От -60 до +70		12	12×12	40	0,65	Е	35	М	Однофазная мостовая	
			15	15×15	40	0,65					
			22	22×22	75	0,65					
			30	30×30	150	0,65	И	40	Х	Открытая однофазная мостовая	
			40	40×40	300	0,65					
			60	60×60	600	0,65					
			75	75×75	1200	0,65	Л	50	Ж	Трехфазная однопериодная	
			100	100×100	2000	0,65					
			120	100×200	4000	0,65					
			130	100×300	6000	0,65	М	60	Т	Трехфазная мостовая	
			140	100×400	8000	0,65					

Основные расчетные соотношения

Схема выпрямления	Реакция нагрузки	Режим вентилей				действующее напряжение вторичной обмотки U_2
		число вентилей	обратное напряжение на вентиль $U_{обр}$	среднее значение тока вентилей I_a	максимальное значение тока вентилей I_m	
Однополупериодная	Активная	1	πU_0	I_0	πI_0	$2,22 U_0$
	Емкостная	1	$2,82 BU_0$	I_0	FI_0	BU_0
Двухполупериодная	Активная	2	πU_0	$0,5 I_0$	$0,5 \pi I_0$	$2 \times 1,11 U_0$
	Индуктивная	2	πU_0	$0,5 I_0$	I_0	$2 \times 1,11 U_0$
	Емкостная	2	$2,82 BU_0$	$0,5 I_0$	$0,5 FI_0$	BU_0
Однофазная мостовая	Активная	4	$0,5 \pi U_0$	$0,5 I_0$	$0,5 \pi I_0$	$1,11 U_0$
	Индуктивная	4	$0,5 \pi U_0$	$0,5 I_0$	I_0	$1,11 U_0$
	Емкостная	4	$1,41 BU_0$	$0,5 I_0$	$0,5 FI_0$	BU_0
Схема удвоения	Емкостная	2	$1,41 BU_0$	I_0	FI_0	$0,5 BU_0$
Трехфазная	Активная	3	$2,09 U_0$	$0,33 I_0$	$1,21 I_0$	$0,855 U_0$
	Индуктивная	3	$2,09 U_0$	$0,33 I_0$	I_0	$0,855 U_0$
Трехфазная мостовая	Активная	6	$1,045 U_0$	$0,33 I_0$	$1,045 I_0$	$0,43 U_0$
	Индуктивная	6	$1,045 U_0$	$0,33 I_0$	I_0	$0,43 U_0$

Примечание. U_0 — выпрямленное напряжение; I_0 — выпрямленный ток; F — коэффициент, определяемые по номограмме (см. рис. 153); C_0 — емкость конденсатора,

Таблица 96

для выпрямительных схем

Режим трансформатора				Фильтр	
действующее значение тока вторичной обмотки I_2	действующее значение тока первичной обмотки I_1	расчетная мощность трансформатора $P_{тр}$	коэффициент использования трансформатора $k_{тр}$	частота пульсаций	коэффициент пульсаций ε_0
$0,5 \pi I_0$	$(1,45 \div 1,57) \frac{U_2}{U_1} \cdot I_0$	$(3,36 \div 3,5) P_0$	0,324	f_c	1,57
DI_0	$I_0 \frac{U_2}{U_1} \sqrt{D^2 - 1}$	$0,5B(D + \sqrt{D^2 - 1}) P_0$	—	f_c	$\frac{H}{r_{\phi} C_0}$
$\frac{\pi}{4} I_0$	$1,11 \frac{U_2}{U_1} I_0$	$1,48 P_0$	0,675	$2 f_c$	0,67
$0,707 I_0$	$\frac{U_2}{U_1} I_0$	$1,34 P_0$	0,746	$2 f_c$	0,67
$\frac{D}{2} I_0$	$0,707 I_0 \frac{U_2}{U_1} D$	$0,85 BDP_0$	0,58	$2 f_c$	$\frac{H}{r_{\phi} C_0}$
$1,11 I_0$	$1,11 \frac{U_2}{U_1} I_0$	$1,23 P_0$	0,814	$2 f_c$	0,67
I_0	$\frac{U_2}{U_1} I_0$	$1,11 P_0$	—	$2 f_c$	0,67
$0,707 DI_0$	$0,707 I_0 \frac{U_2}{U_1} D$	$0,707 BDP_0$	—	$2 f_c$	$\frac{H}{r_{\phi} C_0}$
$1,41 DI_0$	$1,41 \frac{U_2}{U_1} D$	$0,707 BDP_0$	—	$2 f_c$	$\frac{H}{r_{\phi} C_0}$
$0,58 I_0$	$0,48 \frac{U_2}{U_1} I_0$	$1,35 P_0$	} 0,74	$3 f_c$	0,25
$0,58 I_0$	$0,47 \frac{U_2}{U_1} I_0$	$1,35 P_0$		$3 f_c$	0,25
$0,815 I_0$	$0,815 \frac{U_2}{U_1} I_0$	$1,045 P_0$	} 0,95	$3 f_c$	0,057
$0,815 I_0$	$0,815 \frac{U_2}{U_1} I_0$	$1,045 P_0$		$3 f_c$	0,057

P_0 — мощность, потребляемая нагрузкой выпрямителя; B, D, F, H — коэффициенты, зависящие от схемы выпрямителя; r_{ϕ} — сопротивление фазы выпрямителя.

Таблица 97

Параметры пакетных селеновых выпрямителей

Параметры	Обозначение	
	ABC-80-260	ABC-120-270
Подводимое, переменное напряжение, v	260	270
Выпрямленное напряжение, v	285	295
Выпрямленный ток, ma	80	120

§ 68. Схемы выпрямителей и соотношения в них

Однофазная однополупериодная схема (рис. 155, *а*) обычно применяется для выпрямления малых (до 10—15 *вт*) мощностей. Достоинством схемы является ее простота: наличие одного вентиля и однофазного трансформатора. К недостаткам относятся: относительно большое значение переменной составляющей выпрямленного напряжения и низкая частота ее первой гармоники, что усложняет сглаживающий фильтр; низкий коэффициент использования трансформатора по мощности, приводящий к увеличению его габаритов и стоимости; большая величина обратного напряжения на вентиле.

Схему используют в маломощных выпрямителях с высоким на-

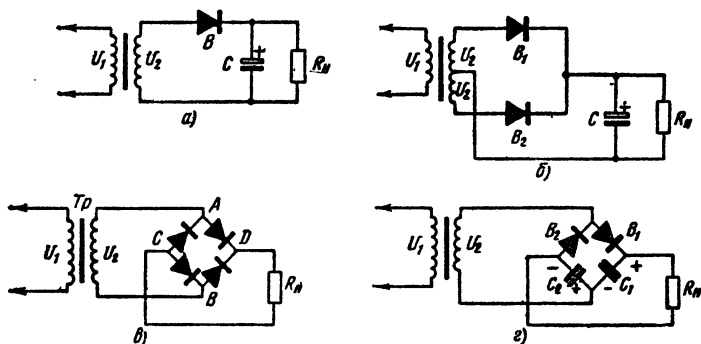


Рис. 155. Схемы выпрямителей:

а — однополупериодная, *б* — двухполупериодная, *в* — мостовая, *г* — удвоения выпрямленного напряжения

грузочным сопротивлением, например для питания анодов электроннолучевых трубок, а также в измерительных и некоторых приемно-усилительных схемах, допускающих повышенную пульсацию выпрямленного напряжения.

Однофазная двухполупериодная схема (рис. 155, б) часто применяется для получения малых и средних мощностей выпрямленного тока. Эта схема сложнее однополупериодной схемы, так как требует два вентиля (или один двуханодный кенотрон), а трансформатор должен иметь две равноценные вторичные полуобмотки, образуемые выводом средней точки.

Однако в двухполупериодной схеме значительно меньше амплитуда переменной составляющей выпрямленного напряжения (в 2 — 2,5 раза). Частота первой гармоники переменного напряжения в 2 раза выше. Это уменьшает габариты и стоимость сглаживающего фильтра. В настоящее время эта схема вытесняется более экономичной мостовой схемой.

В однофазной мостовой схеме (рис. 155, в) вторичная обмотка трансформатора подключена к одной (AB) диагонали моста, составленного из четырех вентилях, а нагрузка — ко второй (CD) диагонали. Схема широко применяется на полупроводниковых вентилях для получения малых и средних (<1 кВт) мощностей выпрямленного тока. В схеме осуществляется двухполупериодное выпрямление однофазного тока. Коэффициент использования трансформатора в этой схеме больше, а режим работы вентилях более легкий, чем в двухполупериодной схеме со средней точкой.

Схемы выпрямителей с удвоением напряжения применяются для повышения выпрямленного напряжения при заданном напряжении на вторичной обмотке трансформатора, а также при отсутствии повышающего трансформатора. Например, двухполупериодная трансформаторная схема (рис. 155, г) позволяет получить на выходе выпрямителя примерно удвоенное значение выпрямленного напряжения. В схеме можно применить конденсаторы с рабочим напряжением, равным половине выходного. Для выпрямления трехфазного тока мощностью $P > 1$ кВа используют трехфазные схемы с однополупериодным выпрямлением и трехфазные мостовые схемы с двухполупериодным выпрямлением каждой фазы.

Основные расчетные соотношения напряжений и токов в рассмотренных схемах приведены в табл. 96.

§ 69. Сглаживающие фильтры

Выпрямленное напряжение у выпрямителей обладает большими пульсациями. Для уменьшения величины пульсации применяют сглаживающие фильтры, составленные из индуктивности и емкости (рис. 156, а, б) или из резистора и емкости (рис. 156, в). Способность фильтра уменьшать пульсацию оценивают коэффициентом сглаживания пульсаций

$$k_c = \frac{\epsilon_0}{\epsilon_n},$$

где ϵ_0 и ϵ_n — коэффициенты пульсации на входе и выходе фильтра.

Коэффициент пульсаций на входе фильтра определяется схемой выпрямителя и характером нагрузки и получается из расчета схемы

выпрямления. Для схем, работающих на нагрузку с емкостной реакцией, коэффициент пульсации рассчитывают по формуле

$$\varepsilon_0 = \frac{H}{C_0 r_\phi} = \frac{H}{C_0 (R_l + r_{тр})},$$

где H — коэффициент, определяемый по номограмме (см. рис. 153) в зависимости от значения коэффициента A ; $r_\phi = R_l + r_{тр}$ — сопротивление фазы выпрямителя, определяемое при расчете выпрямителя; C_0 — емкость конденсатора, включенного на выходе выпрямителя.

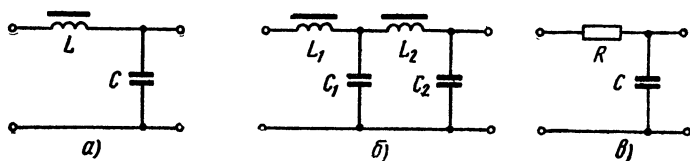


Рис. 156. Схемы фильтров:

a — однозвенного индуктивно-емкостного, $б$ — двухзвенного, $в$ — однозвенного резистивно-емкостного

Т а б л и ц а 98

Допустимая величина коэффициента пульсации

Потребители	ε_n , %
Первые каскады микрофонных усилителей . . .	0,00001—0,00002
Задающие генераторы радиопередатчиков . . .	0,0001—0,001
Ступени усиления высокой частоты радиовещательных приемников	0,01—0,1
Промежуточные ступени:	
усилителей низких частот	0,01—0,1
радиовещательных и телевизионных передатчиков	0,01—0,03
радиотелефонных передатчиков	0,02—0,1
радиотелеграфных передатчиков	0,2—0,5
Мощные ступени:	
радиовещательных и телевизионных передатчиков	0,03—0,06
радиотелефонных передатчиков и усилителей низких частот (однотактные схемы) . . .	0,05—0,1
радиотелеграфного передатчика и усилителей низких частот (двухтактная схема) . . .	0,5—3
Анодные цепи электроннолучевых трубок . . .	0,1—0,5

При расчетах фильтров коэффициентом пульсаций на входе фильтра обычно задаются ($\epsilon_0 = 0,05 - 0,25$) и, исходя из этого, определяют требуемую емкость C_0 . Допустимая величина коэффициента пульсации на выходе фильтра ϵ_n зависит от характера нагрузки (табл. 98).

Индуктивно-емкостный фильтр LC (рис. 156, а) применяется в устройствах средней и большой мощности (обычно при выпрямленном токе выше 20 ма). При использовании этого фильтра можно получить малое падение напряжения постоянного тока, а следовательно, более высокий к. п. д.

Недостатками LC-фильтра являются его относительно большие размеры, вес и наличие магнитных полей рассеяния вокруг дросселя.

Для получения требуемого коэффициента сглаживания k_c параметры фильтра определяют по формуле

$$L \text{ (гн)} C \text{ (мкф)} = \frac{10^6 (k_c + 1)}{m^2 \omega^2},$$

где m — число фаз выпрямления (берется по числу выпрямляемых полупериодов тока);

$\omega = 2\pi f$ — круговая частота выпрямленного тока;

f — частота выпрямленного тока, гц.

Элементы фильтра должны быть выбраны так, чтобы

$$m\omega L > \frac{1}{m\omega C}.$$

В блоках питания, предназначенных для усилителей низких частот, величину емкости выходного конденсатора фильтра выбирают, исходя из допустимых частотных искажений M_Ω .

$$C_\Phi \geq \frac{1}{\Omega_n (R_a + R_i)} \sqrt{\frac{M_\Omega}{1 - M_\Omega^2}},$$

где Ω_n — минимальная круговая частота усилителя, гц;

R_a — анодная нагрузка резистивного УНЧ, ом;

R_i — внутреннее сопротивление лампы усилителя, ом.

Если необходим большой коэффициент сглаживания [$L \text{ (гн)} C \text{ (мкф)} > 200$], а не хотят применять громоздкие дроссели и конденсаторы, то используют фильтр из двух (рис. 156, б) или нескольких звеньев. Общий коэффициент сглаживания такого фильтра равен произведению коэффициентов сглаживания отдельных звеньев $k_c = k_{c1} \cdot k_{c2}$.

Резистивно-емкостной фильтр RC (рис. 156,в) выгодно применять при больших (десятки килоом) значениях сопротивления нагрузки, т. е. при малых значениях (меньше 20 *ма*) потребляемого выпрямленного тока. Параметры элементов этого фильтра рассчитывают по формуле

$$R \text{ (ом)} C \text{ (мкф)} = \frac{k_c 10^6}{m\omega}.$$

Эти фильтры имеют малые габариты и вес, низкую стоимость. Недостатком RC -фильтра является малый к. п. д. из-за большого падения выпрямленного напряжения на резисторе фильтра.

Литература

Баркан В. Ф., Жданов В. К. Радиоприемные устройства. «Советское радио», 1966.

Белополюсский И. И. Электропитание радиоприборов. «Энергия», 1965.

Белоцерковский Г. Б. Основы импульсной техники и радиолокации. «Судостроение», 1965.

Бетин Б. М. Радиопередающие устройства. М., «Высшая школа», 1965.

Бодиловский В. Г. Электровакуумные и полупроводниковые приборы в устройствах автоматики, телемеханики и связи. М., «Транспорт», 1969.

Брамер Ю. А., Пашук И. Н. Импульсная техника. «Высшая школа», 1965.

Винокуров И. А. и др. Справочник по полупроводниковым диодам и транзисторам. М., «Энергия», 1964.

Гендин Г. С. Высококачественные любительские усилители низкой частоты. М. — Л., «Энергия», 1965.

Гурлев Д. С. Справочник по электронным приборам. Киев, «Техника», 1966.

Дыкин А. В. Электронные и полупроводниковые приборы. М., «Энергия», 1965.

Жеребцов И. П. Радиотехника. М. — Л., «Энергия», 1965.

Изюмов Н. М. Курс радиотехники. М., Воениздат, 1965.

Кацнельсон В. В., Ларионов А. С. Отечественные приемно-усилительные лампы и их зарубежные аналоги (справочник). М., «Энергия», 1968.

Лабутин В. К. Книга радиомастера. Вып. 543. М., «Энергия», 1964.

Лавриненко В. Ю. Справочник по полупроводниковым приборам. Киев, «Техника», 1966.

Макушев Э. И., Поппэ Э. И., Глагольский Б. А. Типовые схемы радиоэлектронной аппаратуры. М., «Энергия», 1964.

Малинин Р. М. Резисторы. М. — Л., «Энергия», 1965.

Миленин В. Г. и др. Основы импульсной техники. М., Воениздат, 1966.

Михайлов И. В., Пропошин А. И. Конденсаторы. М. — Л., «Энергия», 1965.

Под общ. ред. Р. М. Малинина. Справочник начинающего радиолюбителя. Вып. 581. «Энергия», 1965.

Рамм Г. С. Электронные усилители. М., «Связь», 1964.

Самойлов В. Ф., Маковеев В. Г. Импульсная техника. М., «Связь», 1966.

Терещук Р. М., Домбругов Р. М., Босвит Н. Д. Справочник радиолюбителя. Киев, Изд-во Академии наук УССР, 1963.

Цыкин Г. С. Электронные усилители. М., Связьиздат, 1960.

Чистяков Н. И. Основы радиосвязи и радиорелейные линии. М., «Связь», 1964.

Оглавление

	Стр. 3
Предисловие	3
Глава I. Общие сведения	5
§ 1. Единицы измерения основных величин.	5
§ 2. Условные графические обозначения для электрических схем (ГОСТ 7624—62)	8
Глава II. Принципы радиосвязи и радиолокации	20
§ 3. Сведения о радиоволнах	20
§ 4. Радиосвязь	20
§ 5. Радиорелейная связь	22
§ 6. Радиовещание	23
§ 7. Радиолокация	23
Глава III. Физические основы радиотехники	24
§ 8. Колебательный контур	24
§ 9. Распространение радиоволн	30
§ 10. Антенно-фидерные устройства	33
§ 11. Объемные резонаторы и волноводы	43
Глава IV. Электровакуумные приборы	46
§ 12. Краткие сведения об электровакуумных приборах	46
§ 13. Характеристики ламп	47
§ 14. Электрические параметры электронных ламп	49
§ 15. Условные обозначения электровакуумных приборов	51
§ 16. Справочные данные электровакуумных приборов	55
Глава V. Полупроводниковые диоды и триоды	77
§ 17. Краткие сведения	77
§ 18. Характеристики и параметры полупроводниковых диодов	79
§ 19. Характеристики транзисторов	80
§ 20. Параметры транзисторов	82
§ 21. Классификация полупроводниковых приборов и их обозначение	86

	Стр.
§ 22. Справочные данные выпрямительных диодов	90
§ 23. Справочные данные высокочастотных диодов	101
§ 24. Справочные данные маломощных низкочастотных транзисторов	105
§ 25. Справочные данные маломощных среднечастотных транзисторов	110
§ 26. Справочные данные маломощных высокочастотных транзисторов	112
§ 27. Справочные данные транзисторов средней и большой мощности	127
Глава VI. Радиотехнические материалы	136
§ 28. Проводники	136
§ 29. Магнитные материалы	148
§ 30. Диэлектрики	158
Глава VII. Радиодетали	164
§ 31. Конденсаторы	164
§ 32. Катушки	180
§ 33. Трансформаторы	182
§ 34. Резисторы	187
Глава VIII. Усилители	194
§ 35. Классификация усилителей	194
§ 36. Основные показатели работы усилителей	195
§ 37. Усилительные элементы и способы их включения	198
§ 38. Усилители напряжения	199
§ 39. Усилители мощности	202
§ 40. Обратные связи в усилителях	208
Глава IX. Радиопередатчики	210
§ 41. Общие сведения	210
§ 42. Автогенераторы	210
§ 43. Усилители мощности	212
§ 44. Стабилизация частоты	215
§ 45. Управление колебаниями радиопередатчика	218
Глава X. Радиовещательные приемники	224
§ 46. Основные качественные показатели радиовещательных приемников	224
§ 47. Классификация радиовещательных приемников	227
§ 48. Блок-схемы радиовещательных приемников	230
§ 49. Входные устройства приемников	232
§ 50. Усилители высокой частоты	235
§ 51. Преобразователи частоты	238
§ 52. Усилители промежуточной частоты	242
§ 53. Детекторы	245

	Стр.
§ 54. Вспомогательные устройства ВЧ части приемника	248
§ 55. Усилители низкой частоты приемников	250
Глава XI. Импульсная техника	252
§ 56. Общая характеристика импульсного сигнала	252
§ 57. Периодическая последовательность импульсов и ее параметры	254
§ 58. Спектральный состав импульсных сигналов	255
§ 59. Прохождение импульсов через линейные цепи	257
§ 60. Линии для задержки импульсов	260
§ 61. Ограничители	263
§ 62. Мультивибраторы	269
§ 63. Триггеры	275
§ 64. Блокинг-генераторы	277
Глава XII. Электропитание радиоустройств	282
§ 65. Гальванические элементы и батареи	282
§ 66. Аккумуляторы	288
§ 67. Выпрямители	295
§ 68. Схемы выпрямителей и соотношения в них	299
§ 69. Сглаживающие фильтры	303
Литература	307

БОДИЛОВСКИЙ Василий Георгиевич
СМИРНОВА Маргарита Александровна

Справочник молодого радиста

Редактор *М. В. Кобринская*
Художественный редактор *Т. В. Панина*
Художник *А. И. Шавард*
Технический редактор *Л. А. Муравьева*
Корректор *Г. А. Казакова*

Т-18228	Сдано в набор 13/II 1970 г.	Подп к печати
10/XII 1970 г.	Формат 84×108 ¹ / ₃₂ .	Объем 9,75 печ. л.
16,38 усл. п. л.	Уч.-изд. 15,99 л.	Изд. № ЭГ-108.
Тираж 210 000 экз.	Цена 65 коп.	

План выпуска литературы издательства «Высшая школа»
(профтехобразование) на 1970 г. Позиция № 55
Москва, К-51, Неглинная ул., д. 20/14,
Издательство «Высшая школа»

Владимирская типография Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР
Гор. Владимир, ул. Победы, д. 18-6. Зак. 228

66 коп.

ВЫСШАЯ ШКОЛА · 1971