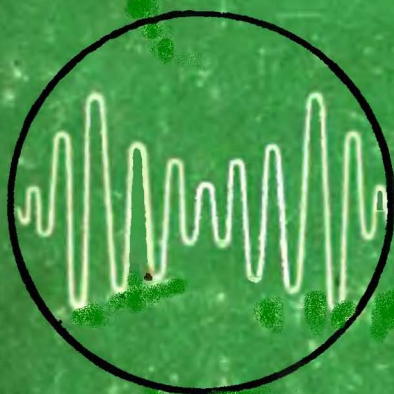


ПРОФЕССИОНАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКО
ОБРАЗОВАНИЕ



СПРАВОЧНИК

МОЛОДОГО

РАДИСТА

БИБЛИОТЕЧНАЯ СЕРИЯ

В. Г. БОДИЛОВСКИЙ

СПРАВОЧНИК
МОЛОДОГО РАДИСТА

ИЗДАНИЕ ЧЕТВЕРТОЕ, ПЕРЕРАБОТАННОЕ
И ДОПОЛНЕННОЕ



МОСКВА «ВЫСШАЯ ШКОЛА» 1983

ББК 32.844
Б75
УДК 621.396.66

Рецензент — проф. А. А. Устинский (Московский институт инженеров железнодорожного транспорта).

Со всеми замечаниями и предложениями просим обращаться по адресу: 101430, Москва, Неглинная ул., 29/14, издательство «Высшая школа».

Бодилловский В. Г.

Б75 Справочник молодого радиста: 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 1983. — 320 с., ил. — (Профтехобразование. Библиотечная серия).
В пер. № 5: 1 р. 20 к., в пер. № 7: 1 р. 40 к.

В справочнике приведены основные сведения об электрорадиоматериалах, компонентах и элементах радиоаппаратуры, кратко рассмотрены устройства и принципы действия важнейших радиотехнических установок.

В настоящем издании главы «Электроакустические приборы», «Полупроводниковые диоды», «Транзисторы», «Электронные усилители» вновь написаны и введена новая глава «Интегральные микросхемы». Материал остальных глав существенно переработан и дополнен.

Справочник предназначен для учащихся и инженерно-педагогических работников учебных заведений профтехобразования и может быть использован радиолюбителями, а также широким кругом лиц, интересующихся вопросами радиоэлектроники.

Справочник рекомендован к изданию Государственным комитетом СССР по профессионально-техническому образованию.

Б 2402020000—332 19—83
052(01)—83

ББК 32.844
6Ф2.12

БИБЛИОТЕЧНАЯ СЕРИЯ

Василий Георгиевич Бодилловский

СПРАВОЧНИК МОЛОДОГО РАДИСТА

Редактор *М. В. Золоева*, Художественный редактор *Т. В. Панина*, Художник *А. И. Шавард*, Технический редактор *Л. А. Григорчук*, Корректор *В. В. Кожуткина*

ИБ № 3427

Изд. № ЭГ—10. Сдано в набор 18.10.82. Подп. в печать 06.07.83. Т-03871. Формат 84×108^{1/32}. Бум. тип. № 3. Гарнитура литературная. Печать высокая. Объем 16,8 усл. печ. л. 17,11 усл. кр.-отт. 20,5 уч.-изд. л. Тираж 320 000 экз. Зак. № 267. Цена в пер. № 5: 1 р. 20 к.; в пер. № 7: 1 р. 40 к.

Издательство «Высшая школа», 101430, Москва, ГСП-4, Неглинная ул., д. 29/14

Владимирская типография «Союзполиграфпрома» при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
600000, г. Владимир, Октябрьский проспект, д. 7

© Издательство «Высшая школа», 1975

© Издательство «Высшая школа», 1983, с изменениями

Журнал
Одесса
15.09.1983

ПРЕДИСЛОВИЕ

Технический прогресс во всех отраслях народного хозяйства, предусмотренный в решениях XXVI съезда КПСС, неразрывно связан с комплексной механизацией и автоматизацией производства, интенсивным развитием машиностроения и приборостроения, введением новейшей техники. Решение этих задач возможно на основе широкого применения радиоэлектроники, которая позволяет автоматизировать производственные процессы, влияет на повышение производительности труда, эффективность производства и качество продукции. В настоящее время растут потребности машиностроения, транспорта, связи, радиовещания, телевидения, медицины, сферы народного потребления в электронной технике, что расширяет область практического применения радиоэлектроники.

Увеличивается производство самой разнообразной радиоэлектронной аппаратуры, к качественным показателям которой предъявляют все более жесткие требования. Удовлетворение этих требований стало возможным благодаря значительному прогрессу в области микроэлектроники. На основе прогрессивной групповой технологии и применения новых материалов с заданными электрофизическими свойствами в микроэлектронике достигнута высокая степень интеграции микросхем различного назначения. Электронная индустрия в 80-е годы приобретает еще больший размах и значение в экономическом и социальном развитии нашего общества, построении материально-технической базы коммунизма.

Разнообразие и сложность современной электронной техники предъявляют высокие требования к квалификации радиомонтажников, регулировщиков, настройщиков радиоэлектронной аппаратуры и других специалистов, занятых в производстве и эксплуатации радиоэлектронных устройств. Для их успешной работы необходимо понимание принципов действия как отдельных узлов и блоков, так и целых комплексов различных радиотехнических установок, знание критериев оценки их качественных показателей, умение выполнять простейшие расчеты.

Этим задачам служит предлагаемая читателю книга.

§ 1. Проводниковые материалы

Твердыми проводниками электрического тока являются металлы, металлические сплавы и некоторые модификации углерода. Среди металлических проводников различают: материалы, обладающие высокой проводимостью, которые используют для изготовления проводов, кабелей, проводящих соединений в микросхемах, обмоток трансформаторов, волноводов и т. д.; металлы и сплавы, обладающие высоким сопротивлением, которые применяют для изготовления электронагревательных приборов, резисторов, реостатов, ламп накаливания и т. д.

Свойства проводниковых материалов. Основными электрическими параметрами проводниковых материалов являются удельная проводимость (или обратная ей величина — удельное сопротивление) и температурный коэффициент удельного сопротивления. Механические свойства проводников характеризуются пределом прочности при растяжении и относительным удлинением при разрыве. Общеизвестны также физические параметры, как плотность, температура плавления и т. д.

Удельное сопротивление ρ проводника, имеющего постоянное поперечное сечение S и длину l , определяют по формуле $\rho = RS/l$ и выражают в омах на метр (Ом·м). Для измерения удельного сопротивления проводников пользуются внесистемной единицей Ом·мм²/м (S измерено в мм², l — в м); $1 \text{ Ом}\cdot\text{м} = 10^6 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$. Дольная от системной единицы $1 \text{ мкОм}\cdot\text{м} = 1 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$. Будем выражать удельное сопротивление проводников в мкОм·м, при этом сохраняются привычные численные значения ρ .

Температурный коэффициент удельного сопротивления показывает, как изменяется сопротивление, равное 1 Ом, при изменении температуры на один градус. В конце температурного диапазона удельное сопротивление $\rho_T = \rho_0 [1 + \alpha_\rho (T_2 - T_1)]$, где ρ_T и ρ_0 — удельное сопротивление проводника соответственно при температурах T_2 и T_1 ; α_ρ — средний температурный коэффициент удельного сопротивления, К⁻¹, в данном диапазоне температуры $\alpha_\rho = (\rho_T - \rho_0) / \rho_0 (T_2 - T_1)$.

Физические параметры полупроводниковых материалов приведены в табл. 1.

Удельное сопротивление тонких металлических пленок (толщина которых соизмерима с длиной свободного пробега электрона) больше удельного сопротивления исходного металла и зависит от толщины и способа получения пленок. Оценивают проводящие свойства тонких пленок по **удельному поверхностному сопротивлению** (сопротивлению квадрата R_{\square}), равному сопротивлению участка пленки, длина которого равна его ширине при прохождении тока через две его противоположные грани параллельно поверхности подложки $R_{\square} = \rho \delta / \delta$, где $\rho \delta$ — удельное (объемное) сопротивление пленки толщиной δ .

Удельное сопротивление сплавов больше удельного сопротивления исходных компонентов. Увеличение ρ происходит при введении в металл неметаллических примесей, а также при сплавлении

Таблица 1

Металл	Плотность, Мг/м ³	Температура плавления, °С	Удельное сопротивление, мКОМ·м	Температурный коэффициент удельного сопротивления, $\alpha_p \cdot 10^{-3}, \text{K}^{-1}$	Работа выхода, эВ
Алюминий	2,7	660	0,0265	4,1	4,25
Вольфрам	19,3	3400	0,055	5,0	4,54
Железо	7,87	1540	0,097	6,25	4,31
Золото	19,3	1063	0,0225	3,95	4,3
Кобальт	8,85	1500	0,064	6,0	4,41
Медь	8,92	1083	0,0168	4,3	4,4
Молибден	10,2	2620	0,05	4,33	4,3
Никель	8,96	1453	0,068	6,7	4,5
Олово	7,29	232	0,113	4,5	4,38
Платина	21,45	1770	0,098	3,9	5,32
Ртуть	13,5	-39	0,958	0,9	4,52
Свинец	11,34	327	0,190	4,2	4,0
Серебро	10,49	961	0,016	4,1	4,3
Хром	7,19	1900	0,13	2,4	4,58
Цинк	7,14	419	0,059	4,1	4,25

двух металлов, образующих твердый раствор, в котором атомы одного металла входят в кристаллическую решетку другого.

Технические проводниковые материалы подразделяют на материалы высокой проводимости, металлы и сплавы различного назначения, сплавы высокого сопротивления, проводящие модификации углерода и материалы на их основе.

Материалы высокой электрической проводимости. К наиболее распространенным материалам высокой электрической проводимости относят медь и алюминий (см. табл. 1).

Медь обладает малым удельным сопротивлением, высокой механической прочностью, удовлетворительной стойкостью к коррозии, легко паяется, сваривается и хорошо обрабатывается, что позволяет прокатывать ее в листы, ленту и вытягивать в проволоку.

В качестве проводникового материала используется медь марок М1 и М0. В марке М1 содержится 99,9 % чистой меди, а в общем количестве примесей (0,1 %) кислород составляет до 0,08 %. Лучшими механическими свойствами обладает вторая марка, в которой содержится 99,95 % меди, а в составе примесей (0,05 %) имеется до 0,02 % кислорода. Лучшая бескислородная медь содержит 99,97 % чистого вещества, а вакуумная (выплавленная в вакуумных индукционных печах) — 99,99 %. Твердотянутую медь, полученную методом холодной протяжки, используют, когда необходима высокая механическая прочность, а мягкую (отожженную) — когда важна гибкость, например для изготовления монтажных проводов и шнуров. Электровакуумная медь идет на изготовление деталей электронных приборов. Медь используется также для изготовления фольгированного гетинакса, а в микроэлектронике — для получения токопроводящих пленок на подложках, обеспечивающих соединение между функциональными элементами схемы. Наиболее употребительные марки обмоточных проводов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Марка провода	Характеристика изоляции	Диаметр провода, мм
ПЭЛ	Эмалевая лакостойкая	0,02—2,44
ПЭВ-1	Эмалевая с одинарным и двойным винифлексовым покрытием	0,06—2,44
ПЭЛБО	Эмалевая лакостойкая с одним слоем хлопчатобумажной обмотки	0,2—2,1
ПЭЛБД	То же, но с двумя слоями хлопчатобумажной обмотки	0,72—2,1
ПЭЛШО	То же, но 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 капрона	0,05—2,1
ПЭЛШКД	Эмалевая лакостойкая с двумя слоями обмотки из капрона	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

Бронза — сплав меди с небольшим количеством олова, кремния, фосфора, хрома, кадмия или других материалов, обладающий более высокими механическими свойствами, чем медь. Широко применяется для изготовления токопроводящих пружин.

Латунь — сплав меди с цинком и другими добавками, обладающий большим относительным удлинением, что важно при обработке штамповкой и глубокой вытяжке. Применяется для изготовления различных токопроводящих деталей.

Состав и свойства некоторых медных электротехнических сплавов приведены в табл. 3.

Таблица 3

Сплав	Удельная проводимость, % к меди	Предел прочности, МПа	Относительное удлинение при разрыве, %
Кадмиевая бронза (0,9 % Cd)	95	До 310	50
Бронза (0,8 % Cd; 0,6 % Sn)	55—60	290	55
Фосфористая бронза (7 % Sn; 0,1 % P)	50—55	До 730	4
Латунь (70 % Cu; 30 % Zn)	10—15	До 400	60
	25	320—350	70

Алюминий приблизительно в 3,5 раза легче меди. Для электротехнических целей используют алюминий технической чистоты АЕ, содержащий до 0,5 % примесей. Проволока, изготовленная из алюминия АЕ и отожженная при температуре 350 °С, обладает удельным сопротивлением 0,028 мкОм·м. Алюминий высокой чистоты А97 (примесей до 0,03 %) используется для изготовления тонкой (до 6 мкм) фольги, электродов и корпусов электролитических конденсаторов.

Альдрей — сплав алюминия с магнием (0,3—0,5 %), кремнием (0,4—0,7 %) и железом (0,2—0,3 %). Сохраняет легкость чистого алюминия (плотность 2,7 Мг/м³), обладает близким к нему удельным сопротивлением (0,0317 мкОм·м) и высокой (близкой к твердотянутой меди) механической прочностью.

Металлы и сплавы различного назначения. Ниже рассматриваются металлы и сплавы, применяющиеся в электротехнике и радиоэлектронике. Исходя из температуры плавления, общности характеристик и области применения, различают тугоплавкие и благородные металлы, металлы со средней и низкой температурой плавления, припой и флюсы.

Тугоплавкие металлы обладают температурой плавления выше 1700 °С, химически устойчивы при низких и активны при высоких температурах, поэтому при повышенных температурах эксплуатируются в вакууме или атмосфере инертных газов.

Тугоплавкими являются такие металлы, как вольфрам, молибден, тантал, ниобий, хром, ванадий, титан, цирконий. Основные физические свойства некоторых из них были приведены в табл. 1. Тугоплавкие металлы используются для изготовления нитей ламп накаливания, электродов электронных ламп, пленочных резисторов в микросхемах, контактов, обладающих высокой устойчивостью к эрозии (электроэрозии) и образованию электрической дуги.

Помимо чистых тугоплавких металлов в электровакуумной технике для арматуры приборов применяют сплавы W+Mo, Mo+Re, Ta+Nb, Ta+W и др., обладающие требуемыми пластичностью, электрическими и термическими свойствами.

К *благородным металлам* относят наиболее химически стойкие металлы (золото, серебро, платину).

Золото обладает высокой пластичностью (предел прочности при растяжении 150 МПа, относительное удлинение при разрыве около 40 %) и используется в электронной технике для нанесения коррозионно-устойчивых покрытий на резонаторы СВЧ, внутренние поверхности волноводов, электроды ламп и др. Основные параметры золота были приведены в табл. 1.

Серебро — стойкий против окисления металл (при нормальной температуре), обладающий наименьшим удельным сопротивлением (см. табл. 1). Используется для изготовления электродов и контактов на небольшие токи, для непосредственного нанесения на диэлектрики, внутренние поверхности волноводов, а также в производстве керамических и слюдяных конденсаторов.

Платина — очень стойкий к химическим реагентам металл, хорошо поддается механической обработке, пластичен. Основные параметры платины были приведены в табл. 1. Применяется для изготовления термопар, подвесок, подвижных систем электрометров и контактных сплавов.

Металлы со средним значением температуры плавления (железо, никель, кобальт), обладающие повышенным температурным

коэффициентом удельного сопротивления (в 1,5 раза выше меди), ферромагнитны.

Железо (сталь) — наиболее дешевый металл, обладающий высокой механической прочностью и относительно высоким (по сравнению с медью) удельным сопротивлением (около 0,1 мкОм·м). Удельное сопротивление стали, содержащей примеси углерода и других элементов, возрастает (рис. 1).

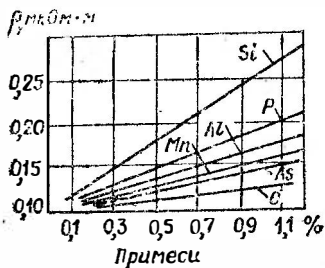


Рис. 1. График зависимости удельного сопротивления от содержания примесей

В качестве проводникового материала используется мягкая сталь, содержащая 0,1—0,15 % углерода, имеющая предел прочности при растяжении 700—750 МПа, относительное удлинение при разрыве 5—8 % и удельную проводимость в 6—7 раз меньшую, чем меди. Основные параметры железа были приведены в табл. 1. Железо используют для изготовления корпусов электронных приборов, работающих при температуре до 500 °С, при которой газовыделение невелико. Из алюминированного железа (покрытого тонкой пленкой алюминия) изготавливают аноды, экраны и другие детали электронных ламп.

Никель обладает плотностью, равной плотности меди, легко поддается механической обработке, устойчив к окислению. Основные свойства никеля были приведены в табл. 1. Применяется для изготовления арматуры электронных ламп, нагревательных элементов, в качестве компонента магнитных и проводниковых сплавов и защитных покрытий изделий из железа.

Сплавы для электровакуумных приборов созданы на основе металлов со средними значениями температуры плавления. Обладают такими температурными коэффициентами линейного расширения α_l , при которых возможно сопряжение стекла с металлическими конструкциями электронных приборов.

Инвар Н-36 — сплав железа с 36 % никеля, обладает очень малым $\alpha_l \approx 10^{-6} \text{K}^{-1}$ в диапазоне температуры от -100 до $+100$ °С.

Платинит Н-47 — сплав железа с 47 % никеля. Имеет α_l , близкий к α_l платины и стекла.

Ковар — сплав железа с 29 % никеля и 17 % кобальта, обладает малым $\alpha_l \approx 4,8 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ и примерно в 2 раза меньшим, чем инвар, удельным сопротивлением. Температура плавления 1450 °С.

Рассмотренные сплавы применяются для изготовления тоководов электронных ламп, проходящих через стеклянные элементы.

Металлы с низкой (менее 500 °С) температурой плавления. Свинец — мягкий, пластичный металл, обладающий невысокой прочностью (предел прочности при растяжении 16 МПа, относительное удлинение при разрыве 55 %), не стоек к вибрации; устойчив

к действию воды, серной и соляной кислот и других реагентов; подвержен действию азотной и уксусной кислот, извести и гниющих органических веществ. Основные свойства свинца были приведены в табл. 1. Свинец и его сплавы используют для изготовления защитных (от влаги) оболочек кабелей, плавких вставок предохранителей, пластин кислотных аккумуляторов и в качестве материала, поглощающего рентгеновское излучение. Свинец и его соединения ядовиты.

О л о в о — мягкий, тягучий металл, не подвержен влиянию влаги, не окисляется на воздухе, разведенные кислоты действуют на него очень медленно. Основные свойства олова были приведены в табл. 1. Применяется в качестве защитных покрытий металлов (лужение), с примесью 15 % свинца и 1 % сурьмы — для получения оловянной фольги в производстве конденсаторов, входит в состав бронз и сплавов для пайки.

Р т у т ь — жидкий, химически стойкий металл, слабо взаимодействует с водородом и азотом. Платина, серебро, золото, щелочные и щелочноземельные металлы, цинк, олово и алюминий растворяются в ртути, образуя амальгамы. Нерастворимы в ртути вольфрам, железо, тантал; слабо растворимы медь и никель. Ртуть и ее соединения очень ядовиты. Основные свойства ртути были приведены в табл. 1. Ртуть применяется в качестве жидкого катода в ртутных выпрямителях, газоразрядных приборах, лампах дневного света и др.

Припои представляют собой специальные сплавы, используемые при пайке. Обычно припой имеет более низкую температуру плавления, чем соединяемые металлы. Различают мягкие и твердые припои с температурой плавления $T_{пл}$ соответственно до 300 и более 300 °С.

Мягкими припоями являются оловянно-свинцовые сплавы (ПОС) с содержанием олова от 10 (ПОС 10) до 90 % (ПОС 90), остальное — свинец. Некоторые оловянно-свинцовые припои содержат небольшой процент сурьмы (например, ПОС 61-05). Твердыми яв-

Таблица 4

Припой	Марка и состав	Температура плавления, °С	Удельное сопротивление, мкОм·м	Удельная теплопроводность, Вт/(м·К)	Предел прочности при растяжении, МПа
Оловянно-свинцовый	ПОС 61 (61 % Sn; 39 % Pb)	183—190	0,14	50	43
	ПОС 40 (40 % Sn; 60 % Pb)	183—238	0,16	42	38
Оловянно-свинцово-кадмиевый	ПОСК 50-18 (50 % Sn; 18 % Cd; 32 % Pb)	142—145	0,13	54	40
Оловянно-свинцово-сурьмянистый	ПОССу 40-2 (40 % Sn; 2 % Sb; 58 % Pb)	185—299	0,17	42	43

ляются медно-цинковые (ПМЦ) и серебряные (ПСр) припой с различными легирующими добавками. Свойства некоторых марок мягких припоев приведены в табл. 4.

Флюсы, используемые для получения надежной пайки, должны растворять и удалять окислы и загрязнения с поверхности спаиваемых металлов и защищать их от окисления. Бескислотными флюсами являются канифоль, а также флюсы на ее основе с добавлением неактивных веществ (спирта, глицерина). Кислотные (активные) флюсы приготавливают на основе соляной кислоты, хлористых и фтористых металлов, активно растворяющих оксидные пленки на поверхности металлов, благодаря чему обеспечиваются хорошая адгезия и высокая механическая прочность соединения. Пайка электроприборов с использованием активных флюсов не допускается.

Сплавы высокого сопротивления. Сплавы с высоким удельным сопротивлением применяются для изготовления образцовых резисторов, реостатов, электроплиток, паяльников, электроизмерительных и электронагревательных приборов и должны длительно выдерживать температуры около 1000 °С. Наибольшее распространение получили сплавы на медной основе (манганин, константан), хромо-никелевые и железохромоалюминиевые, основные свойства которых приведены в табл. 5.

Таблица 5

Сплав	Плотность, Мг/м ³	Удельное сопротивление, мкОм·м	Температурный коэффициент сопротивления α , 1/°С	Рабочая температура, °С	Предел прочности при растяжении, МПа	Относительное удлинение при разрыве, %
Манганин	8,4	0,42—0,48	5—30	100—200	450—600	15—30
Константан	8,9	0,48—0,52	—(5—25)	450—500	400—500	20—40
Нихром Х15Н60	8,2	1—1,2	100—200	1000	650—700	25—30
Фехраль и хромаль:						
Х13Ю4	7,1—7,5	1,2—1,35	100—200	900	700	20
Х23Ю5	6,9—7,3	1,3—1,5	65	1200	800	10—15

Манганин — сплав на медной основе (86 % Cu, 12 % Mn, 2 % Ni) используется для изготовления образцовых резисторов и электроизмерительных приборов. Хорошо вытягивается в проволоку диаметром до 0,02 мм или прокатывается в ленту толщиной 0,01—1 мм и шириной 10—300 мм.

Константан — сплав меди (60 %) и никеля (40 %). Хорошо поддается обработке (протягивается в проволоку и прокатывается в ленту тех же размеров, что и манганин). Электронагревательные элементы из константана допускают работу при температуре до 450° С. При нагреве проволока покрывается оксидной пленкой, обладающей электроизоляционными свойствами. В паре с медью или железом константан дает большую термо-ЭДС, что затрудняет использование резисторов из него в измерительных схемах, и поэтому позволяет изготовление термпары для измерения температуры до нескольких сотен градусов.

Нихром — сплав никеля (55—80 %), хрома (15—20 %), марганца (1,5 %). Термоустойчив на воздухе. Срок службы нихромовых нагревательных элементов возрастает, если их поместить в твердую инертную среду, затрудняющую доступ кислорода (например, в глину — шамот). Нанесенные на подложки пленки нихрома обеспечивают сопротивление квадрата $R_{\square} = 50 \div 300$ Ом и мощность рассеивания $P_{\text{доп}} = 1$ Вт/см² и применяются в качестве резисторов в микросхемах.

Железохромоникелевые сплавы (фехраль, хромаль) по сравнению с нихромом обладают большей твердостью и хрупкостью, с трудом вытягиваются в проволоку и ленту, имеют меньшую стоимость и используются в мощных электронагревательных устройствах.

Резистивный сплав РС-37-10 содержит 36,5 % Cr, 8—11 % Ni, остальное — кремний, а РС-30-01 — 32 % Cr, 0,7—1,8 % Fe, остальное — кремний. Эти сплавы соответственно применяют для изготовления тонкопленочных и прецизионных тонкопленочных резисторов.

Многокомпонентные резистивные сплавы МЛТ для тонкопленочных резисторов, содержащие Si, Fe, Cr, Ni, Al, W, устойчивы к окислению и воздействию химически активных сред. Основные свойства резистивных сплавов приведены в табл. 6.

Таблица 6

Сплав	Плотность, Мг/см ³	Температура плавления, °С	Удельное сопротивление, мкОм·м	Температурный коэффициент сопротивления $\alpha_{\rho} \cdot 10^{-4}$, К ⁻¹	Сопротивление квадрата пленки, Ом	Толщина пленки, нм
РС-37-10	4,5—5	1250	5—7	15—25	50—2000	15—300
РС-30-01	3,7—4	1350	25—35	5—15	800—3000	20—100
МЛТ	—	—	100—300	От — 2,5 до + 4	100—20 000	—

Двухкомпонентные материалы для тонкопленочных резисторов интегральных схем (дислициды молибдена и хрома и сплавы кремния и хрома) имеют следующие параметры:

	MoSi ₂	CrSi ₂	Si57Cr43	Si73Cr27
R_{\square} , Ом	200	1300	2000	20 000
$\alpha_{\rho} \cdot 10^{-4}$, К ⁻¹	—1,25	+2	—1,5	—14

Сплавы — копель (56 % Cu, 44 % Ni); алюмель (95 % Ni, остальное Al, Si, Mg), хромель (90 % Ni, 10 % Cr), платинородий (90 % Pt, 10 % Rh) — используют для изготовления термопар. Для измерения температуры до 1600 °С применяются платинородий-платиновые термопары, до 900—1000 °С — хромель-алюмелевые, до

600 °С — железо-копелевые, хромель-копелевые и железо-константановые, а до 350 °С — медь-константановые и медь-копелевые.

Проводящие модификации углерода. Природный графит, пиролитический углерод и углеродистые пленки применяют в качестве проводящих материалов при изготовлении непроволочных линейных резисторов, микрофонов и различных деталей разрядников телефонных сетей, электровакуумных приборов и др.

Природный графит — модификация чистого углерода. Мелкодисперсной разнovidностью углерода является сажа. Пиролитический углерод получают термическим разложением без доступа кислорода (пиролиз) газообразных углеводородов (метана, бензина) в камере.

Боруглеродистые пленки с малым коэффициентом удельного сопротивления (порядка 10 мкОм·м) и температурным коэффициентом $-1 \cdot 10^{-4} \text{K}^{-1}$ получают пиролизом борорганических соединений, например $(\text{C}_3\text{H}_7)_3\text{B}$ и др. Основные параметры графита и пиролитического углерода приведены в табл. 7.

Таблица 7

Параметры	Поликристаллический графит	Монокристалл графита		Пиролитический углерод
		вдоль	поперек	
		базисных плоскостей		
Плотность, Мг/м ³	2,3	2,2		2,1
Температурный коэффициент линейного расширения $\alpha_l \cdot 10^6, \text{K}^{-1}$	7,5	6,6	26	6,5—7
Удельное сопротивление, мкОм·м	8	0,4	100	10—50
Температурный коэффициент удельного сопротивления, K^{-1}	$-1 \cdot 10^{-3}$	$+9 \cdot 10^{-4}$	$-4 \cdot 10^{-2}$	$-2 \cdot 10^{-4}$

§ 2. Полупроводниковые материалы

Полупроводниковыми материалами являются твердые кристаллические вещества с электронной проводимостью, которые по удельному электрическому сопротивлению при нормальной температуре занимают промежуточное положение между проводниками (металлами) и диэлектриками (изоляторами) (табл. 8).

Таблица 8

Материал	Удельное электрическое сопротивление, Ом·м	Температурный коэффициент сопротивления α_p	Проводимость
Проводники Полупроводники Диэлектрики	$10^{-8}—10^{-5}$ $10^{-6}—10^{+8}$ $10^{+7}—10^{+17}$	Положительный Отрицательный »	Электронная » Ионная и электронная

Электропроводность полупроводников в значительной степени зависит от внешних энергетических воздействий, а также от присутствия различных примесей в структуре полупроводника.

Полупроводниковые материалы подразделяют на простые полупроводники, полупроводниковые химические соединения и многофазные полупроводниковые материалы. К простым полупроводникам относят германий, кремний, селен и другие элементы, основные параметры которых приведены в табл. 9.

Таблица 9

Параметры	Германий	Кремний	Селен
Плотность при 20 °С, Мг/м ³	5,3	2,3	4,8
Удельное сопротивление при 20 °С, Ом·м	0,68	2·10 ³	—
Работа выхода электронов, эВ	4,8	4,3	2,85
Объемная плотность (концентрация) носителей, м ⁻³	2,5·10 ¹⁹	10 ¹⁶	—
Подвижность электронов, м ² /(В·с)	0,39	0,14	—
Подвижность дырок, м ² /(В·с)	0,19	0,05	0,2·10 ⁻⁴
Первый ионизационный потенциал, В	8,1	8,14	9,75
Диэлектрическая проницаемость	16	12,5	6,3
Постоянная решетки, нм	0,566	0,542	0,436
Температура плавления, °С	936	1414	220
Теплота плавления, Дж/кг	4,1·10 ⁵	1,6·10 ⁶	6,4·10 ⁴
Температурный коэффициент линейного расширения (0—100 °С) α _l ·10 ⁻⁶ , К ⁻¹	6	4,2	2,5
Удельная теплопроводность, Вт/(м·К)	55	80	3
Удельная теплоемкость (0—100 °С), Дж/(кг·К)	333	710	330

Полупроводниковые химические соединения, соответствующие общим формулам, составлены из элементов различных групп таблицы Д. И. Менделеева, например: А^{IV}В^{IV}—SiC; А^{III}В^V—GaAs; InSb; А^{IV}В^{VI}—CdS; SnSe), а также из некоторых оксидов (например, Si₂O) и веществ сложного состава.

Многофазными полупроводниковыми являются материалы с полупроводящей или проводящей фазой из карбида кремния, графита и других элементов, сцепленных керамической или ионной связкой.

В пределах одного полупроводникового изделия создаются области электронной *n* (от лат. negative — отрицательный) и дырочной *p* (от лат. positive — положительный) проводимостей. На границе раздела *p*- и *n*-областей возникает запирающий слой, который обу-

словливает выпрямительный эффект для переменного тока. Это свойство электронно-дырочного перехода (*p-n*-перехода) лежит в основе работы выпрямительных диодов. Создавая в структуре полупроводника два и более взаимно связанных *p-n*-перехода, можно получить более сложные управляемые полупроводниковые приборы — транзисторы, используемые для усиления, генерирования и преобразования электрических сигналов.

Электронно-дырочный полупроводников можно управлять с помощью тепла, света, электрического поля или механических усилий, на чем основана соответственно работа терморезисторов, фоторезисторов, варисторов, тензорезисторов.

Полупроводниковые системы лежат в основе интегральных микросхем (ИМС — микроэлектронных устройств), в которых активные (диоды, транзисторы) и пассивные (резисторы, конденсаторы) элементы, а также межэлементные соединения создаются в едином технологическом процессе с использованием групповых методов изготовления элементов и соединяющих проводников. Элементы ИМС не имеют внешних выводов корпуса и не могут рассматриваться как отдельные изделия. Плотность монтажа элементов в ИМС может достигать сотен — тысяч в 1 см^2 .

Благодаря применению ИМС в радиоэлектронной аппаратуре снижается количество соединений, а аппаратура становится более компактной и экономичной, повышается ее надежность и улучшаются рабочие характеристики.

§ 3. Магнитные материалы

Основные сведения. Магнитные свойства веществ зависят от внутренней скрытой формы движения электрических зарядов, представляющих собой элементарные круговые токи, обладающие магнитными моментами. Такими токами являются электронные спины и орбитальное вращение электронов в атомах.

Магнитные свойства материалов характеризуются магнитной проницаемостью. Для магнетиков она зависит от напряженности внешнего магнитного поля. Обычно магнитную проницаемость веществ сравнивают с магнитной проницаемостью вакуума. Относительная магнитная проницаемость представляет собой отношение индукции к соответствующей напряженности магнитного поля и магнитной постоянной вакуума ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$): $\mu = B/(H\mu_0)$, где B — индукция, Тл; H — напряженность магнитного поля, А/м.

Если производить намагничивание образца ферромагнетика во внешнем магнитном поле, а затем уменьшать напряженность поля, то индукция будет уменьшаться медленнее из-за гистерезиса (отставания). При создании поля противоположного направления образец может быть размагничен или перемагничен. При повторном изменении направления поля индукция может вернуться к исходному значению. В результате будет описана кривая, представляющая собой петлю гистерезисного цикла перемагничивания (рис. 2). Значение B при $H=0$ в процессе размагничивания образца, намагниченного до насыщения B_s , называют остаточной индукцией B_r (на рис. 2 она равна отрезку OM или OM'). Для того чтобы уменьшить индукцию от значения B_r до нуля, необходимо приложить обратно направленную напряженность поля H_c (равную отрезкам ON^1 или ON), называемую *коэрцитивной* (задерживающей) *силой*.

Материалы с малой коэрцитивной силой и большой магнитной проницаемостью называют магнитно-мягкими. Они обычно обладают узкой петлей гистерезиса (рис. 2, а). Материалы с большой коэрцитивной силой и малой магнитной проницаемостью относят к магнитно-твердым. Они обладают широкой петлей гистерезиса (рис. 2, б).

При перемагничивании ферромагнетиков в переменных магнитных полях возникают потери энергии, приводящие к их нагреву, что

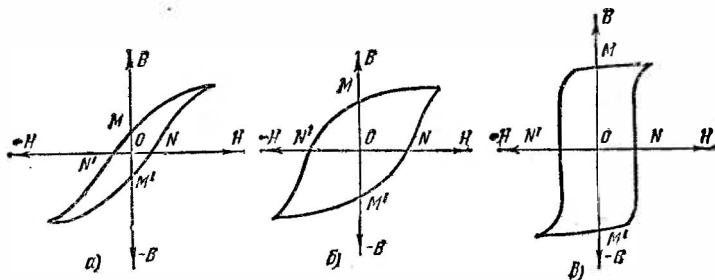


Рис. 2. Гистерезисные кривые:

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

обусловлено потерями на гистерезис и динамическими. Потери энергии на гистерезис могут быть определены по площади его статической петли. Динамические потери вызываются вихревыми токами, индуцированными в массе магнитного материала, и магнитным последствием или магнитной вязкостью. Чем больше удельное электрическое сопротивление ферромагнетика, тем меньше потери на вихревые токи.

Особую группу составляют ферримангнетики — сложные оксидные материалы специализированного назначения, называемые *ферритами*, которые отличаются от ферромагнетиков меньшей индукцией насыщения, почти прямоугольной петлей гистерезиса (рис. 2, в), более сложной температурной зависимостью индукции и более высоким удельным сопротивлением.

Магнитные материалы классифицируют по назначению. Магнитно-мягкие материалы разделяют на низко- и высокочастотные с повышенным удельным сопротивлением, а магнитно-твердые — на материалы для постоянных магнитов и записи звука. Кроме того, применяют материалы специализированного назначения.

Магнитно-мягкие низкочастотные материалы. Их применяют для изготовления магнитопроводов трансформаторов, электромагнитов, электрических машин, измерительных приборов, в которых при минимальных затратах энергии необходимо получить наибольшую индукцию. В группу магнитно-мягких низкочастотных материалов входит особо чистое электролитическое железо, получаемое путем электролиза, и карбонильное железо, изготовляемое термическим разложением пентакарбонила $[\text{Fe}(\text{CO})_5 \rightarrow \text{Fe} + 5\text{CO}]$. Эти материалы содержат весьма малое (менее 0,05%) количество примесей.

Технически чистое железо (армко-железо) обычно содержит небольшое (до 0,1 %) количество примесей углерода, серы, марганца, кремния и других элементов, ухудшающих его магнитные свойства. Оно обладает относительно малым удельным сопротивлением и используется для изготовления магнитопроводов постоянного магнитного потока.

Разновидностью технически чистого железа является низкоуглеродистая электротехническая листовая

Таблица 10

Материал	Коэрцитивная сила, Л/м	Максимальная магнитная проницаемость	Содержание примесей, %	
			углерод	кислород
Электролитическое железо	28	15 000	0,02	0,01
Карбонильное железо	6,4	21 000	0,005	0,005
Технически чистое железо	64	7 000	0,02	0,06
Низкоуглеродистая электротехническая сталь	64	4 500	0,04	—

сталь, выпускаемая толщиной листа от 0,2 до 4 мм и содержащая до 0,04 % углерода и 0,6 % других примесей. Магнитные свойства и содержание примесей железа и низкоуглеродистой стали приведены в табл. 10.

Кремнистая электротехническая тонколистовая сталь обладает повышенными удельным сопротивлением (за счет введения в нее кремния) и магнитной проницаемостью, меньшими коэрцитивной силой и потерями на гистерезис. Сталь, содержащая свыше 5 % кремния, становится очень хрупкой. Плотность и удельное электрическое сопротивление электротехнической стали зависят от степени ее легирования кремнием (табл. 11). Толщина вы-

Таблица 11

Степень легирования стали кремнием	Вторая цифра марки	Удельное сопротивление, мкОм·м	Плотность, Мг/м ³	Степень легирования стали кремнием	Вторая цифра марки	Удельное сопротивление, мкОм·м	Плотность, Мг/м ³
Нелегированная	0	0,14	7,85	Среднелегированная	3	0,4	7,75
	1	0,17	7,82				
Слабелегированная	2	0,25	7,8	Повышеннолегированная	4	0,5	7,65
					5	0,6	7,55

пускаемых листов стали составляет 0,1—1 мм. Путем специализированной прокатки и особой термообработки получают текстурованную сталь с лучшими магнитными свойствами, что позволяет при использовании ее в сетевых трансформаторах и радиотрансформаторах уменьшать на 20—40 % их массу и габаритные размеры. Зависимость магнитной индукции от напряженности магнитного поля для стали 1521 толщиной 0,35 мм показана на рис. 3.

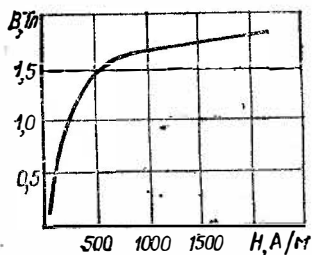


Рис. 3. График зависимости магнитной индукции от напряженности магнитного поля электротехнической стали

Электротехническую сталь маркируют четырьмя цифрами (например, 2013). Первые три цифры означают тип (марку) стали, а четвертая — его порядковый номер. Первая цифра марки указывает класс по структурному состоянию и виду прокатки (1 — горячекатаная, 2 — холоднокатаная изотропная, 3 — холоднокатаная анизотропная); вторая цифра — степень легирования кремнием (0 — с содержанием Si до 0,4 %; 1 — от 0,4 до 0,8 %; 2 — от 0,8 до 1,8 %; 3 — от 1,8 до 2,8 %; 4 — от 2,8 до 3,8 %; 5 — от 3,8 до 4,8 %), третья — группу, устанавливаемую по основной нормируемой характеристике (0 — удельные потери при магнитной индукции 1,7 Тл и частоте 50 Гц $P_{1,7/50}$, 1 — при 1,5 Тл и 50 Гц $P_{1,5/50}$, 2 — при 1 Тл и 400 Гц $P_{1/400}$, 6 — магнитная индукция в слабых магнитных полях при напряженности поля 0,4 А/м — $B_{0,4}$, 7 — магнитная индукция в средних магнитных полях при 10 А/м — B_{10}). Предельные значения потерь и индукции для стали класса 3 приведены в табл. 12.

Таблица 12

Марка	Толщина, мм	Удельные потери, Вт/кг			Магнитная индукция, Тл, при напряженности магнитного поля, А/м		
		$P_{1/50}$	$P_{1,5/50}$	$P_{1,7/50}$	100	250	2500
3411	0,50	1,10	2,45	3,20	—	—	1,75
	0,35	0,80	1,75	2,50	—	—	1,75
3414	0,50	0,70	1,50	2,20	1,6	1,7	1,88
	0,35	0,50	1,10	1,60	1,6	1,7	1,88
3415	0,50	0,46	1,03	1,5	1,61	1,71	1,90
	0,35	—	—	—	—	—	—

Низкокоэрцитивные сплавы включают пермаллой и альсиферы. *Пермаллой* — железоникелевый сплав, обладающий большой магнитной проницаемостью и очень малой коэрцитивной силой. Высоконикелевые сплавы содержат 72—83 % Ni, а низконикеле-

вые — 40—50 %. Для улучшения свойств пермаллоев (кроме никеля Ni) в них вводят легирующие добавки: кобальт (буква К в условном обозначении), марганец (М), хром (Х), кремний (С) и др.

Альсиферы — тройные сплавы железа (85 %) с кремнием (9,5 %) и алюминием (5,5 %), отличаются твердостью и хрупкостью. Параметры пермаллоев и альсифера приведены в табл. 13. Пермал-

Таблица 13

Группа	Марка	Магнитная проницаемость		Коэффициентная сила, А/м	Индукция в режиме насыщения, Тл	Удельное сопротивление, мкОм·м
		начальная	максимальная			
Нелегированные низконикелевые	45Н, 50Н	1700— 3000	16 000— 35 000	32— 10	1,5	0,45
Легированные низконикелевые	50 НХС	1500— 3200	15 000— 30 000	20—8	1,0	0,9
Легированные высоконикелевые	79 НМ, 80 НХС	16 000— 35 000	50 000— 220 000	5,2— 1	0,65	0,55
Супермаллой (79 % Ni, 5 % Mo, 15 % Fe, 0,5 % Mn)	—	100 000	До 1 500 000 (при $B =$ $= 0,3$ Тл)	0,3	0,8	0,6
Альсифер	—	35 400— 117 000	—	1,8	—	0,8

лой применяют для изготовления сердечников малогабаритных трансформаторов, дросселей, реле, а альсиферы — высокочастотных пресованных сердечников.

Магнитно-мягкие высокочастотные материалы. Эти материалы по частотному диапазону предназначаются для низких, высоких и сверхвысоких частот, а по физической природе и строению их делят на магнитодиэлектрики и ферриты.

Магнитодиэлектрики получают прессованием порошкообразного ферромагнетика (карбонильного железа, альсифера) с изолирующей связкой (полистирол, стекло и др.). Прессованные сердечники из магнитодиэлектрика применяют в индуктивных катушках генераторов, контуров радиоприемников и т. д. Введение сердечника в катушку увеличивает ее индуктивность L , повышает добротность $Q = \omega L/r$, где ω — угловая частота; r — активное сопротивление катушки. Сердечники на основе карбонильного железа имеют высокую стабильность, малые потери, положительный температурный коэффициент магнитной проницаемости и могут работать в широком диапазоне частот.

Ферриты являются двойными оксидами железа и других металлов (например, $ZnO \cdot Fe_2O_3$, $CdO \cdot Fe_2O_3$) и представляют собой

твердые растворы нескольких простейших соединений. Иногда их называют оксиферами. Они обладают высоким удельным сопротивлением (а следовательно, малыми потерями энергии в области высоких частот) и высокой магнитной проницаемостью, благодаря чему широко применяются в радиоэлектронике. Ферриты твердые и хрупкие, поэтому их обработку можно производить только шлифованием.

Различают магнитно-мягкие низко- и высокочастотные, сверхвысокочастотные, с прямоугольной петлей гистерезиса и магнитно-твердые ферриты.

Магнитно-мягкие ферриты применяют при изготовлении контурных катушек, магнитных экранов, сердечников импульсных трансформаторов и т. д.

Они имеют относительно большую диэлектрическую проницаемость. С ростом частоты проницаемость снижается, а тангенс угла потерь возрастает. Параметры некоторых ферритов приведены в табл. 14.

Таблица 14

Марка	Магнитная проницаемость		Коэффициент индукции, А/м	Остаточная индукция, Тл	Граничная частота, МГц	Удельное объемное сопротивление, Ом·м	Плотность, Мг/м ³
	начальная	максимальная					
20 000 НМ	15 000	35 000	0,24	0,11	0,1	0,001	—
6000 НМ	4800—8000	10 000	8	0,11	0,5	0,1	5
1000 НМ	800—1200	1 800	28	0,11	5	0,5	4,5
1000 НН	800—1200	3 000	24	0,1	3	10	4,9
600 НН	500—800	1 500	40	0,12	5	100	4,8
2000 НМ1	1700—2500	3 500	25	0,12	1,5	5	5
700 НМ1	550—850	1 800	25	0,05	8	4	4,8
100 ВЧ	80—120	280	300	0,15	80	10 ⁶	4,8
20 ВЧ2	16—24	45	1000	0,1	300	10 ⁶	4,7
9 ВЧ	9—13	30	1500	0,06	600	10 ⁷	4,4
Ферриты СВЧ	6—85	12—300	30—800	0,1—0,5*	—	10 ⁸	—
						—10 ¹¹	—

* Индукция насыщения.

В обозначении магнитно-мягких ферритов на первом месте стоят цифры (перед буквами), указывающие значение начальной магнитной проницаемости, затем буквы, определяющие верхнюю границу частотного диапазона, при которой начинается быстрый рост потерь. У низкочастотных ферритов Н граничная частота от 0,1 до 50 МГц, у высокочастотных ВЧ—50—600 МГц. Последующие буквы обозначают материал (М—марганец-цинковый, Н—никель-цинковый и т. п.). Цифры, введенные в обозначение высокочастотных ферритов после букв, указывают на разновидность материалов.

Сверхвысокочастотные ферриты применяют для коммутации энергии с помощью внешнего поля по разным направлениям за счет

поворота плоскости поляризации ВЧ-колебаний в намагниченном феррите (магнитооптический эффект Фарадея) и для поглощения отраженных волн в волноводах в процессе их взаимодействия с вращающимися электронами феррита (ферромагнитный резонанс), а также для других целей.

СВЧ-ферриты должны обладать высоким удельным объемным сопротивлением (порядка 10^7 Ом·м), малыми диэлектрическими, а также магнитными потерями вне области резонанса, обеспечивающими незначительное затухание сигнала в феррите, высокой чувствительностью материала к управляющему полю и температурной стабильностью свойств. Обобщенные параметры СВЧ-ферритов приведены в табл. 15.

Материалы специализированного назначения. Ферриты с прямоугольной петлей гистерезиса ППГ (см. рис. 2,в) используют в счетно-вычислительной технике для хранения дискретной информации. Основным параметром материалов с ППГ является коэффициент прямоугольности петли гистерезиса $K_{п}$ — отношение остаточной индукции к максимальной (измеренной при $H_{\text{макс}} = 5 H_c$): $K_{п} = B_r / B_{\text{макс}}$. Для получения быстрого перемагничивания сердечники должны иметь небольшой коэффициент переключения S_q , равный количеству электричества, которое необходимо для его перемагничивания из одного состояния остаточной индукции в противоположное.

Следует учитывать температурную нестабильность свойств ферритов. С повышением температуры от -20 до $+60$ °С наблюдается снижение (в 1,5—2 раза) коэрцитивной силы, остаточной индукции (на 15—20 %) и коэффициента прямоугольности (на 5—30 %). Большую термостабильность параметров и лучшие магнитные свойства имеют ленточные микронные сердечники из пермаллоев.

Сравнительные параметры ферритов с ППГ и микронных сердечников из пермаллоев приведены в табл. 15.

Таблица 15

Материал	Коэрцитивная сила, А/м	Остаточная индукция, Тл	Коэффициенты	
			прямоугольности	переключения мк Кл/м
Ферриты различных марок	10—1200	0,15—0,25	0,9	110—630
Микронные сердечники из пермаллоев (толщина ленты 2—10 мкм)	8—50	0,6—1,5	0,85—0,9	25—100

К магнитострикционным материалам относят никель, алферпермаллой, ряд ферритов, некоторые редкоземельные металлы, их сплавы и соединения. При намагничивании ферромагнитных монокристаллов изменяются их линейные размеры (магнитострикция). Магнитострикционная деформация материалов может быть как положительной так и отрицательной. Явление магнитострикции используется в генераторах звуковых и ультразвуковых колебаний, дефектоскопах и других устройствах.

Магнитно-твердые материалы. Они характеризуются высокой коэрцитивной силой, большой площадью петли гистерезиса (см. рис. 2, б) и остаточной индукцией. Кроме этого важной характеристикой материалов для постоянных магнитов является максимальная энергия, отдаваемая магнитом во внешнее пространство. Удельная магнитная энергия, заключенная в воздушном зазоре между полюсами магнита, $\mathcal{E}_d = B_d H_d / 2$, где H_d — напряженность поля, соответствующая индукции B_d при размагничивании.

По способу получения и составу различают легированные мартенситные стали, литые высококоэрцитивные сплавы, магниты из порошков, магнитно-твердые ферриты, ленты (металлические и неметаллические) для записи звука.

Легированные мартенситные стали являются наиболее простыми и дешевыми материалами для постоянных магнитов. Стали легируются добавками вольфрама, молибдена, хрома. Свойства мартенситных сталей для постоянных магнитов и их состав приведены в табл. 16.

Таблица 16

Марка	Химический состав					Магнитные свойства	
	С	Cr	W	Co	Mo	Остаточная индукция, Тл	Коэрцитивная сила, кА/м
EX	0,95— 1,1	1,3— 1,6	—	—	—	0,9	4,6
EX3	0,9— 1,1	2,8— 3,6	—	—	—	0,95	4,8
E7B6	0,68— 0,78	0,3— 0,5	5,2— 6,2	—	—	1	5
EX5K5	0,9— 1,05	5,5— 6,5	—	5,5— 6,5	—	0,85	8
EX9K15M	0,9— 1,05	8—10	—	13,5— 16,5	1,2— 1,7	0,8	13,6

Литые высококоэрцитивные сплавы представляют собой тройные сплавы Al—Ni—Fe (раньше называли сплавами альни), обладающие большой магнитной энергией. Для улучшения магнитных свойств и механических характеристик в сплав альни вводят добавки кремния (сплав альнисп) или кобальта (сплав альнико, при содержании кобальта 24% — магнико). В настоящее время эти сплавы имеют буквенно-цифровую маркировку.

В марках сплавов приняты следующие обозначения: Ю — алюминий, Н — никель, Д — медь, К — кобальт, Т — титан, Б — ниобий, С — кремний, А — столбчатая, АА — монокристаллическая структура. Если за буквой следуют цифры, они указывают на содержание металла.

Магнитные свойства сплавов определяются не только их составом, но и видом обработки. Основные свойства магнитно-твердых сплавов приведены в табл. 17.

Таблица 17

Марка	Удельная магнитная энергия, кДж/м ³	Коэрцитивная сила, кА/м	Остаточная индукция, Тл
ЮНД4	3,6	40	0,50
ЮНДК15	6,0	48	0,75
ЮН15ДК24	18	52	1,15
ЮН13ДК25А	28	44	1,40
ЮНДК40Т8АА	32	145	0,90

Магниты из металлокерамических порошков марок ММК1—ММК11 имеют коэрцитивную силу от 24 до 128 кА/м, остаточную индукцию от 0,48 до 1,1 Тл и запасенную энергию от 3 до 16 кДж/м³.

Магнитно-твердые ферриты (бариевые BaO·6Fe₂O₃— феррооксид) выпускают марок БИ (бариевые изотропные) и БА (бариевые анизотропные) с коэрцитивной силой до 240 кА/м, превосходящей магниты системы альни, однако уступающие этим сплавам по остаточной индукции (0,38 Тл) и запасенной магнитной энергии (12,4 кДж/м³). Параметры магнитов из феррита бария и кобальта приведены в табл. 18.

Таблица 18

Параметры	Марка					
	1БИ	1 БИС	2,4БА	3,1БА	1,5КА	2КА
Максимальная магнитная энергия, кДж/м ³	3,2	3,6	9,6	12,4	5,6	7,2
Коэрцитивная сила, кА/м	128	128	224	168	128	128
Остаточная индукция, Тл	0,19	0,21	0,33	0,38	0,24	0,28

Материалы для записи звука включают магнитно-твердые стали и сплавы, позволяющие изготавливать из них ленту или проволоку, а также пластмассовую ленту с нанесенными на ее поверхность порошкообразными ферритами.

Магнитно-твердый сплав викаллоу (34 % Fe; 52 % Co; 14 % V) с коэрцитивной силой 36 кА/м и остаточной индукцией 1 Тл позволяет изготавливать из него ленту и проволоку. Железоникельалюминиевые магнитно-твердые сплавы могут наноситься на медную ленту. Однако эти материалы не обеспечивают оптимальное соотношение коэрцитивной силы к остаточной индукции, при котором гарантируется качественная запись в широком диапазоне частот.

Применяют одно- и двухслойную магнитные пленки. Двухслойная пленка представляет собой ацетилцеллюлозную ленту шириной 6,5 мм и толщиной 35 мкм, на которую нанесен слой лака, содер-

жащий до 40 % магнетика. Такая пленка имеет коэрцитивную силу от 6,4 до 20 кА/м и остаточную индукцию от 0,8 до 0,4 Тл (их отношение достигает 40), что позволяет вести запись звука при малых скоростях. Пленка хорошо сохраняется при температуре 15—20 °С и относительной влажности воздуха 50—60 %. Однослойные пленки изготавливают из поливинилхлорида с магнитным наполнителем.

§ 4. Электроизоляционные материалы

Вещества, обладающие очень малой электрической проводимостью, называются *электроизоляционными материалами* или *диэлектриками*. К ним относят газы, некоторые жидкости (минеральные масла, лаки) и почти все твердые тела, кроме металлов и угля. Основные свойства диэлектриков характеризуются следующими параметрами.

В сильном электрическом поле молекулы диэлектрика расщепляются на ионы и диэлектрик проводит ток. Напряженность электрического поля, при которой начинается ионизация молекул диэлектрика, называется *пробивной* и измеряется в вольтах на метр (В/м).

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

Под действием электрического поля происходит смещение положительных и отрицательных зарядов в атомах диэлектрика, что приводит к его поляризации.

В переменном электрическом поле смещение электронов будет также переменным; усиливается движение частиц диэлектрика, что приводит к его нагреванию. На нагревание затрачивается энергия, возникают *диэлектрические потери*.

Диэлектрик, в котором имеются потери энергии, эквивалентен электрической цепи, состоящей из емкостного и активного сопротивлений. Ток I в такой цепи можно представить в виде двух составляющих: активной I_a и реактивной I_p (рис. 4). Чем больше потери энергии, тем больше активная составляющая тока и угол δ на векторной диаграмме. Поэтому количественно диэлектрические потери характеризуются тангенсом угла диэлектрических потерь δ . Чем меньше $\operatorname{tg} \delta$, тем выше качество диэлектрика.

Кроме перечисленных величин диэлектрик характеризуется теплоустойчивостью, гигроскопичностью, механическими свойствами. Рассмотрим диэлектрики, наиболее широко применяемые в радиотехнических устройствах.

Волокнистые материалы. Конденсаторная бумага, пропитанная изоляционным материалом, выпускается толщиной 0,006—0,24 мм и используется в качестве диэлектрика в конденсаторах или для изоляции проводов.

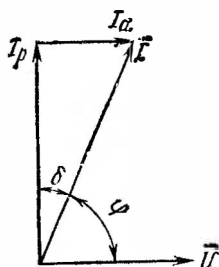


Рис. 4. Векторная диаграмма токов

Материал	Диэлектрическая проницаемость	Пробивная напряженность электрического поля, В/м	Тангенс угла диэлектрических потерь при частоте		Нагревостойкость, °С
			50 Гц	1 МГц	
Асбест	—	$2 \cdot 10^6$	0,7	—	400
Бакелит	4—4,6	$(10 \div 40) \cdot 10^6$	0,05—0,12	—	—
Кабельная бумага	4—4,8	$30 \cdot 10^6$	0,35	—	—
Гетинакс	5—6,5	$(10 \div 30) \cdot 10^6$	0,02	0,03	150
Карболит	4—6	$(2 \div 10) \cdot 10^6$	0,0001—0,03	—	100
Керамит	7,5	$(15 \div 20) \cdot 10^6$	—	0,0007—0,0018	1200
Лакоткань	2,8—7,7	$(20 \div 50) \cdot 10^6$	0,07—0,16	0,09—0,19	105
Микалекс	8—10	$(15 \div 20) \cdot 10^6$	0,005	0,02	—
Мрамор	8—10	$(6 \div 10) \cdot 10^6$	0,005—0,01	—	70—100
Плексиглас	3—3,6	$(18 \div 20) \cdot 10^6$	0,02—0,05	0,06	60
Полистирол	2,2—2,6	$(25 \div 50) \cdot 10^6$	0,0002	0,0002	70—90
Поливинилхлорид	3,1—3,5	$50 \cdot 10^6$	0,02	—	—
Полиэтилен	2,2	$(40 \div 150) \cdot 10^6$	0,03	0,03	70
Фторопласт-4	1,9—2,2	$(40 \div 250) \cdot 10^6$	—	0,0002	300
Прессшпан	3—4	$(9 \div 12) \cdot 10^6$	0,02	0,02—0,03	—

Радиостеатит	6	$20 \cdot 10^6$	0,0006	0,0003—0,0008	—
Радиофарфор	6	$(15 \div 20) \cdot 10^6$	0,009	0,0027—0,004	1200
Резина	2,6—3	$(15 \div 25) \cdot 10^6$	0,005—0,03	—	50
Слюда мусковит	4,5—8	$(50 \div 200) \cdot 10^6$	0,001	0,001	400
Слюда флогопит	4—5,5	$(60 \div 125) \cdot 10^6$	0,005—0,01	0,005—0,01	800
Стеатит	5,5—6,5	$(20 \div 30) \cdot 10^6$	0,0006	0,0015—0,002	1400
Стекло	4—10	$(20 \div 30) \cdot 10^6$	0,0005—0,001	0,001	500—1700
Текстолит	7	$(2 \div 8) \cdot 10^6$	0,02	0,08	120
Тиконд	25—80	$(15 \div 20) \cdot 10^6$	0,0003	0,001—0,002	1200
Ультрафарфор	6,3—7,5	$(15 \div 30) \cdot 10^6$	0,002	0,0006	1400
Электротехнический фарфор	6,5	$20 \cdot 10^6$	—	0,005—0,01	1200
Фибра	2,5—8	$(2 \div 6) \cdot 10^6$	0,02	0,06—0,07	100
Натуральный шелк	4,5	—	—	0,01—0,02	100
Шеллак	3,5	$(20 \div 30) \cdot 10^6$	0,01	—	80
Эбонит	4—4,5	$25 \cdot 10^6$	—	0,01—0,015	60
Стекловидная эмаль	4—7	$(20 \div 25) \cdot 10^6$	—	—	300

Прессшпан — электрокартон, пропитанный парафином или специальными лаками, выпускается толщиной 0,1—3 мм и применяется для изготовления каркасов трансформаторов и катушек.

Фибра получается из бумаги, обработанной водным раствором хлористого цинка, что вызывает сильное набухание волокон клетчатки и их соединение. 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. Используется для изоляции в электронагревательных приборах и изготовления каркасов мощных сопротивлений.

Лакоткань — хлопчатобумажная, шелковая или стеклянная ткань, пропитанная лаком, выпускаемая в виде полотна или трубки. Полотно применяется для изоляции обмоток трансформаторов, трубку — 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 с малыми диэлектрическими потерями. Применяется для каркасов контурных катушек и изоляции высокочастотных кабелей.

Политетрафторэтилен (фторопласт-4) — порошок белого цвета, перерабатываемый методом спекания; холодостоек, сохраняет гибкость при низких температурах, обладает высокой нагревостойкостью (около 300 °С) и исключительной стойкостью к химическим реагентам. На него не действуют серная, соляная, азотная и плавиковая кислоты, а также щелочи; некоторое влияние оказывают расплавленные щелочные металлы и атомарный фтор при повышенных температурах. По стойкости к химическим активным веществам превосходит золото и платину. Он негорюч, не растворяется ни в одном из известных растворителей, негигроскопичен и не смачивается водой, а также другими жидкостями. По электроизоляционным свойствам (табл. 19) принадлежит к лучшим диэлектрикам, особенно в полях высоких и сверхвысоких частот.

Поливинилхлорид — прозрачный или окрашенный эластичный материал. Используется для изоляции проводов, в том числе подземных кабелей. Для радиочепей непригоден из-за больших диэлектрических потерь.

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

Слоистые пластики. **Гетинакс** — пластмасса на бумажной ос-

нове, которая хорошо обрабатывается и применяется для изоляции низкочастотных цепей.

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

Керамика. Керамические материалы и изделия получают обжигом мелко измельченной минеральной массы. Керамика — один из наиболее высококачественных изоляционных материалов. Применяется в виде готовых изделий, так как не поддается механической обработке.

Электротехнический фарфор используется для изготовления изолирующих устройств в цепях питания. Для высокочастотных цепей непригоден из-за больших диэлектрических потерь.

Радиофарфор имеет меньшие диэлектрические потери, чем электротехнический, и применяется для изготовления каркасов катушек, ламповых панелей и мелких деталей высокочастотных цепей.

Ультрафарфор обладает еще меньшими диэлектрическими потерями и используется для изоляции высокочастотных цепей в ультракоротковолновой аппаратуре.

Высокочастотная керамика (пиррофилит, 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 (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 — минерал, обладающий хорошими электроизоляционными свойствами, негигроскопичен и теплоустоек. Мусковит (прозрачные пластинки) — одна из разновидностей слюды, используемая в качестве диэлектрика для конденсаторов. Флогопит (бурого цвета) — другая разновидность слюды, применяемая для изоляции электронагревательных приборов. Микалекс — измельченная в порошок и спрессованная с тонкоразмолотым легкоплавким стеклом слюда.

Мрамор — естественный минеральный материал, применяемый 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 стеклотрубы.

Резину получают из каучука (естественная смола) вулканизацией и используют главным образом для изоляции проводов низкочастотных цепей. В настоящее время применяют синтетический каучук.

Основные свойства перечисленных диэлектриков приведены в табл. 19. Кроме этих материалов для изоляции радиодеталей и проводов применяют лаки, эмали, компаунды и клеи.

Пропиточные лаки служат для пропитки волокнистой

изоляция и обмоток трансформаторов. Пропитанный лаком изоляционный материал менее гигроскопичен и имеет большую пробивную напряженность.

Покровные лаки применяют для лакировки поверхности изделий, что улучшает их диэлектрические свойства и внешний вид.

Эмали — покровные лаки с добавлением органического наполнителя, который повышает твердость пленки и одновременно окрашивает ее. Используют 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 и витков обмоток. Наиболее универсальными являются клеи 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.

Для склеивания тканей, фетра, войлока, резины, целлофана используют клей БФ-6. Он пригоден для гибких пленок.

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 также обладают бакелитовый и шеллачный лаки.

Глава II. КОМПОНЕНТЫ И ЭЛЕМЕНТЫ РАДИОАППАРАТУРЫ

§ 5. Общие сведения о радиоконденсаторах

Классификация. Электрический конденсатор представляет собой систему из двух или более токопроводящих обкладок, разделенных диэлектриком, предназначенную для создания емкости. По конструкции и назначению радиоконденсаторы разделяют на постоянные и переменные. Емкость постоянных конденсаторов не меняется, а переменных — можно плавно изменять. Существуют также полупеременные (подстроечные) конденсаторы, емкость которых можно плавно изменять до определенного значения, по достижении которого они работают как постоянные. Материал диэлектрика и его свойства определяют характеристики, конструкцию и область применения конденсаторов.

Различают следующие виды конденсаторов: с газообразным диэлектриком (воздушные, газонаполненные, вакуумные); с жидким (наполненные минеральным маслом или синтетической жидкостью); с твердым неорганическим (стеклянные, стеклокерамические, стеклопленочные, слюдяные, керамические и др.); с твердым органическим (бумажные, металлобумажные, пленочные, бумажно-пленочные и др.); с оксидным — электролитические (танталовые, ниобиевые, титановые, алюминиевые).

Переменные конденсаторы имеют механическое или электрическое управление емкостью. Конденсаторы с механическим управ-

лением выпускают с газообразным, жидким или твердым диэлектриком, а с электрическим — сегнетокерамические (вариконды) и полупроводниковые (варикапы).

Маркировка конденсаторов. Существует две системы обозначения конденсаторов: буквенная (старая) и цифровая (новая).

Буквенная система используется для обозначения конденсаторов, разработанных до 1960 г. и выпускающихся в настоящее время. В этой системе первая буква К означает конденсатор, вторая — тип диэлектрика (Б — бумажный, С — слюдяной, К — керамический, Э — электролитический и т. д.), третья — конструктивные особенности (герметичность исполнения или условия эксплуатации). Для упрощения системы обозначений часто первую букву К опускают, оставляя вторую и последующие (например, МБГО — конденсатор металлобумажный герметизированный с однослойным диэлектриком).

В соответствии с цифровой системой обозначений конденсаторы разделяют на группы по виду диэлектрика, назначению и варианту исполнения. В этой системе первый элемент обозначения (буква К) — конденсатор постоянной емкости, второй (число) — вид диэлектрика (10 — керамический на номинальное напряжение ниже 1600 В; 15 — керамический на номинальное напряжение 1600 В и выше; 20 — кварцевый; 21 — стеклянный; 22 — стеклокерамический; 23 — стеклоэмалевый; 24 — слюдяной малой мощности; 32 — слюдяной большой мощности; 40 — бумажный на номинальное напряжение ниже 1600 В с фольговыми обкладками; 41 — бумажный на номинальное напряжение выше 1600 В с фольговыми обкладками; 42 — бумажный с металлизированными обкладками; 50 — электролитический алюминиевый; 51 — электролитический танталовый фольговый; 52 — электролитический танталовый объемно-пористый; 53 — оксидно-полупроводниковый; 60 — воздушный; 61 — вакуумный; 70 — полистирольный с фольговыми обкладками; 71 — полистирольный с металлизированными обкладками; 72 — фторопластовый и т. д.); третий элемент — буква, указывающая на назначение (П — для работы в цепях постоянного тока; Ч — в цепях переменного тока; У — в цепях постоянного и переменного токов и в импульсных режимах; И — в импульсных режимах; если третий элемент обозначения не указан, конденсатор предназначен для работы в цепях постоянного или пульсирующего и постоянного тока); четвертый элемент — число, указывающее вариант исполнения конденсаторов одной группы по виду диэлектрика.

Пример обозначений К42У-2: К — конденсатор постоянной емкости, 42 — металлобумажный, У — для работы в цепях постоянного и переменного токов, а также в импульсных режимах, 2 — номер конструктивного исполнения.

Параметры. Основными параметрами, определяющими качество конденсатора и условия его работы, являются емкость, температурный коэффициент (ТКЕ), сопротивление изоляции, потери энергии, электрическая прочность и собственная индуктивность.

Емкость конденсатора — способность накапливать и удерживать на своих обкладках электрические заряды под действием приложенного напряжения. Если к конденсатору приложено напряжение U (В), а на обкладках накапливается заряд Q (Кл), его емкость

$$C = Q/U.$$

Таблица 20

Ряды номинальных емкостей, мкФ, нФ, пФ											
Е6					Е12				Е24		
0,01	0,1	1	10	100	0,1	1	10	100	1	10	100
					0,012	1,2	12	120	1,1	11	110
									1,2	12	120
									1,3	13	130
0,015	0,15	1,5	15	150	0,015	1,5	15	150	1,5	15	150
					0,018	1,8	180	180	1,6	16	160
									1,8	18	180
									2	20	200
0,022	0,22	2,2	22	220	0,022	2,2	22	220	2,2	22	220
					0,027	2,7	27	270	2,4	24	240
									2,7	27	270
									3	30	300
0,033	0,33	3,3	33	330	0,033	3,3	33	330	3,3	33	330
					0,039	3,9	39	390	3,6	36	360
									3,9	39	390
									4,3	43	430
0,047	0,47	4,7	47	470	0,047	4,7	47	470	4,7	47	470
					0,056	5,6	56	560	5,1	51	510
									5,6	56	560
									6,2	62	620
0,068	0,68	6,8	68	680	0,068	6,8	68	680	6,8	68	680
					0,082	8,2	82	820	7,5	75	750
									8,2	82	820
									9,1	91	910

Поскольку фарада очень большая единица, емкость конденсаторов принято замерять в микрофарадах (мкФ), нанофарадах (нФ) или пикофарадах (пФ) $1 \text{ Ф} = 10^6 \text{ мкФ} = 10^9 \text{ нФ} = 10^{12} \text{ пФ}$.

Емкость, указанную на маркировке конденсатора, называют номинальной. Номинальные емкости конденсаторов широкого применения соответствуют рядам, имеющим условные обозначения Е6, Е12, Е24 (табл. 20).

Каждый член ряда определяется $A = \sqrt[m]{10^n}$, где A — номинальная емкость; m — номер ряда; $n=0; 1; 2; \dots; m-1$. Например, в ряду Е6, у которого $m=6$, а $n=0; 1; 2; 3; 4; 5$, номинальную емкость получают следующим образом. В ряду Е6 в каждом десятичном интер-

вале 0,01; 0,1; 1; 10; 100 имеется шесть номинальных величин (см. табл. 20 по вертикали). Их значения получаются следующим образом:

$$n = 0, A = \sqrt[6]{10^0} = \sqrt[6]{1} = 1; n = 1, A = \sqrt[6]{10^1} \approx 1,5;$$

$$n = 2, A = \sqrt[6]{10^2} \approx 2,2.$$

Полученные числа выражают номинальные емкости конденсаторов. Фактическая емкость конденсатора C_f может отличаться от номинальной C_n на значение допустимого отклонения, которое выражают в процентах и определяют по формуле

$$\Delta C_o = 100\% (C_f - C_n)/C_n.$$

Величина допуска характеризует класс точности конденсаторов. В зависимости от допустимого отклонения емкости различают 11 классов точности конденсаторов.

Класс	CO1	002	005	00	0	I	II	III	IV	V	VI
Допустимое отклонение, %	$\pm 0,01$	$\pm 0,2$	$\pm 0,5$	± 1	± 2	± 5	± 10	± 20	-10	-20	-20
									+20	+30	+50

Чаще всего применяют конденсаторы I, II, III классов точности. Электролитические конденсаторы могут иметь допустимое отклонение емкости от +80 до -20 %. Конденсаторы переменной емкости не имеют стандартизированных значений и разделяются по минимальной и максимальной емкостям.

Номинальную емкость маркируют на конденсаторе полностью (может быть не обозначена лишь пикофарада). Маркировку миниатюрных конденсаторов кодируют. Емкости менее 100 пФ выражают в пикофарадах и обозначают буквой П, от 100 до 9100 пФ — в долях нанофарады, от 0,01 до 0,091 мкФ — в нанофарадах и обозначают буквой Н, емкости от 0,1 мкФ и более — в микрофарадах и обозначают буквой М. Если номинальная емкость выражена целым числом, обозначение единицы измерения ставят после этого числа (например, 33 пФ обозначают 33П; 15 нФ — 15Н), если десятичной дробью, меньшей единицы, нуль целых и запятая из маркировки исключаются, а буквенное обозначение ставится перед числом (например, 0,15 нФ обозначают Н15, а 0,5 мкФ соответственно М15), если целым числом и десятичной дробью, целое число ставится впереди, а десятичная дробь — после буквы (например, 1,5 пФ обозначают 1П5, а 1,5 нФ соответственно 1Н5).

Допускаемое отклонение от номинальной емкости маркируется после ее цифрового обозначения в процентах или буквенным кодом согласно табл. 21.

Температурный коэффициент емкости ТКЕ характеризует изменение емкости конденсатора при изменении температуры на 1 °С:

$$ТКЕ = (C_2 - C_1)/(C_1 (T_2 - T_1)),$$

где C_1 и C_2 — емкости конденсатора при температурах T_1 и T_2 . Температурный коэффициент емкости может быть положительным и отрицательным.

Сопротивление изоляции конденсатора $R_{из}$ (МОм) зависит от качества диэлектрика, определяется отношением напряжения по-

Код	Допустимое отклонение, %	Код	Допустимое отклонение, %	Код	Допустимое отклонение, %
Ж	$\pm 0,1$	И	± 5	Э	$+50 \div -10$
У	$\pm 0,2$	С	± 10	Б	$+50 \div -20$
Д	$\pm 0,5$	В	± 20	А	$+80 \div -20$
Р	± 1	Ф	± 30	Я	$+100 \div -0$
Л	± 2	—	—	Ю	$+100 \div -10$

стоянного тока $U(B)$, приложенного к конденсатору, к току утечки $I_{ут}$ (мкА) и выражается в мегаомах или гигаомах:

$$R_{из} = U / I_{ут}.$$

С увеличением влажности и температуры окружающей среды сопротивление изоляции снижается. Для конденсаторов с оксидным диэлектриком (электролитических) вместо сопротивления изоляции $R_{из}$ иногда нормируется ток утечки. Для конденсаторов емкостью выше 0,33 мкФ вводится параметр *постоянная времени* τ , определяемый как произведение сопротивления изоляции (МОм) на емкость конденсатора (мкФ): $\tau = R_{из}C$. Физически постоянная времени определяется качеством диэлектрика и представляет собой время, за которое конденсатор, заряженный до напряжения U_0 , будет самозарядиться на сопротивление изоляции между его обкладками до $U \approx 0,37 U_0$.

Потери энергии в конденсаторе складываются из потерь энергии в диэлектрике и обкладках. В процессе эксплуатации часть подводимой к конденсатору энергии переменного тока расходуется на его нагрев, сопровождаемый рассеиванием тепла в окружающую среду. Поэтому векторы переменного тока \bar{I} , проходящего через конденсатор, и приложенного к нему напряжения \bar{U} сдвинуты на угол $\varphi < 90^\circ$ (см. рис. 4). В конденсаторе без потерь векторы тока \bar{I}_p и напряжения \bar{U} сдвинуты на 90° . Угол δ , дополняющий фазовый угол φ до 90° , называют *углом диэлектрических потерь*. Тангенсом угла δ характеризуют потери энергии в конденсаторе, работающем в цепи переменного тока. Потери энергии или расходуемая в диэлектрике активная мощность (Вт)

$$P_A = U^2 \omega C \operatorname{tg} \delta,$$

где U — действующее напряжение, приложенное к конденсатору, В; ω — частота синусоидального тока, Гц; C — емкость конденсатора, Ф; $\operatorname{tg} \delta$ — тангенс угла потерь.

Потери энергии приводят к нагреву, ухудшающему качество диэлектрика, что снижает электрическую прочность конденсатора, определяемую способностью диэлектрика выдерживать электрическое поле без пробоя.

Электрическая прочность оценивается пробивным, испытательным и номинальным (рабочим) напряжениями.

Напряжение, при плавном подъеме которого происходит пробой конденсатора, называют пробивным. По выявленному пробив-

ному напряжению устанавливают испытательное напряжение, которое конденсаторы выдерживают в течение определенного времени (обычно 10 с). Оно близко к пробивному и определяет электрическую прочность конденсатора. В основном электрическая прочность зависит от качества и толщины диэлектрика, а также от площади обкладок и условий теплоотдачи. Проверка испытательным напряжением позволяет отбраковывать конденсаторы с низкой электрической прочностью.

Напряжение, при котором конденсатор может надежно работать в течение гарантированного срока с сохранением основных параметров, называют номинальным или рабочим.

Собственная индуктивность конденсатора обусловлена индуктивностью выводов, обкладок. На высоких частотах эта индуктивность вместе с емкостью конденсатора может вызвать резонанс. Резонансная частота конденсатора должна быть выше рабочей частоты схемы, в которой он используется. Для снижения собственной индуктивности в конденсаторах укорачивают вводы, а в бумажных используют бифилярную намотку токопроводящей фольги.

§ 6. Бумажные и металобумажные конденсаторы

Бумажные конденсаторы являются наиболее распространенной разновидностью конденсаторов постоянной емкости, содержат

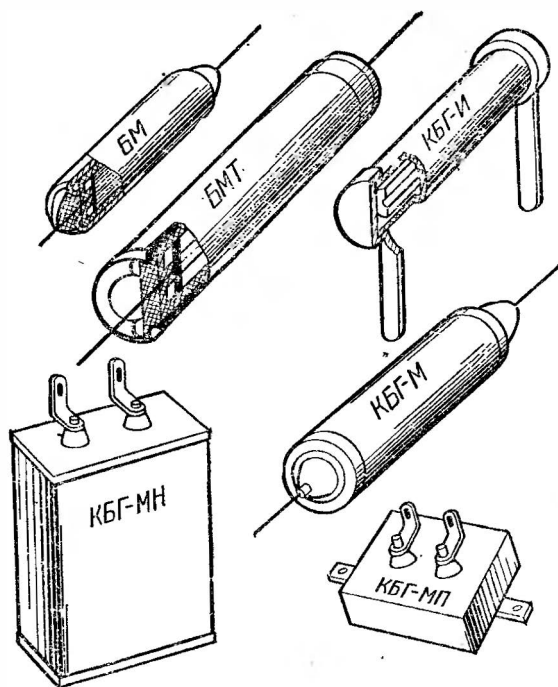


Рис. 5. Бумажные конденсаторы

одну или несколько секций из двух металлических лент (как правило, из алюминиевой фольги), служащих обкладками. Последние разделены двумя или более лентами конденсаторной бумаги, являющейся диэлектриком. Секции помещают в цилиндрический или прямоугольный корпус. В корпусе вмонтированы элементы герметизации (проходные стеклянные или керамические изоляторы, резиновые шайбы или детали из эпоксидных композиций), через которые проходят внешние проволочные или лепестковые токоотводы.

По конструкции различают бумажные конденсаторы цилиндрической (БМ, БМТ, КБГ-М, КБГ-И, К40П-1, К40П-2, К40У-9, К40-13 и др.) и прямоугольной (КБГ-МП, КБГ-МН, БГТ, К40У-5 и др.) формы (рис. 5). Они характеризуются широким интервалом емкостей (от тысячных долей до десятков микрофард), номинальных напряжений и диапазоном рабочих температур (от -60 до $+125^{\circ}\text{C}$). В зависимости от номинального напряжения их подразделяют на низковольтные (К40) — до 1600 В и высоковольтные (К41) — от 1600 и выше. Основные электрические характеристики некоторых бумажных конденсаторов приведены в табл. 22.

Бумажные конденсаторы применяют в схемах, рассчитанных на длительную работу при заданном напряжении, допускающих невысокую точность и стабильность емкости. Кроме того, их можно ис-

Таблица 22

Конденсатор	Диапазон рабочих температур, $^{\circ}\text{C}$	Номинальное напряжение, В	Пределы номинальных емкостей, мкФ
БМ	От -60 до $+70$	150	0,033—0,047
		200	0,0033—0,022
		300	0,00047—0,0022
МБТ	» -60 » $+100$	400	0,00047—0,22
		600	0,001—0,022
		200	0,001—0,1
КБГ-И	» -60 » $+70$	400	0,0015—0,05
		600	0,00047—0,03
		200	0,04—0,25
КБГ-М	» -60 » $+70$	400	0,07—0,25
		600	0,01—0,15
		200	1—10
КБГ-МН	» -60 » $+70$	400	1—8
		600	0,5—6
		1000	0,25—4
		1600	0,25—2
		200	0,5—2
КБГ-МП	» -60 » $+70$	600	0,25—1
		1000	0,1—0,5
		1500	0,1—0,25
К40-13	» -60 » $+100$	200	0,01—1
		400	0,0047—0,33
		630	0,0047—0,22
К40У-9	» -60 » $+125$	200	0,00047—1
		400	0,047—0,68
		630	0,00047—0,47

Конденсатор	Диапазон рабочих температур, °С	Номинальное напряжение, В	Номинальные емкости, мкФ
МБМ	От -60 до +70	160	0,05; 0,1; 0,25; 0,5; 1
	От -60 до +100	250 500 750 1000 1500	0,05; 0,1; 0,25; 0,5; 1 0,05; 0,1; 0,25; 0,5 0,05; 0,1; 0,25 0,05; 0,1 0,05
МБГЦ	От -60 до +70	200 400 600 1000	0,25; 0,5; 1 0,1; 0,25; 0,5 0,05; 0,1; 0,25 0,1; 0,25
	От -60 до +100	160 300 500 750	1; 2; 4; 10; 20 0,5; 1; 2; 4; 10 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 10 0,1; 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 10
МБГО	От -60 до +70	160 300 400 500 600	2; 4; 10; 20; 30 1; 2; 4; 10; 20; 30 1; 2; 4; 10; 20 0,5; 1; 2; 4; 10; 20 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 10
	От -60 до +70	160	0,047; 0,1; 0,15; 0,22; 0,33; 0,47; 0,68; 1
К42У-2	От -60 до +100	250 400	0,047; 0,068; 0,1; 0,15; 0,22; 0,33; 0,47; 1 0,033; 0,047; 0,068; 0,1; 0,15; 0,22; 0,33; 0,47
	То же	630 1000	0,015; 0,022; 0,033; 0,047; 0,068; 0,1; 0,15; 0,22 0,01; 0,015; 0,022; 0,033; 0,047; 0,068; 0,1; 0,15; 0,22
		1600	0,0047; 0,0068; 0,01; 0,015; 0,022; 0,033; 0,047; 0,068; 0,1

Конденсатор	Номинальное напряжение, В	Номинальная емкость
К70-6	35	0,018; 0,022; 0,027; 0,033; 0,039; 0,047; 0,056; 0,068; 0,082; 0,1 мкФ
	50	22; 27; 33; 39; 47; 56; 68; 82; 100; 120; 150; 180; 220; 270; 330; 390; 470; 1200; 1500; 1800; 2200; 2700; 3300; 3900; 4700; 5600; 6800; 8200 пФ; 0,01; 0,012; 0,015 мкФ
К71П-2	100	0,01; 0,012; 0,015; 0,018; 0,022; 0,027; 0,033; 0,039; 0,047; 0,056; 0,068; 0,082; 0,1 мкФ
К74-8	50	0,1—0,25 мкФ
	100	0,001—0,0068; 0,01—0,1 мкФ
	200	0,001—0,0068; 0,01—0,068 мкФ
	400	0,001—0,0068; 0,01—0,047 мкФ
	630	0,001—0,0068; 0,01—0,022 мкФ

пользовать в качестве блокировочных, развязывающих, разделительных и фильтрующих элементов в цепях с постоянным и переменным напряжением и в импульсных режимах.

Металлобумажные конденсаторы в качестве обкладок (вместо фольги) имеют тонкий слой металла, нанесенный на диэлектрик — (конденсаторную бумагу). Металлизированные обкладки обеспечивают при пробое конденсатора самовосстановление изоляции и используются в тех же цепях электрической схемы, что и бумажные с фольговыми обкладками. Подобно бумажным они обладают широкими пределами емкостей и номинальных напряжений при значительно меньших габаритах, однако уступают бумажным конденсаторам по стабильности сопротивления изоляции. Характеристики некоторых металлобумажных герметизированных конденсаторов приведены в табл. 23.

Металлобумажные конденсаторы предназначены для работы в цепях постоянного и пульсирующего токов. Однако амплитудное значение напряжения переменной составляющей (в процентах от номинального) не должно превышать на частоте 50 Гц 20%; 100 Гц 15%; 400 Гц 10%; 1000 Гц 5%; 10 кГц 2%.

Малогабаритные герметизированные металлобумажные конденсаторы К42У-2, предназначенные для замены конденсаторов МБМ, более устойчивы к действию влаги и механических нагрузок.

§ 7. Пленочные конденсаторы

В пленочных конденсаторах в качестве диэлектрика используют пленки из различных полимерных материалов (полистирола, полипропилена или лавсана, фторопласта и др.). Обкладками в секциях пленочных конденсаторов служит металлическая фольга либо металлизированная пленка. Пленочные конденсаторы выпускают в

металлических и пластмассовых корпусах прямоугольной и цилиндрической формы или без корпусов (покрытые эпоксидным компаундом) и используют в радиоприемной, телевизионной, электроизмерительной аппаратуре, вычислительной технике (интегрирующих или цепях задержки) и т. д.

Наиболее современными пленочными полвстирольными конденсаторами являются К70-6 (рис. 6), изготавливаемые из тонкой пленки, позволяющей уменьшить их габаритные размеры и массу и увеличить верхний температурный предел до $+85^{\circ}\text{C}$. Конденсаторы рас-

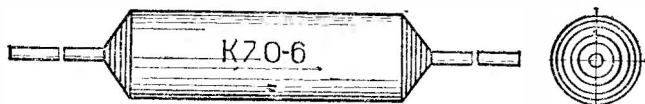


Рис. 6. Пленочный конденсатор

считаны на работу в цепях постоянного, переменного и пульсирующего токов, выпускаются на номинальное напряжение 35 и 50 В и включают 45 типонамиалов с емкостью от 22 пФ до 0,1 мкФ по шкале Е-12. Тангенс угла потерь этих конденсаторов в нормальных условиях $1 \cdot 10^{-3}$. Срок службы до 5000 ч.

Малогабаритные металлопленочные конденсаторы К71П-2 выпускают на номинальное напряжение постоянного тока 100 В. Секции конденсаторов размещены в алюминиевых корпусах прямоугольной формы. Два вывода (более длинных) служат токоотводами, а два других (коротких) — для крепления к плате. Эти конденсаторы применяют для аппаратуры с печатным монтажом. Кроме того, они могут работать в цепях переменного или пульсирующего тока частотой до 1 МГц, однако при значительном снижении амплитуды напряжения, устанавливаемого для каждой номинальной емкости. Сопротивление изоляции между выводами 50 000 МОм; тангенс угла потерь $1,5 \cdot 10^{-3}$; ТКЕ в диапазоне рабочих температур от -60 до $+85^{\circ}\text{C}$ равен $120 \cdot 10^{-6} 1/^{\circ}\text{C}$. Срок службы конденсаторов 5000 ч, хранения — 12 лет.

Конденсаторы К74-8 выпускают для работы в цепях постоянного и пульсирующего тока. При работе в цепях пульсирующего тока амплитуда напряжения переменной составляющей при частоте 50 Гц не должна превышать 20 % номинального напряжения (при 500 Гц — 7,5 %, при 1000 Гц — 5% и выше 1000 Гц до 10 кГц — 2,5 %), а сумма амплитуды напряжения переменной составляющей и постоянного напряжения — номинального напряжения. Тангенс угла потерь у этих конденсаторов при номинальной температуре составляет 0,01, диапазон рабочих температур от -60 до $+85^{\circ}\text{C}$, срок службы — до 6000 ч.

Номинальные емкости и напряжения рассмотренных пленочных конденсаторов приведены в табл. 24.

§ 8. Электролитические конденсаторы

В электролитических конденсаторах имеются две обкладки. В качестве одной, называемой анодом, служит фольга или таблетка, а в качестве другой, называемой катодом, — жидкий электролит или твердый полупроводник, диэлектриком — оксидная тонкая пленка, электрохимически создаваемая на аноде.

Преимущество электролитических конденсаторов перед конденсаторами с другими диэлектриками состоит в их большой удельной емкости, недостаток — в значительном ее снижении при низкой температуре и увеличении тока утечки при высокой температуре.

Электролитические конденсаторы разделяют на полярные, работающие только в цепях с постоянным или пульсирующим напряжением, и неполярные, используемые в цепях переменного тока.

Полярные конденсаторы работоспособны при условии, что на их положительный электрод (анод) подается положительный потенциал источника. Если полярность подключения источника нарушается, возможен пробой и выход из строя конденсатора (иногда сопровождаемый взрывом). Электролитические конденсаторы выпускают с большим интервалом емкости (от десятых долей до десятков тысяч микрофард) и напряжением от 3 до 500 В.

По конструкции, виду обкладок и диэлектрика различают три типа электролитических конденсаторов: а л ю м н и е в ы е (сухие), обкладки которых изготовляют из алюминиевой фольги, а диэлектрик — из бумажных или тканевых прокладок, пропитанных электролитом; т а н т а л о в ы е (жидкие) с таблеточным танталовым анодом, поверхность которого покрыта оксидной пленкой диэлектрика, и с жидким электролитом в качестве катода; о к с и д н о - п о л у п р о в о д н и к о в ы е (твердые) с таблеточным танталовым или алюминиевым анодом и нанесенной пленкой диэлектрика. Электролитом служит полупроводник (двуоксид марганца), наносимый на оксидную пленку анода. Краткая характеристика некоторых из наиболее современных электролитических конденсаторов приведена ниже.

Конденсаторы К50-6 (рис. 7), представляющие серию малогабаритных алюминиевых конденсаторов, предназначены для широкополосной аппаратуры (транзисторных приемников, телевизоров и др.), с проволочными выводами — для схем с печатным монтажом.

Конденсаторы больших размеров (емкостью 1000, 2000, 4000 мкФ с номинальным напряжением 10; 15; 25 В) используются для работы в цепях постоянного и пульсирующего тока, имеют лепестковые выводы и крепятся к корпусу с помощью хомута.

Неполярные конденсаторы К50-6 применяются в цепях со знакопеременным напряжением, причем это напряжение должно быть

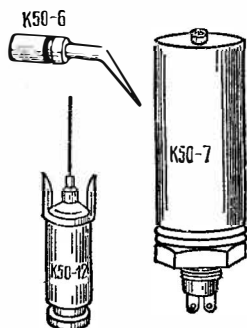


Рис. 7. Электролитические алюминиевые конденсаторы

Таблица 25

Номинальное напряжение, В	Номинальная емкость, мкФ
6	50; 100; 200; 500
10	10; 20; 50; 100; 200; 500; 1000; 2000; 4000
15	1; 5; 10; 20; 30; 50; 100; 200; 500; 1000; 2000; 4000
25	1; 5; 10; 20; 50; 100; 200; 500; 1000; 2000; 4000
50	1; 2; 5; 10; 20; 50; 100; 200
100	1; 2; 5; 10; 20
160	1; 2; 5; 10
15*	5; 10; 20; 50
25*	10

* Неполлярные конденсаторы.

значительно ниже номинального. Номинальные емкости и напряжения конденсаторов К50-6 приведены в табл. 25.

Действительные емкости конденсаторов К50-6 при нормальных условиях (температуре $+25^{\circ}\text{C}$) могут отличаться от номинальных на $-20 \div +80\%$. При работе конденсаторов в цепях пульсирующего тока частотой 50 Гц амплитуда напряжения переменной составляющей не должна превышать значений, указанных в табл. 26, а

Таблица 26

Пределы номинальных емкостей, мкФ	Номинальное напряжение, В	Амплитуда переменной составляющей, $\% U_{\text{ном}}$	Пределы номинальных емкостей, мкФ	Номинальное напряжение, В	Амплитуда переменной составляющей, $\% U_{\text{ном}}$
50—200	6	25	2000	10 и 15	15
10—100	10		500—1000	25	
1—50	15		50—200	50	
1—20	25		1—5	100	
500	6	20	2000	25	10
200—1000	10		10—20	100	
100—1000	15		1—10	160	
50—200	25				
1—20	50		4000	10—25	

сумма амплитуды и постоянной составляющей напряжения — номинального напряжения. Ток утечки (мкА) конденсаторов К50-6 в нормальных условиях $I_{\text{ут}} = 0,05 C U + 3$, где C — номинальная емкость, мкФ; U — номинальное напряжение, В. Эти конденсаторы выпускают с диапазоном рабочих температур от -10 до $+70^{\circ}\text{C}$. Срок их службы 5000 ч.

Конденсаторы К50-7 (см. рис. 7) дополняют серию малогабаритных алюминиевых конденсаторов в интервале напряжений, от 160 до 450 В и емкостей от 5 до 500 мкФ. Значения номинального и амплитудного напряжений и емкости конденсаторов К50-7 приведены в табл. 27.

Таблица 27

Номинальное напряжение, В	Амплитудное напряжение, В	Номинальная емкость, мкФ
50	58	100+300*; 300+300
160	185	20; 50; 100; 200; 500
250	290	10; 20; 50; 100; 200; 100+100; 150+150
300	345	5; 10; 20; 50; 100; 200; 50+50; 100+100
350	400	5; 10; 20; 50; 100; 20+20; 50+50; 30+ +150
450	495	5; 10; 20; 50; 100; 10+10; 20+20; 50+ +50

* Рассчитаны на две емкости.

Конденсаторы К50-7 выпускают с допустимыми отклонениями действительной емкости от номинальной на $-20 \div +80\%$. При их использовании в цепях с частотой выше 50 Гц амплитуда напряжения переменной составляющей должна уменьшаться, как и у всех электролитических конденсаторов, обратно пропорционально частоте. Значения амплитуды напряжения переменной составляющей пульсирующего тока $U_m \sim$ частотой 50 Гц, при которой могут быть использованы конденсаторы, приведены в табл. 28.

Во избежание перегрева конденсаторов амплитуда напряжения переменной составляющей не должна превышать напряжения постоянного тока. Ток утечки (мкА) этих конденсаторов $I_{ут} = 0,05 CU + +30$. Тангенс угла потерь конденсаторов с номинальным напряжением 50 В может быть до 0,25, с напряжением 160—450 В — до 0,15. Срок службы К50-7—5000 ч.

Конденсаторы К50-12 (см. рис. 7), отличающиеся от рассмотренных меньшими габаритными размерами, выпускают 67 типонаименований емкостью от 1 до 5000 мкФ и напряжением от 6 до 450 В. Их используют для работы в цепях постоянного и пульсирующего токов в диапазоне рабочих температур от -20 до $+70^\circ\text{C}$. Срок службы 5000 ч, а хранения 5 лет.

Конденсаторы К50-14, используемые в цепях постоянного и пульсирующего токов в диапазоне рабочих температур от -10 до $+85^\circ\text{C}$, выполняют в виде многосекционных блоков, в которых в одном корпусе содержится несколько емкостей. Анодная лента таких конденсаторов разделена на четыре отрезка (каждый с отдельным выводом). Выводы анодов равномерно распределены по торцу секции. Катод в секции конденсатора — общий. Номинальные емкости и напряжения конденсаторов К50-14 приведены в табл. 29. Действительные емкости могут отличаться от номинальных на $-20 \div +50\%$.

Таблица 28

Номинальная емкость, мкФ	Номинальное напряжение, В	Амплитуда переменной составляющей, % $U_{\text{ном}}$	Номинальная емкость, мкФ	Номинальное напряжение, В	Амплитуда переменной составляющей, % $U_{\text{ном}}$			
5	300	20	200	160	15			
	350	15		250	10			
	450	15		300	7			
10	250	20	500	160	10			
	300	20						
	350	15	10+10	450	10			
20	160	20	20+20	350	10			
	250	20						
	300	15				450	5	
	350	10				30+150	350	5
450	10							
50	160	20	50+50	300	10			
	250	15						
	300	10				100+100	250	10
	350	5	300	7				
450	5	150+150	250	10				
100	160				15	300+100	50	20
	250				10			
	300				7			
	350	5	300+300	50	15			
450	5							

Таблица 29

Номинальное напряжение, В	Номинальное пиковое напряжение, В	Номинальная емкость $C_{\text{ном}}$ мкФ, на выводах			
		1	2	3	4
40	45	5000	5000	1000	1000
350	400	150	150	50	50
350	470	200	200	50	50
450	495	50	50	30	30

При работе в цепях пульсирующего тока амплитуда напряжения переменной составляющей частотой 50 Гц не должна превышать 5 % для конденсаторов с номинальным напряжением 350 В и 3 % — с напряжением 450 В. Ток утечки $I_{ут} = 0,02 C U_{ном}$. Срок службы конденсаторов 5000 ч, хранения — 5 лет.

Конденсаторы К50-15 выпускают полярными и неполярными. Последние допускают периодическое, непродолжительное включение их в цепь переменного тока. Полярные конденсаторы изготовляют с номинальными напряжениями от 6,3 до 250 В и емкостями от 2,2 до 680 мкФ, неполярные — от 25 до 100 В и от 4,7 до 100 мкФ соответственно. Диапазон рабочих температур этих конденсаторов от -60 до $+85^{\circ}\text{C}$, срок службы 10 000 ч, хранения — 12 лет.

Конденсаторы К50-16 аналогичны конденсаторам К50-6, но имеют меньшие габаритные размеры при тех же номинальных напряжениях и емкостях. Их выпускают с пределами номинальных напряжений от 6,3 до 160 В и емкостей от 0,5 до 5000 мкФ с отклонением последних на $-20 \div +80\%$. Диапазон рабочих температур этих конденсаторов от -20 до $+70^{\circ}\text{C}$, срок службы — 5000 ч.

Конденсаторы К53-4 оксидно-полупроводникового типа с таблеточными ниобиевыми анодами применяют для работы в цепях постоянного и пульсирующего токов в диапазоне рабочих температур от -60 до $+85^{\circ}\text{C}$ и выпускают с пределами номинальных напряжений 6—20 В и емкостей 0,47—100 мкФ с допустимым отклонением последних от ± 10 до $+30\%$. Срок службы конденсаторов 5 000 ч, хранения — 11 лет.

Конденсаторы К53-8 алюминиевые оксидно-полупроводникового типа. Электролит у таких конденсаторов заменен твердым полупроводником (двуоксидом марганца MnO_2 , нанесенным на оксидную пленку алюминия). Их используют для работы в цепях постоянного и пульсирующего токов в диапазоне рабочих температур от -60 до $+85^{\circ}\text{C}$ и выпускают с пределами номинальных напряжений 1,5—15 В и емкостей 0,5—20 мкФ. Срок службы конденсаторов 5 000 ч, хранения — 12 лет.

§ 9. Слюдяные конденсаторы

В слюдяных конденсаторах в качестве диэлектрика используют природный материал — слюду, обладающую высокой механической и электрической прочностью и относительно высокой диэлектрической проницаемостью. Промышленность выпускает слюдяные конденсаторы постоянной емкости КСО (рис. 8, а) и КСОТ, опрессованные пластмассой, а также герметизированные СГМ и СГМЗ (рис. 8, б) в керамическом или КСГ (рис. 8, в) и ССГ в металлическом корпусе.

Слюдяные опрессованные конденсаторы КСО применяют для работы в цепях постоянного и переменного токов, а также в импульсных режимах в диапазоне рабочих температур от -60 до $+70^{\circ}\text{C}$. Пределы номинальных емкостей и напряжений конденсаторов КСО приведены в табл. 30.

Теплостойкие слюдяные опрессованные конденсаторы КСОТ используют в диапазоне рабочих температур от -60 до $+155^{\circ}\text{C}$. Пределы номинальных емкостей и напряжения постоянного тока приведены в табл. 31.

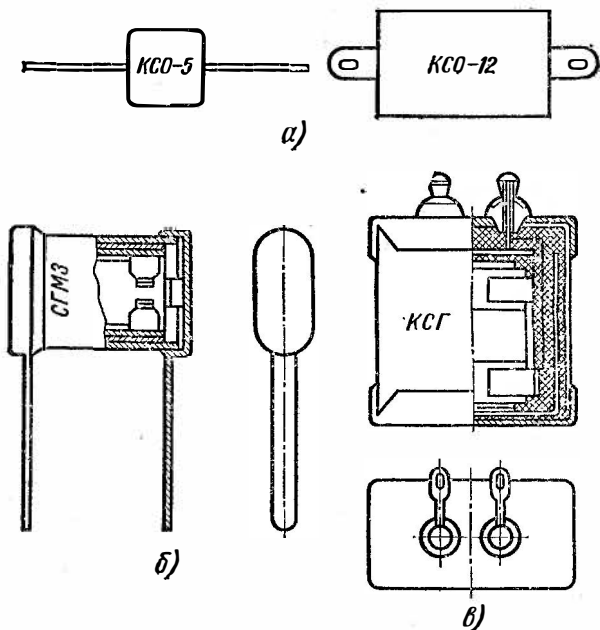


Рис. 8. Слюдяные конденсаторы (а-в)

Таблица 30

Конденсатор	Номинальное напряжение, В	Пределы номинальных емкостей, пФ
KCO-1	250	51—750
KCO-2	500	100—2400
KCO-5	500—250	470—10 000
KCO-6	1000	100—2700
KCO-7	2500—1000	47—3300
KCO-8	2500—250	1000—30 000
KCO-10	3000—250	47—50 000
KCO-11	3000—250	10—10 000
KCO-12	5000—250	10—20 000
KCO-13	7000—250	10—50 000

Герметизированные слюдяные конденсаторы КСГ, ССГ, СГМ и СГМЗ применяют для работы в условиях повышенной влажности и пониженного атмосферного давления и диапазоне рабочих температур от -60 до $+80$ °С. Они имеют широкие пределы номинальных напряжений (25—1500 В) и емкостей (51—100 000 пФ).

Таблица 31

Конденсатор	Номинальное напряжение, В	Границы номинальных емкостей, пФ	Конденсатор	Номинальное напряжение, В	Пределы номинальных емкостей, пФ
КСОТ-1	250	51—510	КСОТ-6	1000	100—1500
КСОТ-2	500	100—1200	КСОТ-7	1000	1600—3300
КСОТ-5	500	470—6800	КСОТ-8	1000	3500—10 000

§ 10. Керамические, стеклокерамические и стеклопленочные конденсаторы

В зависимости от электрических свойств керамики, служащей диэлектриком, керамические конденсаторы могут быть высокочастотными, низкочастотными, термостабильными, термокомпенсационными. Высокочастотная керамика (тиконд и др.) обладает малыми диэлектрическими потерями (на радиочастотах $\operatorname{tg} \delta \leq 0,001$) и невысокой диэлектрической проницаемостью (от 12 до 1500). Низкочастотная керамика характеризуется относительно большими диэлектрическими потерями (на частотах нескольких килогерц $\operatorname{tg} \delta < 0,04$) и высокой диэлектрической проницаемостью (от 1000 до 8000). От вида керамики зависит температурная стабильность емкости керамических конденсаторов. По значениям ТКЕ конденсаторы из высокочастотной керамики делят на группы (табл. 32), обозначаемые буквами П (положительный) и М (отрицательный) и числом, указывающим среднее значение ТКЕ на $1^\circ\text{C} \cdot 10^{-6}$ на радиочастотах.

По значениям ТКЕ в диапазоне рабочих температур конденсаторы из низкочастотной керамики делят на группы, обозначаемые буквой Н и числом, указывающим, на сколько процентов может измениться емкость конденсаторов в этом диапазоне по сравнению с температурой 20°C (табл. 33)

Таблица 32

Обозначение группы конденсаторов по ТКЕ	Изменение ТКЕ в диапазоне температур от 20 до 85°C	Условный цвет окраски корпуса конденсатора
П100	$+100 \pm 30$	Синий
П33	$+33 \pm 30$	Серый
М47	-47 ± 30	Голубой
М75	-75 ± 30	»
М330	-330 ± 60	Красный
М1500	-1500 ± 200	Зеленый

Примечание. Цвет окраски точки на корпусе М75 красный, а М330 — зеленый.

Обозначение группы конденсаторов по ТКЕ	Изменение емкости, %, в диапазоне температур от -60 до $+55^{\circ}\text{C}$	Цвет точки или полоски на корпусе конденсатора
H30	± 30	Зеленый
H50	± 50	Синий
H70	-70	—
H90	-90	Белый

Конденсаторы с малым значением ТКЕ (группы П33, М47) относят к термостабильным, а с большим отрицательным (М1500) — к термокомпенсационным. Будучи включенными в резонансные контуры, такие конденсаторы позволяют скомпенсировать положительный ТКЕ других элементов схемы. Наиболее распространены кера-

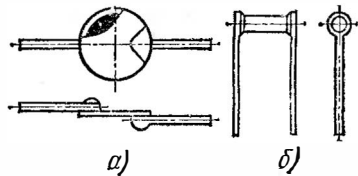


Рис. 9. Дискový (а) и трубчатый (б) керамические конденсаторы

мические дисковые КД, КДУ и трубчатые КТ конденсаторы. Наряду с этими конденсаторами применяют пластинчатые и монолитные. Дисковые конденсаторы КД1, КД2, КДУ (рис. 9, а) представляют собой керамический диск, на поверхности которого нанесены метал-

Таблица 34

Обозначение группы конденсаторов по ТКЕ	Номинальное напряжение, В	Пределы номинальных емкостей, пФ	Номинальное напряжение, В	Пределы номинальных емкостей, пФ	Номинальное напряжение, В	Пределы номинальных емкостей, пФ
	КД1 ($\varnothing 4,5-6,5\text{мм}$)		КД2 ($\varnothing 6,5-8,5\text{мм}$)		КДУ ($\varnothing 8,5-16,5\text{мм}$)	
П100	250	1—7,5	500	1—12	50	1—2, 2
П33		1—10		1—30		1—27
М47		1—15		1—43		3, 3—27
М75		1—39		1—68		—
М700		10—56		3, 3—150		27—47
М1300		18—130		15—270		—
H70	160	680—2200	300	680—6800	—	—

лизированные обкладки с проволочными токоотводами, а трубчатые КТ-1, КТ-2, КТ-3 (рис. 9, б) — керамическую трубку, на внутреннюю и наружную поверхности которой нанесены обкладки, покрытые защитной эмалью определенного цвета и снабженные проволочными токоотводами. Такие конденсаторы применяют в контурных, разделительных или блокированных цепях радиоаппаратуры. Электрические параметры дисковых конденсаторов приведены в табл. 34, а трубчатых — в табл. 35.

Таблица 35

Обозначение группы конденсаторов по ТКЕ	Номинальное напряжение, В	Пределы номинальных емкостей, пФ	Номинальное напряжение, В	Пределы номинальных емкостей, пФ	Номинальное напряжение, В	Пределы номинальных емкостей, пФ
	КТ-1 (Ø3мм)		КТ-2 (Ø6мм)		КТ-3 (Ø10мм)	
П100	250	1—30	500	2,2—100	750	2,2—110
П33		1—62		2,2—180		2,2—150
М47		1—75		2,2—240		2,2—240
М75		1—130		2,2—360		—
М700		2,2—270		2,2—910		2,2—1000
М1500		15—560		15—2200		—
Н70	160	680— 10 000	300	От 680 пФ до 0,033 мкФ	—	—

Трубчатые конденсаторы — проходные КТП-1 — КТП-3 (рис. 10, а), опорные КО-1, КО-2 (рис. 10, б) и дисковые КДО-1, КДО-2 — применяют в качестве фильтровых в цепях постоянного и переменного токов при рабочих напряжениях до 750 В. *Пластинчатые* керамические конденсаторы К10-7 (рис. 10, в) выпускают с небольшой толщиной (0,2—0,4 мм) диэлектрической пластины прямоугольной формы, на плоскости которой нанесены металлизированные обкладки. Конденсаторы К10-7а имеют номинальные напряжения 250 В и емкости от 6,8 до 6800 пФ и от 0,01 до 0,033 мкФ, а К10-7 в — 50 В и от 22 до 6800 пФ, а также от 0,01 до 0,047 мкФ соответственно. Конденсаторы применяют для работы в цепях постоянного, переменного и импульсного токов в диапазоне температур от —60 до +155 °С. Однонаправленные выводы конденсаторов обеспечивают их использование на платах с печатным монтажом.

Монолитные керамические конденсаторы К10-23, К10-17 выпускают малогабаритными с толщиной слоя диэлектрика 0,025—0,07 мм и используют для работы в цепях постоянного и переменного токов, а также в импульсных режимах различных микросхем и диапазоне температур от —60 до +85 °С. Пределы номинальных напряжений конденсаторов К10-23 — 16 В, емкостей от 2,2 до 3000 пФ и от 680 до 33000 пФ, а конденсаторов К10-17 — 25 В, от 22 пФ до 0,012 мкФ и от 470 пФ до 0,33 мкФ соответственно.

Стеклокерамические конденсаторы СКМ К22У-1, К22У-2, К22У-3 и К22-5, имеющие секции из стеклокерамики и серебряной или алюминиевой фольги, могут работать в цепях постоянного и переменного токов, а также в импульсных режимах в диапазоне тем-

ператур от -60 до $+155^{\circ}\text{C}$. Емкость стеклокерамических конденсаторов лежит в пределах от 75 пФ до $0,047$ мкФ. Конденсаторы К22У-1 используют в качестве контурных, разделительных, сеточных, блокировочных, а К22У-3 — в гибридных интегральных микросхемах,

Стеклопленочные конденсаторы заменяют дорогостоящие слюдяные, имеют меньшие по сравнению с ними габаритные размеры. Их используют для работы в цепях постоянного тока и импульсных режимах. Эти конденсаторы применяют в резонансных контурах и

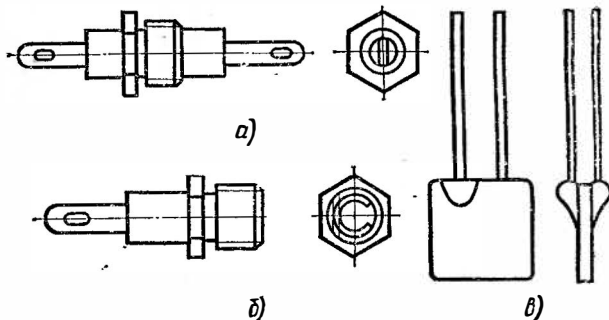


Рис. 10. Керамические конденсаторы:

а — проходной трубчатый КТП, *б* — опорный КДО,
в — пластинчатый К10-7

других высокочастотных схемах. Пределы номинальных емкостей, напряжение и диапазон рабочих температур стеклопленочных конденсаторов приведены в табл. 36.

Т а б л и ц а 36

Конденсатор	Номинальное напряжение, В	Пределы номинальных емкостей, пФ	Диапазон рабочих температур, $^{\circ}\text{C}$
К21-5а	160	2,2—16	От -60 до $+100$
К21-5б	160	2,2—330	» -60 » $+100$
К2-7	50	57—10 000	» -60 » $+155$

§ 11. Полулеремненные конденсаторы

Полулеремненные или подстроечные конденсаторы используют при настройке аппаратуры. Различают конденсаторы с воздушным и твердым (керамическим) диэлектриком.

Воздушные конденсаторы полулеремненной емкости выпускают плоскими и цилиндрическими. Плоские представляют собой многопластинчатую конструкцию, установленную на керамической плате. Между неподвижными пластинами статора вводят жестко закрепленные на оси подвижные пластины ротора. Наиболее распро-

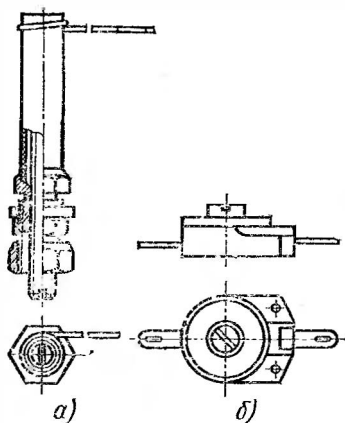


Рис. 11. Полушрепешные керамические конденсаторы:

а — КВК с воздушным диэлектриком, б — КПК роторного типа

странены плоские подстроечные воздушные конденсаторы КПВ и малогабаритные КПВМ, а также цилиндрические воздушно-керамические КВК (рис. 11, а).

Керамические подстроечные конденсаторы КПК (рис. 11, б) имеют большое количество типоразмеров. Наиболее часто применяют роторные. На статор и ротор конденсатора нанесены серебряные обкладки в форме полукруга. При повороте ротора происходит уменьшение площади перекрытия обкладок, вследствие чего меняется емкость конденсатора. Пределы изменения емкости подстроечных конденсаторов и их рабочие напряжения приведены в табл. 37.

Таблица 37

Конденсатор	Номинальное напряжение, В		Пределы номинальных емкостей, пФ	Температурный коэффициент емкости на 1° С. 10—6
	высокой частоты	постоянный		
КПК-1	250	500	2—7; 4—15; 6—25; 8—30	От 200 до 800
КПК-2	250	500	8—60; 10—100; 25—150	» 200 » 800
КПК-3	250	500	8—60; 10—100; 25—150	» 200 » 800
КПК-Т	—	500	1—10; 2—15; 2—20; 2—25	±400

§ 12. Катушки индуктивности

Катушки индуктивности применяют в качестве элементов колебательных контуров, дросселей и для связи одних цепей с другими.

Катушка индуктивности, которая служит для разделения постоянного и переменного токов или токов разных частот, называется *дросселем*. Индуктивное сопротивление (Ом) катушки зависит от частоты и определяется по формуле $X_L = 2\pi fL$, где 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* изготавливают 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 к активному сопротивлению на данной частоте называется *добротностью* катушки и определяется по формуле $Q_L = X_L / r = = 2\pi f L / r$.

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.

У однослойной катушки при сплошной намотке (виток к' витку) индуктивность (мкГн) можно определить по формуле

$$L = 0,01 D^2 \omega^2 / \left(\frac{l}{D} + 0,44 \right),$$

где 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 специальной («универсаль»). Индуктивность (мкГн) многослойной катушки можно определить по формуле

$$L = \frac{0,08 \cdot d_{\text{ср}}^2 \omega^2}{3d_{\text{ср}} + 9l + 10t},$$

где $d_{\text{ср}}$ — 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 которой провод зигзагом переходит с одного края катушки на другой (рис. 12).

Для устранения влияния электромагнитного поля катушки на соседние детали и, наоборот, внешних полей на катушку ее закрывают металлическим экраном. Для высокочастотных катушек экран изготавливают 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

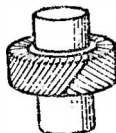


Рис. 12. Катушка с намоткой «универсаль»

было небольшим, его диаметр и длину берут в два раза больше диаметра и длины намотки. Для низкочастотных 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. Высокочастотные катушки имеют сердечники из карбонильного железа. Добротность катушек с таким сердечником равна 400—500, а без сердечника — не более 200.

Для контурных катушек длинных и средних волн используют броневые сердечники. 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.

Индуктивность катушки возрастает с увеличением числа и диаметра витков при их сближении, что учитывают при изготовлении катушки. Введение внутрь катушки сердечника из магнетодиэлектрика также увеличивает ее индуктивность. Если сердечник выполнен из диамагнитного материала, например латуни, то при его введении индуктивность катушки уменьшится. То же произойдет, если внутрь катушки ввести короткозамкнутый виток. На практике чаще всего индуктивность изменяют, перемещая сердечник внутри катушки.

Катушка, индуктивность которой можно изменять в больших пределах, называется *вариометром*. Чаще всего вариометр состоит из двух катушек, взаимная индуктивность которых может меняться. Вариометры применяют главным образом в передатчиках для настройки колебательных контуров и подбора связи между контурами.

§ 13. Трансформаторы

У низкочастотных трансформаторов магнитный поток первичной обмотки почти целиком пронизывает витки вторичной обмотки. ЭДС, наводимые в обмотках, пропорциональны их числам витков. Отношение числа витков первичной обмотки к числу витков вторичной называют *коэффициентом трансформации*. Отношение витков пропорционально отношению эдс, а 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 $n = w_1/w_2 = E_1/E_2 \approx U_1/U_2 \approx I_2/I_1$, где w_1, w_2 — число витков первичной и вторичной обмоток (рис. 13, а); E_1, E_2 — наводимые в обмотках эдс; U_1, U_2 — напряжения обмоток; I_1, I_2 — токи в обмотках.

Если вторичная обмотка имеет больше витков, чем первичная ($n < 1$), трансформатор называется *повышающим*, если меньше, чем первичная ($n > 1$), — *понижающим*. Когда во вторичную обмотку включена нагрузка R_n , тогда для источника трансформатор вместе с нагрузкой представляет собой некоторое эквивалентное сопротивление R_{13} (на рис. 13, а оно показано пунктиром). Значение эквивалентного сопротивления можно найти по формуле $R_{13} = n^2 R_n$.

Если во вторичную обмотку вместо активного сопротивления включить индуктивность L_2 или емкость C_2 , то их эквивалентные значения со стороны первичной обмотки $L_{13} = n^2 L_2$; $C_{13} = C_2/n^2$.

Таким образом, при трансформации переменного тока и напряжения происходит трансформация сопротивления, емкости и индуктивности.

Выходные трансформаторы усилителей и радиоприемников используют именно как трансформаторы сопротивления. С помощью трансформатора сопротивление нагрузки согласуется с внутренним сопротивлением лампы или транзистора. Конструкция трансформатора зависит от его назначения и частоты переменного тока цепи, куда он включен. В цепях низкой частоты применяют трансформато-

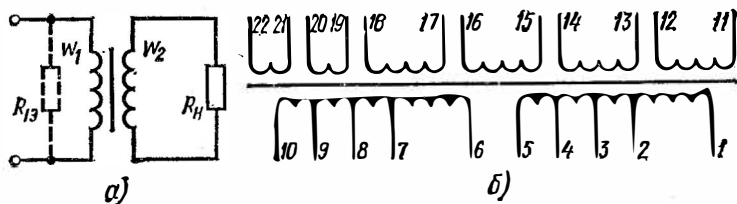


Рис. 13. Схемы двухобмоточного (а) и унифицированного многообмоточного (б) трансформаторов .

ры с сердечниками из ферромагнитных материалов. Трансформаторы высокой частоты иногда не имеют сердечников.

По назначению трансформаторы делят на сетевые и сигнальные. По числу обмоток различают двух- и многообмоточные трансформаторы и автотрансформаторы.

Сетевые трансформаторы служат для питания различных цепей радиоаппаратуры. Их первичную обмотку включают в сеть переменного тока; вторичных обмоток может быть несколько (рис. 13, б). У сетевых трансформаторов, выпускаемых промышленностью, можно переключать первичную обмотку на различные напряжения сети (110; 127 или 220 В).

Сигнальные трансформаторы преобразуют электрические сигналы. Примером их могут служить входные, межкаскадные и выходные трансформаторы усилителей. Конструктивно сигнальные трансформаторы звуковой частоты и сетевые трансформаторы малой и средней мощности выполняют одинаково.

Сердечники таких трансформаторов набирают из штампованных пластин электротехнической стали или железоникелевых сплавов. Сердечник может быть броневой Ш-образный (рис. 14, а), стержневой (рис. 14, б), тороидальный. Маломощные трансформаторы обычно делают с броневыми сердечниками, размеры которых приведены в табл. 38. Для высокочастотных трансформаторов применяют броневые сердечники из ферритов. Если материал сердечника должен иметь толщину меньше 0,3 мм, сердечник изготавливают не из пластин, а из ленты (рис. 15). Стержневую конструкцию сердечников применяют для трансформаторов большой мощности (более 1 кВт). Тороидальные сердечники сложны в производстве и дороги, но обладают малыми полями рассеяния и поэтому применяются довольно часто.

Таблица 38

Сердечник	Размеры (см. рис. 14, а)							
	L, мм	H, мм	h _с , мм	S _с , см ²	b _с , мм	h _о , мм	l _с , см	l _в , см
Ш16×8	24	21	8	0,41	6	15	5,1	4,7
Ш18×10	32	28	10	0,68	8	20	6,8	6
Ш18×16	32	28	16	1,1	8	20	6,8	7,1
Ш10×10	40	35	10	0,9	10	25	8,5	6,9
Ш10×16	40	35	16	1,45	10	25	8,5	8,1
Ш12×12	42	42	12	1,3	9	30	9,7	7,5
Ш12×12	48	42	12	1,3	12	30	10,3	8,5
Ш12×16	42	42	16	1,7	9	30	9,7	8,3
Ш12×20	48	30	20	2,2	12	18	7,6	10
Ш12×25	42	42	25	2,7	9	30	9,7	10
Ш16×16	64	40	16	2,3	16	24	10,5	11
Ш16×20	64	40	16	2,9	16	24	10,5	12
Ш16×25	64	56	25	3,6	16	40	13,7	13
Ш16×32	48	40	32	4,6	8	24	8,9	12
Ш16×40	64	40	40	5,8	18	24	10,5	16
Ш18×18	54	45	18	2,9	9	27	10	19,8
Ш18×36	54	45	36	5,8	9	27	19	13,4
Ш20×20	60	50	20	3,6	10	30	12,1	10,9
Ш20×20	80	70	20	3,6	20	50	17,1	13,8
Ш20×25	80	50	25	4,5	20	30	13,3	14,8
Ш20×30	60	50	30	5,4	10	30	11,1	12,9
Ш20×40	65	65	40	7,2	12,5	45	14,6	15,9
Ш25×25	100	62,5	25	5,6	25	37,5	16,4	17,4
Ш25×32	100	87,5	32	7,2	25	62,5	21,4	19
Ш25×40	100	62,5	40	9	25	37,5	16,4	21
Ш32×32	128	80	32	9,3	32	48	21	23
Ш32×40	128	80	40	11,5	32	48	21	24
Ш32×50	128	112	50	14,4	32	80	27,4	26
Ш32×63	128	80	63	18	32	40	21	28,4
Ш34×52	102	102	52	16,4	17	68	22,3	22,6
Ш35×35	130	105	35	11,2	30	70	25,5	23,5
Ш35×45	130	105	45	14,4	30	70	25,5	25,5
Ш40×40	160	100	40	14,4	40	60	26,3	28,5
Ш40×40	160	140	40	14,4	40	100	34,3	28,5
Ш40×50	160	100	50	18	40	60	26,3	30
Ш40×63	160	140	63	23	40	100	34,3	33
Ш40×80	160	100	80	29	40	60	26,3	37
Ш40×100	160	100	100	36	40	60	26,3	41
Ш40×100	160	149	100	36	40	100	34,3	41

Примечание. S_с — площадь сечения магнитопровода, l_в — средняя длина витка.

Каркас, на котором располагают обмотки, выполняют из электрокартона, гетинакса или текстолита. Картонные каркасы склеивают клеем БФ, а гетинаксовые и текстолитовые делают разборными.

Обмотки трансформаторов с выходной мощностью до 1 кВт изготовляют из провода с эмалевой изоляцией (ПЭЛ или ПЭВ). Обмотки высокого напряжения наматывают из провода с шелковой или эмалево-шелковой изоляцией (ПЭЛШО; ПЭЛШД). Между

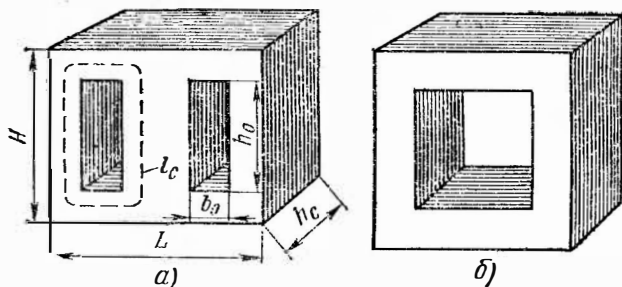


Рис. 14. Сердечники трансформаторов:

а — шроневой, б — стержневой

слоями обмотки помещают прокладки из лакоткани или тонкой бумаги. Для повышения влагостойкости изоляции каркас вместе с обмотками пропитывают битумом или битумным компаундом.

Автотрансформаторы имеют только одну обмотку и их можно включать как повышающие или как понижающие (рис. 16, а, б). В общей части обмоток проходит разность токов I_1 и I_2 . Эту часть витков выполняют из провода меньшего сечения. Поэтому при небольших значениях коэффициента трансформации ($n=1,5 \div 2$) автотрансформаторы по сравнению с двухобмоточными трансформаторами дают экономию меди.

Расчет трансформатора. Исходные данные: автотрансформатор повышающий (см. рис. 16, а); номинальное напряжение нагрузки $U_2=120$ В; мощность, потребляемая нагрузкой, $P_n=120$ В·А; минимальное напряжение сети $U_1=70$ В. Определить сечение сердечника, число витков обмоток и диаметр проводников.

1. Коэффициент трансформации $n_a=U_2/U_1=120/70=1,71$.
2. Расчетная мощность повышающего трансформатора $P_a=1,1P_n(1-1/n_a)=1,1 \cdot 120(1-1/1,71)=55$ В·А.
3. Площадь сечения магнитопровода

$$S = 1,2 \sqrt{P_a} = 1,2 \sqrt{55} = 9 \text{ см}^2.$$

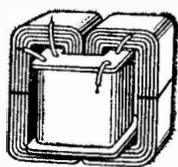


Рис. 15. Ленточный сердечник трансформатора

4. Примем для сердечника трансформаторную сталь с индукцией $B=1 \text{ Вб/м}^2$, тогда число витков обмотки на 1 В составит $\omega_0 = 45/BS = 45/1 \cdot 9 = 5$.

5. Число витков всей обмотки трансформатора $\omega_2 = \omega_0 U_2 = 5 \times 120 = 600$.

6. Число витков сетевой обмотки $\omega_1 = \omega_0 U_1 = 5 \cdot 70 = 350$.

7. Ток в общей (сетевой) части обмотки $I_{ax} = P_2/U_1 = 55/70 = 0,785 \text{ А}$.

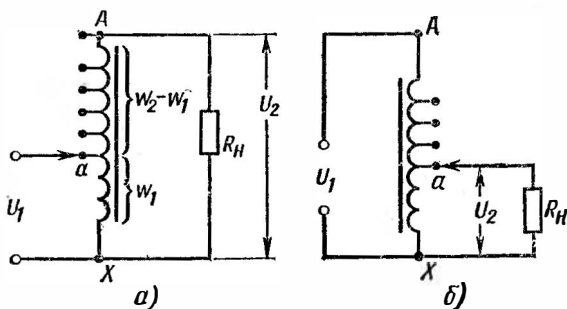


Рис. 16. Автотрансформаторы:

а — повышающий, б — понижающий

8. Диаметр провода этой обмотки

$$d_1 = 0,8 \sqrt{I_{ax}} = 0,8 \sqrt{0,785} \approx 0,71 \text{ мм.}$$

9. Ток повышающей части обмотки $I_2 = 1,1 P_H/U_2 = 1,1 \cdot 120/120 = 1,1 \text{ А}$.

10. Диаметр провода повышающей обмотки

$$d_2 = 0,8 \sqrt{I_2} = 0,8 \sqrt{1,1} = 0,84 \text{ мм.}$$

Таблица 39

Напряжение сети, В	Выводы трансформаторов			
	броневых		стержневых	
	соединяемые	для подачи напряжения	соединяемые	для подачи напряжения
127	—	1 и 4 или 6 и 9	1 и 9 или 4 и 6	1 и 4 или 9 и 6
220	2 и 6	2 и 8	2 и 8 1 и 6 1 и 6 1 и 6 3 и 7	1 и 6 2 и 8 2 и 8 3 и 7 1 и 6

Трансформатор	Напряжение на выводах вторичных обмоток, В				Максимальный ток между выводами вторичных обмоток, А,		
	11—12 13—14	15—16 17—18	19—20	21—22	11—12 13—14	15—16 17—18	19—20 21—22
ШЛ*16×20; 15 Вт							
ТА 1	28	28	6	6	0,2	0,15	0,148
ТА 7	180	112	20	20	0,026	0,028	0,026
ШЛ116×25; 26 Вт							
ТА 11	28	28	6	6	0,325	0,255	0,26
ТА 20	125	112	14	14	0,039	0,085	0,075
ТА 25	200	180	20	20	0,042	0,042	0,032
ШЛ116×32; 26 Вт							
ТА 33	56	40	12	10	0,22	0,13	0,2
ТА 38	80	80	20	20	0,115	0,11	0,12
ТА 50	200	180	20	20	0,058	0,058	0,047
ШЛ120×20; 40 Вт							
ТА 69	125	112	14	14	0,067	0,142	0,121
ТА 75	160	140	20	20	0,049	0,12	0,095
ШЛ120×25; 54 Вт							
ТА 88	28	28	6	6	0,65	0,55	0,48
ТА 105	180	112	20	20	0,114	0,116	0,088
ШЛ120×32; 68 Вт							
ТА 152	250	224	25	25	0,096	0,11	0,07
ТА 161	355	200	40	40	0,03	0,125	0,105
ШЛ120×40; 86 Вт							
ТА 163	28	28	6	6	1,0	1,0	0,71
ТА 170	180	112	20	20	0,22	0,268	0,15
ТА 177	315	200	40	40	0,1	0,17	0,09

* Указаны типоразмеры и мощность Ш-образных магнитопроводов из ленточных трансформаторных сталей.

11. Ток, потребляемый автотрансформатором из сети, $I_1 = 1,1 P_n / U_1 = 1,1 \cdot 120 / 70 = 1,885$ А $= I_{ax} + I_2 = 0,785 + 1,1 = 1,885$ А.

12. Примем плавность регулировки напряжения $\Delta U = 10$ В, тогда в повышающей части обмотки следует сделать отводы через каждые $w_0 \cdot \Delta U = 5 \cdot 10 = 50$ витков. Поскольку повышающая часть обмотки содержит $w_2 - w_1 = 600 - 350 = 250$ витков, то число отводов от нее составит $k = (w_2 - w_1) / (w_0 \Delta U) = 250 / 50 = 5$.

Для сетей с частотой 50 и 400 Гц промышленность выпускает анодные ТА, анодио-накальные ТАН, накальные ТН у н и ф и ц и р о-

ваные трансформаторы, а для электропитания устройств на полупроводниковых приборах — ТПП с выходными мощностями от единиц до сотен ватт (см. рис. 13, б).

Напряжение, снимаемое со вторичных обмоток, можно изменять, используя отводы первичной обмотки. Диапазон изменения напряжения составляет от -3 до $+9\%$ номинального. Выходное напряжение можно варьировать последовательным согласованным или встречным соединением первичной обмотки со вторичными компенсационными обмотками. Рекомендации по соединению обмоток для питания от сети напряжением 127 и 220 В частотой 50 Гц приведены в табл. 39, а основные характеристики броневых анодных трансформаторов ТА — в табл. 40.

§ 14. Резисторы

Общие сведения. Резисторы, составляющие до 35 % общего количества элементов в схемах современной радиоэлектронной аппаратуры РЭА, разнообразны по конструктивным и электрическим характеристикам. Различают резисторы постоянного и переменного сопротивления, проволочные и непроволочные. Непроволочные резисторы наиболее распространены в РЭА, поскольку обладают меньшими размерами, незначительной индуктивностью, относительной стабильностью активного сопротивления в широком диапазоне частот, просты в производстве.

Параметры. Основными параметрами резисторов являются следующие. *Номинальная мощность рассеивания* $P_{\text{ном}}$, которую резистор может рассеивать при непрерывной нагрузке, нормальном давлении и температуре. В РЭА чаще всего используют непроволочные резисторы на номинальные мощности 0,125; 0,25; 0,5; 1 и 2 Вт. Выбор резистора по мощности (Вт) производится по формуле $P = U^2/R$, где U — напряжение на резисторе, В; R — сопротивление резистора, Ом. С учетом возможного повышения температуры резисторы выбирают с номинальной мощностью на 20—30 % больше расчетной. Численное значение мощности обычно входит в обозначение резистора, например МЛТ-2, где $P_{\text{ном}} = 2$ Вт. Обычно на корпусах непроволочных резисторов приводится мощность при $P_{\text{ном}} \geq 2$ Вт, а на корпусах резисторов меньшей мощности — в таблицах. *Максимальное напряжение* $U_{\text{макс}}$ — наибольшее напряжение (постоянное или действующее переменное), которое можно приложить к токоотводам резистора с сопротивлением $R_{\text{ном}} \geq U_{\text{макс}}^2 / P_{\text{ном}}$.

Температурный коэффициент сопротивления ТКС характеризует относительное изменение сопротивления при изменении температуры на 1°C . Если сопротивление резистора с увеличением температуры возрастает, а с понижением уменьшается, то ТКС положительный, если же с повышением (уменьшением) температуры сопротивление снижается (увеличивается) — ТКС отрицательный. Температурный коэффициент сопротивления непроволочных постоянных резисторов 0,03—0,1 %/ $^\circ\text{C}$, а резисторов повышенной точности — на порядок меньше.

Шумы резистора оценивают по величине их переменной эдс, возникающей на его зажимах и отнесенной к 1 В приложенного к резистору напряжения постоянного тока. Измеряют эдс шумов в полосе частотой 50 Гц—5 кГц при рассеивании резистором номинальной мощности.

Номинальное сопротивление резистора $R_{ном}$ обычно обозначено на его корпусе. Действительное сопротивление резистора может отличаться от номинального, но не более допустимого значения.

Номинальные сопротивления резисторов, выпускаемых отечественной промышленностью и зарубежными фирмами, стандартизованы. В СССР установлено шесть рядов (Е6, Е12, Е24, Е48, Е96, Е192), а по СТ СЭВ 1076—78 кроме этих рядов допускается использовать Е3. Ряды Е представляют собой десятичные ряды геометрической прогрессии с ее знаменателем $q_m = \sqrt[m]{10}$ для ряда E_m . Цифра после буквы Е указывает число номинальных величин в каждом десятичном интервале. Например, ряд Е6 содержит шесть значений номинальных сопротивлений в каждой декаде, которые должны соответствовать числам 1; 1,5; 2,2; 3,3; 4,7; 6,8 или числам, полученным путем умножения либо деления этих чисел на 10^n , где n — целое положительное или отрицательное число.

Номинальное сопротивление повышенной точности резисторов (С1-8, С2-8 и др.) можно определить по формуле $R_{ном} = \sqrt[m]{10^n}$, где

Таблица 41

Ряды номинальных сопротивлений, Ом, кОм, МОм,								
Е6	Е12	Е24	Е6	Е12	Е24	Е6	Е12	Е24
1,0	1,0	1,0	10	10	10	100	100	100
		1,1			11			110
1,5	1,2	1,2	15	15	12	150	150	120
		1,3			13			150
		1,5			15			160
		1,6			16			180
		1,8			18			200
2,2	2,2	2,0	22	22	20	220	220	220
		2,2			22			240
		2,4			24			270
		2,7			27			300
		3,0			30			330
3,3	3,3	3,3	33	33	33	330	330	330
		3,6			36			390
		3,9			39			430
		4,3			43			470
		4,7			47			510
4,7	4,7	4,7	47	47	47	470	470	510
		5,1			51			560
		5,6			56			620
		6,2			62			680
		6,8			68			750
6,8	6,8	6,8	68	68	68	680	680	750
		7,5			75			820
		8,2			82			820
		9,1			91			910

Допускаемые отклонения от номинального сопротивления, %

±20	±10	±5	±20	±10	±5	±20	±10	±5
-----	-----	----	-----	-----	----	-----	-----	----

$m=48; 96; 192$ (номер ряда); n — целое положительное число от 1 до m . Значения, вычисленные по формуле, делят или умножают на 10; 100; 1000 и т. д., округляя результат до третьей значащей цифры (если их получилось более трех), и продлевают таким образом ряды в сторону как больших, так и меньших значений. Ряды номинальных сопротивлений резисторов широкого применения приведены в табл. 41.

Кодированные обозначения резисторов. Кодированные обозначения сопротивлений и допустимых отклонений введены для малогабаритных резисторов. Сокращенное обозначение состоит из цифры, указывающей номинальное сопротивление резистора, и двух букв, одна из которых означает единицу измерения сопротивления, а другая — его допустимое отклонение от номинального.

Единицу Ом обозначают буквой Е, килоом — К, мегаом — М, гигаом — Г, тераом — Т, при этом сопротивления от 100 до 910 Ом выражают в сотых долях килоома, а от 100 до 910 кОм — в сотых долях мегаома.

Если номинальное сопротивление выражается целым числом, обозначение единицы измерения ставят после него (например, 68Е ← 68 Ом; 68 К ← 68 кОм; 68 М ← 68 МОм), если целым числом с десятичной дробью, то вместо запятой после целого числа ставят обозначение единицы измерения, а дробь — после буквы (например, 3К3 ← 3,3 кОм; 4М7 ← 4,7 МОм), если десятичной дробью, меньшей единицы, то вместо нуля целых и запятой впереди цифры ставят буквенное обозначение единицы измерения (например, К47 ← 0,47 кОм, М47 ← 0,47 МОм).

Допустимые отклонения сопротивления (% от номинального) обозначают буквами: Ж — $\pm 0,1$; У — $\pm 0,2$; Д — $\pm 0,5$; Р — ± 1 ; Л — ± 2 ; И — ± 5 ; С — ± 10 ; В — ± 20 . Кодированное обозначение резистора, например сопротивлением 560 Ом и допустимым отклонением $\pm 0,5$ %, записывается К56Д.

Обозначение резисторов на схемах. Резисторы сопротивлением от 1 до 1000 Ом обозначают на схемах в омах целыми числами без указания единицы измерения (например, R470 означает, что резистор R имеет сопротивление 470 Ом). Сопротивление, составляющее долю или число с долями ом, обозначают в омах с указанием единицы измерения (например, 0,47 Ом или 4,7 Ом).

Резисторы сопротивлением от 1 до 910 кОм обозначают числом килоом с прибавлением буквы К (например, R910К), сопротивлением от 1 МОм и выше — в мегаомах без указания единицы измерения, причем если сопротивление равно целому числу, то после его численного значения ставят запятую и ноль (например, сопротивление 2 МОм означают 2,0).

Постоянные непроволочные резисторы. В зависимости от материалов проводящих элементов непроволочные резисторы постоянно сопротивляющиеся делят на группы: углеродистые, металлопленочные и металлооксидные, а также композиционные.

В углеродистых резисторах С1 проводящий элемент выполнен в виде пленки углерода, наклеенной на изоляционное (обычно керамическое) основание. Эти резисторы обладают хорошей стабильностью сопротивления, малой его зависимостью от напряжения и частоты, низким уровнем собственных шумов и устойчивостью к кратковременным (импульсным) перегрузкам, имеют небольшой отрицательный температурный коэффициент.

Поскольку для получения высокоомных резисторов наносят очень тонкий проводящий слой, при котором снижается стабильность сопротивления, их предельные номинальные сопротивления ограничивают: 1 МОм для резисторов мощностью 0,125 Вт; 5,1 МОм для резисторов 0,25 Вт и 10 МОм для резисторов от 0,5 до 10 Вт.

В металлопленочных и металлооксидных резисторах С2 проводящий элемент выполняют в виде пленки сплава или его оксида, нанесенного на изоляционное (керамическое, пластиковое) основание. По сравнению с углеродистыми металлопленочные

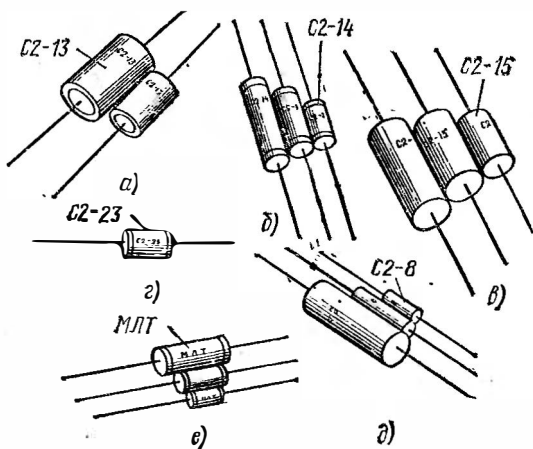


Рис. 17. Непроволочные постоянные резисторы (a—e)

резисторы имеют в 2—3 раза меньшие объем и массу при одинаковой мощности. Они обладают повышенной термостойкостью, хорошими частотными характеристиками, малым уровнем собственных шумов. Недостаток этих резисторов — в малой устойчивости к импульсным нагрузкам.

Композиционные резисторы С3, С4 с проводящим элементом из полупроводникового материала (смеси графита с диэлектриком) могут быть любой формы в виде массивного объема (С4) или пленки на любой поверхности (С3) различных номинальных сопротивлений. Эти резисторы недороги.

Недостатками композиционных резисторов являются значительная зависимость сопротивления от приложенного напряжения и частоты и повышенный уровень собственных шумов, что не позволяет использовать их в точных и высокочастотных устройствах РЭА.

Наиболее распространены постоянные непроволочные резисторы общего применения МЛТ (металлизированные лакированные термостойкие), С1-8, С2-1, С2-8, С2-10, С2-13, С2-14, С2-15, С2-17, С2-18, С2-19, С2-22, С2-23 и др., предназначенные для работы в цепях постоянного и переменного токов и в импульсных режимах. Резисторы

Условное обозначение резистора		Номинальная мощность, Вт	Пределы номинальных сопротивлений, Ом	Рабочее напряжение, В		Размеры, мм		Диапазон частот, Гц
группа	тип			постоянного и переменного токов	импульсного тока с $P_{ср} = 0,1 P_{ном}$	длина	диаметр	
С2	МЛТ	0,125	51—22·10 ⁵	200	350	6	2	5—600
		0,25	51—3·10 ⁶	250	450	7	3	
		0,5	100—51·10 ⁵	350	750	10,8	4,2	
		1	100—1·10 ⁷	500	1000	13,0	6,6	
		2	100—1·10 ⁷	750	1200	18,5	8,6	
С2	С2—22	0,125	24—22·10 ⁵	200	350	7	3	5—80
		0,25	24—51·10 ⁵	250	450	10,8	4,2	
С2	С2—23	0,125	24—2·10 ⁶	200	350	6	2	5—3000
		0,25	24—3·10 ⁶	250	450	7	3	
		0,5	24—51·10 ⁵	350	750	10,8	4,2	
		1	24—1·10 ⁷	500	1000	13	6,6	
		2	24—1·10 ⁷	750	1200	18,5	8,6	
С3	КИМ	0,05	10—56·10 ⁵	100	—	3,8	1,8	10—1000
		0,125	27—10 ⁹	200	—	8	2,5	
С1	С1—8	0,25			500	13	6,3	

Прецизионные резисторы

		0,5 1	10—10000	$U = \sqrt{R_H P_H}$	700 1000	17,5 300	6,3 11	5—2000
C2	C2—8	0,25 0,5 1	$102 \cdot 10^2$ — $511 \cdot 10^4$ $102 \cdot 10^2$ — $511 \cdot 10^4$ $102 \cdot 10^2$ — $1 \cdot 10^5$	250 350 500	500 700 1000	13 17,5 30	6,3 6,3 11	5—2000
C2	C2—13	0,25 0,5 1	1— 10^6	350 500 100	750 1000 1200	15,5 21 30	9 11 11	5—600
C2	C2—14	0,25 0,5 1	1— 10^6	350 500 700	750 1000 1200	13 18,5 27,5	6,6 8,6 8,6	5—600
C2	C2—15	0,15 0,5 1	10 000— 10^6	250 350 500	500 700 1000	16 21 30	9,2 11,2 11,2	5—600
C2	C2—1	0,25 0,5 1 2	$\left\{ \begin{array}{l} 1-5,1 \\ 5,1-51 \cdot 10^4 \\ 1-51 \cdot 10^4 \\ 1-10^6 \end{array} \right.$ $\left\{ \begin{array}{l} 1-5,1 \\ 5,1 \cdot 51 \cdot 10^5 \end{array} \right.$	350 500 700 1000	700 1000 1400 2000	$\frac{13,2}{16,1}$ 18 28 $\frac{35}{50}$	$\frac{7}{5,4}$ 7 9 $\frac{10,5}{9}$	5—2500

Условное обозначение резистора		Номинальная мощность, Вт	Пределы номинальных сопротивлений, Ом	Рабочее напряжение, В		Размеры, мм		Диапазон частот, Гц
группа	тип			постоянного и переменного токов	импульсного тока с $P_{\text{ср}}$ $0,1 P_{\text{ном}}$	длина	диаметр	
<i>Высокочастотные резисторы</i>								
С2	С2—10	0,125	} 10—1000 1—3000	200	400	7	2	5—600
		0,25		200	400	8	2,7	
		0,5		350	750	10,2	3,8	
		1		500	1000	13	6,2	
		2		750	1200	18,5	8,2	
С2	С2—17	0,5	1—3000	350	750	10	3,8	5—2500
		1,0		500	1000	12,6	6,2	
		2,0		750	1200	18	8,2	
С2	С2—18 С2—19	0,5	0,51—51	$U = \sqrt{R_H P_H}$	—	10	4	5—600
	С2—18 С2—19	1				13	6	
	С2—18 С2—19	2				18	8	

Таблица 43

Резистор	Номинальное сопротивление	Максимальное напряжение, В	Габаритные размеры (диаметр и длина), мм	Резистор	Номинальное сопротивление	Максимальное напряжение, В	Габаритные размеры (диаметр и длина), мм
BC-0,25	27 Ом—2 МОм	350	5,5×17	УЛИ-0,25	1—9,76 Ом	1,5	7,2×16
BC-0,5	27 »—10 »	500	5,5×17	УЛИ-0,5	0,75—9,76 »	2,2	10×17
BC-1	27 »—10 »	700	7,6×30	УЛИ-1	1—9,76 »	3	12×26
BC-2	27 »—10 »	1000	10×48	БЛП-0,5	1—20 »	30	10×17
МОН-0,5	1—100 Ом	7	4×10	БЛП-1	1—20 »	4,5	12×2,5
МОН-1	1—100 »	10	6,5×13	БЛП-1	20,3 Ом—100 кОм	300	10×47
МОН-2	1—100 »	15	8,5×18	МГП-0,5	100 кОм—5,1 МОм	400	14×30
MT-0,25	100 Ом—2 МОм	200	2,7×8	МУН-0,5	24—200 Ом	10	4,2×11
MT-0,5	100 »—5,1 »	350	4,2×11	МУН-1	24—200 »	14	6,6×13
MT-1	100 »—10 »	500	6,6×18	МУН-2	24—200 »	20	8,6×18
MT-2	100 »—10 »	700	8,6×28				

Резистор	Номинальное сопротивление	Размеры, мм	Резистор	Номинальное сопротивление	Размеры, мм
ПЭ-7,5*	3 Ом—5,1 кОм	14×32	ПЭВТ-10	10 Ом—3 кОм	16×43
ПЭ-15	3 » —5,1 »	16×52	ПЭВТ-25	15 » —7,5 »	23×52
ПЭ-20	2,4 » —5,1 »	20×52	ПВЭТ-50	20 » —20 »	32×93
ПЭ-50	1 » —16 »	25×93	ПЭВР-10	3—220 Ом	16×43
ПЭВ-7,5	1 » —3,3 »	16×37	ПЭВР-20	10—430 Ом	19×52
ПЭВ-10	1,8 » —10 »	16×43	ПЭВР-50	22 Ом—1,5 кОм	32×93
ПЭВ-20	4,7 » —20 »	19×52	МВС-0,5	10 кОм—10 МОм	7×28
ПЭВ-50	18 » —51 »	32×93	МВС-1	50 » —10 »	9×46

* Цифры после букв означают номинальную мощность.

С2-22 можно использовать лишь в бытовой аппаратуре. В РЭА с более высокими требованиями к параметрам резисторов преимущественно применяют прецизионные резисторы повышенной стабильности и точности. Основные параметры некоторых резисторов и эксплуатационные характеристики приведены в табл. 42, а общий вид резисторов — на рис. 17, а — е.

Наряду с указанными выше в эксплуатации находятся резисторы с обозначением, установленным до 1966 г: МТ (металлизированные теплостойкие), ВС (влагостойкие углеродистые), МОН (металлооксидные низкоомные), КИМ (композиционные изолированные малогабаритные). В измерительной аппаратуре применяют резисторы повышенной стабильности и точности (прецизионные): УЛИ (углеродистые лакированные измерительные); БЛП (бороуглеродистые лакированные прецизионные), МЛП (металлизированные лакированные прецизионные). Параметры некоторых из этих постоянных резисторов приведены в табл. 43.

Постоянные проволочные резисторы. Их применяют в РЭА для получения очень точного сопротивления или для рассеивания большой мощности. При изготовлении таких резисторов проволоку из высокоомного сплава наматывают на каркас из изоляционного материала (гетинакса, фарфора). Проволочные резисторы обладают значительной емкостью и индуктивностью, для снижения последней производят бифилярную намотку.

В аппаратуре используют проволочные резисторы ПЭ (эмалированные остеклованные с гибкими выводами), ПЭВ (влагостойкие с жесткими выводами), ПЭВР (с передвижным хомутиком для регулировки и жесткими выводами), МВС (микропроволочные высоковольтные в стеклянной изоляции), МВСГ (герметизированные), ПКВ (влагостойкие). Параметры некоторых типов постоянных проволочных резисторов приведены в табл. 44, а их общий вид — на рис. 18.

Переменные непроволочные резисторы. Различают регулировочные и подстроечные переменные резисторы. Регулировочные резисторы используют для изменения напряжения, тока и других параметров РЭА (например, для регулирования громкости, тембра звучания), а подстроечные — для установки режимов аппаратуры при ее производстве и налаживании.

Промышленностью выпускаются различные типы переменных резисторов. Наиболее распространены композиционные переменные резисторы СП, которые состоят из изолирующего основания, токопроводящего элемента, скользящего контакта и подвижной системы с осью (рис. 19, а — в). Регулировочные резисторы с одним или двумя отводами от токопроводящего элемента применяют в тонкопенсированных регуляторах громкости, а с двухполюсным выключателем и регулировкой сопротивления в начале поворота оси — для включения питания РЭА. Подстроечные резисторы снабжены стопором оси, что исключает случайное изменение установленного сопротивления резистора в период эксплуатации.

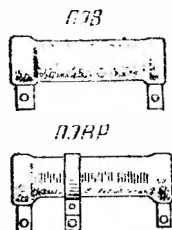


Рис. 18. Проволочные постоянные резисторы

Сдвоенные переменные резисторы содержат два переменных резистора с общей осью или двумя концентрически расположенными осями. Эти резисторы могут соединяться с выключателем питания. Функциональная зависимость введенного сопротивления переменного резистора от положения его подвижной части показана на рис. 20, где R_n и α_n — соответственно полное активное сопротивление токопроводящего элемента и полный угол поворота оси резистора (от

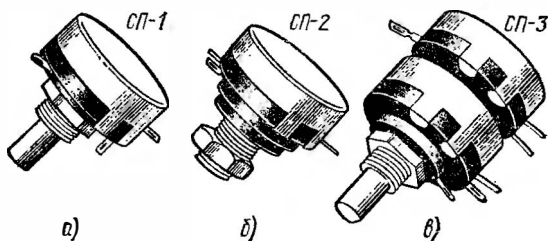


Рис. 19. Непроволочные переменные резисторы (а—в)

220 до 295°); R и α — сопротивление между средним и левым выводами резистора и соответствующий ему угол поворота.

Переменные резисторы имеют различную зависимость изменения сопротивления от угла поворота подвижного контакта: группа А — линейную (см. рис. 20), В — логарифмическую, В — экспоненциальную, группы Е и И — симметрично обратную функциональную (зависимость сопротивления изменяется с первой или второй половины угла поворота подвижного контакта).

Регулировочные резисторы могут иметь характеристику любого вида, а подстроечные — обычно вида А. Функциональные характеристики Е и И присущи композиционным сдвоенным регулировочным резисторам с общей осью, один резистор которых имеет характеристику вида Е, а другой — вида И. Эти резисторы используют в качестве регуляторов стереобаланса двухканальных стереофонических усилителей, в один канал которых включается резистор с характеристикой И, а в другой — с характеристикой Е.

Допустимые отклонения сопротивлений на переменных резисторах не обозначают. Допустимое отклонение сопротивления от номинального для резисторов до 220 кОм составляет $\pm 20\%$, для

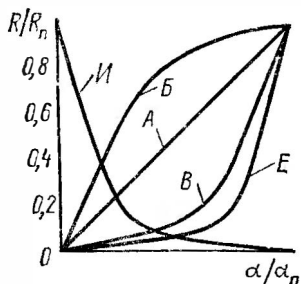


Рис. 20. Функциональные характеристики переменных резисторов

Таблица 45

Тип	Диапазон рабочих температур, °С	Функциональная характеристика	Номинальная мощность, Вт	Пределы номинальных сопротивлений	Максимальное рабочее напряжение, В
СП-1 СП-2	От -65 до +125	А	2	470 Ом— 4,7 МОм	500
СП-3 СП-4		Б, В	1; 0,5	4,7 кОм— 2 МОм	400
СПЗ-1а СПЗ-1б	От -60 до +70	А	0,25*	470 Ом—1 МОм	250
СПЗ-2а	От -60 до +70	А	0,5*	470 Ом— 4,7 МОм	300
СПЗ-2б		Б, В	0,25*	4,7 кОм— 2,2 МОм	200
СПЗ-3а	От -60 до +55	А	0,5*	1 кОм—1 МОм	50
СПЗ-3б		В	0,025*	4,7 кОм— 1 МОм	30
СПЗ-4а	От -40 до +70	А	0,25	220 Ом— 470 кОм	150
СПЗ-4б		Б, В	0,125	4,7—470 кОм	100
СПЗ-12	От -20 до +70	А	0,25	2,2 кОм— 2,2 МОм	—
		В, Б	0,125	4,7 кОм— 2,2 МОм	—
		Е, И	0,125	100 кОм— 2,2 МОм	—
СПЗ-23	От -45 до +75	А	0,125; 0,25; 0,5	220 Ом— 4,7 МОм	100; 150; 200; 250
		Б, В С	0,05; 0,125;	1 кОм— 2,2 МОм	50; 100
		Е, И	0,25	22 кОм— 2,2 МОм	
СПЗ-30а	От -45 до +70	А	0,25	2,2 кОм— 6,8 МОм	200
СПЗ-30б		Б, В	0,125	4,7 кОм— 2,2 МОм	

Тип	Диапазон рабочих температур, °С	Функциональная характеристика	Номинальная мощность, Вт	Пределы номинальных сопротивлений	Максимальное рабочее напряжение, В
СП-30В	От -45 до +70	В	0,125	4,7 кОм— 2,2 МОм	200
СПО-1	От -60 до +125	А	1	47 Ом— 4,7 МОм	350
СПО-2			2		600
СП4-1а	От -60 до +125	А	0,5	100 Ом— 4,7 МОм	250
СП4-1б		Б, В	0,25		

* При температуре окружающей среды 40 °С.

резисторов более 220 кОм — $\pm 30\%$. Основные параметры непроходных переменных резисторов приведены в табл. 45.

§ 15. Полупроводниковые резисторы

К полупроводниковым резисторам относят терморезисторы, болометры, позисторы, варисторы и фоторезисторы.

Терморезисторы. Они представляют собой полупроводниковые тепловые приборы с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления ТКС (кривая 1, рис. 21, а). При увеличении температуры возникает термогенерация носителей заряда в материале полупроводника, вследствие чего снижается электрическое сопротивление терморезистора ТР. Различают ТР, реагирующие на изменение температур окружающей среды и на нагрев, вызванный проходящим через них током. Свойства ТР первой группы определяются температурной характеристикой $R_T = \varphi(t^\circ)$, выражающей зависимость сопротивления прибора от температуры окружающей среды (кривая 2). Свойства ТР второй группы оценивают по вольтамперной характеристике $U = \varphi(I)$, которая отражает его нагрев проходящим током и определяет нелинейные свойства прибора (рис. 21, б).

Параметрами терморезисторов являются:

сопротивление (ом) R_T при температуре 20 °С; α_T — температурный коэффициент сопротивления, выражающий в процентах изменение сопротивления прибора при изменении температуры на 1 °С (кривая 1 на рис. 21, а);

мощность рассеивания P_T , при которой температура не превышает допустимой;

постоянная времени τ , характеризующая тепловую инерционность терморезистора ТР ($\tau = C_T/P_D$, где C_T — теплоемкость, представляющая энергию, необходимую для нагрева ТР на 1°C , Вт·с/ $^\circ\text{C}$; P_D — коэффициент рассеивания, т. е. мощность, рассеиваемая ТР при разности температур между ним и средой в 1°C , Вт/ $^\circ\text{C}$).

Обозначение терморезисторов состоит из трех-четырех элементов, например, СТ1-21, СТ2-26, СТ3-27, СТ4-15 и др. Буквы первого элемента СТ означают термочувствительное сопротивление, цифры

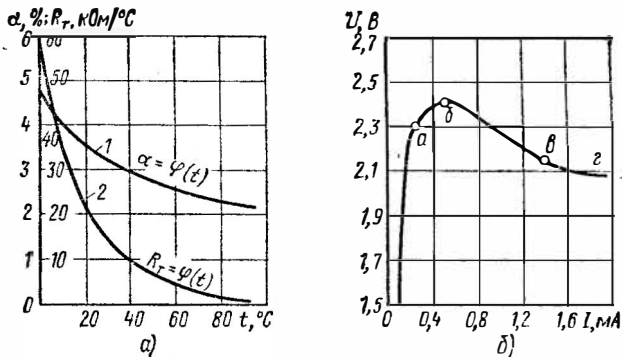


Рис. 21. Характеристики терморезисторов:

а — изменения температурного коэффициента и сопротивления,
 б — вольтамперная

второго элемента характеризуют тип используемого полупроводникового материала (1 — кобальто-марганцевый, 2 — медно-марганцевый, 3 — медно-кобальто-марганцевые, 4 — кобальто-никелево-марганцевые), третьего элемента — код конструкции, буквы четвертого элемента обозначают код интервала рабочих температур (эти буквы можно и не ставить).

Терморезисторы групп СТ1-21, СТ3-21, СТ3-27 и других используют в качестве регулируемых бесконтактных резисторов в цепях автоматики; групп ММТ, КМТ и других — для измерения и регулирования температуры, а также для термокомпенсации элементов электрических цепей; групп Т8Д, Т8Е, Т8С2М и других — в качестве термочувствительного элемента при измерении мощности СВЧ колебаний.

Болометры. Представляют собой особый вид терморезисторов, используемых в качестве приемников лучистой энергии. Действие болометров основано на изменении сопротивления чувствительного элемента при его нагревании в результате поглощения энергии излучения.

Полупроводниковые болометры содержат два (активный и компенсационный) терморезисторных элемента. Активный непосредственно подвергается воздействию измеряемого излучения, а компенсационный экранирован от излучения и служит для компенсации влияния изменения температуры окружающей среды. Обозначения

полупроводниковых болометров состоят из букв и цифр (например, БКМ-1, БКМ-2), указывающих порядковый номер типа прибора.

Применяют болометры для бесконтактного дистанционного измерения температуры в качестве приемников лучистой энергии в спектральных приборах, в различных системах ориентации. Иммерсионные полупроводниковые болометры (например, БП1-2) используют в качестве приемников инфракрасного излучения в аппаратуре автоконтроля ответственных узлов железнодорожного подвижного состава (колесных пар, подшипников и др.)

Позисторы. Представляют собой терморезисторы с положительным температурным коэффициентом сопротивления. ТКС позисторов, изготовленных на основе титаната бария, достигает десятков процентов на 1°C .

Применяют позисторы для ограничения и стабилизации тока в электрических цепях, авторегулировки усиления в схемах термокомпенсации, для защиты элементов схемы и приборов от перегрева, регулировки температуры и т. д. Позисторами служат приборы СТ5-1, СТ6-1А, СТ6-1Б, СТ6-5Б, СТ6-4В, СТ6-4Г и др.

Основные параметры некоторых терморезисторов и позисторов приведены в табл. 46.

Варисторы. Эти приборы представляют собой полупроводниковые резисторы объемного типа с нелинейными вольт-амперными харак-

Таблица 46

Тип	Номинальное сопротивление, кОм	Температурный коэффициент сопротивления, %/ $^{\circ}\text{C}$	Номинальная мощность, кВт	Габаритные размеры (без выводов), мм	Масса, г	Способ подогрева
<i>Терморезисторы</i>						
СТ1-17	0,3—22	4—7	500	—	0,2	Прямой
СТ1-19	3,3 4,7; 6,8; 10; 100; 150; 1500; 2200	2,3—4	60	—	0,3	»
СТ3-19	2,2; 10; 15	3,4—4,5	45	$\varnothing 4 \times 2,5$	0,3	»
СТ3-21	0,68; 1; 1,5; 10; 15	3—4,1	60	$9,5 \times 4,8$	2,8	Ксесенный
СТ3-25	1,5; 2,2; 3,3	3—3,75	8	$\varnothing 49 \times 33$	2,5	Прямой
КМТ-1	22—1000	4,2—8,4	1000	3×13	—	—
ММТ-9	0,01—4,7	2,4—4	2	$\varnothing 19 \times 3$	3,4	—
Т8С1М	0,15	1—5,8	24	—	—	Прямой
<i>Позисторы</i>						
СТ6-1А	0,04—0,4	10	1100	$\varnothing 5 \times 2,5$	—	—
СТ6-1Б	0,1—0,7	15	800	$\varnothing 5 \times 2,5$	—	—
СТ6-3Б	1—10	15	200	$\varnothing 2 \times 2$	—	—
СТ6-4Б	0,1—0,4	15	800	$\varnothing 7 \times 5$	—	—

Примечание. Параметры терморезисторов и позисторов указаны для температуры окружающей среды 20°C , а СТ1-19 — для 150°C .

теристиками (рис. 22, а — в). Для напряжений различной полярности вольт-амперные характеристики симметричны. Варисторы можно использовать в цепях постоянного, переменного (с частотами до нескольких килогерц) и импульсного токов. Изготавливают стержневые (рис. 22, а) и дисковые (рис. 22, б) варисторы из порошкообразного карбида кремния.

Основными параметрами варисторов являются следующие.

Номинальное классификационное напряжение $U_{кл}$ — постоянное напряжение, при котором через варистор проходит заданный ток $I_{кл}$.

Максимально допустимое импульсное напряжение $U_{и.макс}$ для стержневых варисторов $[U_{и.макс} = (1,2 \div 2) U_{кл}]$, а для дисковых $U_{и.макс} = (3 \div 4) U_{кл}$.

Коэффициент нелинейности β — отношение сопротивления варистора постоянному току к его сопротивлению переменному току.

Номинальная мощность рассеивания $P_{ном} = I_{кл} U_{кл}$ при заданной температуре среды.

Условное обозначение варисторов состоит из букв и цифр (например, СН1-1-1-1500). Буквы СН обозначают — нелинейное сопротивление, первая цифра указывает применяемый материал, вторая — конструкцию (1 — стержневой, 2 — дисковый), третья — порядковый номер разработки; число в конце обозначения характеризует величину падения напряжения.

Параметры некоторых типов варисторов приведены в табл. 47.

Варисторы применяют в устройствах стабилизации высоковольтных источников напряжения телевизионных приемников, для стабилизации токов в отклоняющих катушках кинескопов, в системах размагничивания цветных кинескопов, системах автоматического регулирования.

Фоторезисторы. Представляют собой полупроводниковые приборы, электрическое сопротивление которых изменяется под действием электромагнитного (светового) излучения. Характер изменения сопротивления определяется интенсивностью и составом облучающего света.

Параметрами фоторезисторов ФР являются следующие.

Рабочее напряжение, при котором ФР может быть использован в течение указанного срока службы с сохранением его параметров.

Допустимая мощность рассеивания $P_{ф}$ — максимальная мощность, рассеиваемая на ФР без его теплового повреждения.

Темновое электрическое сопротивление R_t — при 20 °С через 30 с после снятия освещенности 200 лк.

Темновой ток I_t , проходящий в цепи ФР при приложенном рабочем напряжении через 30 с после снятия освещенности 200 лк.

Световой ток I_s , проходящий через ФР при напряжении и освещенности 200 лк от источника света с цветовой температурой 2850К.

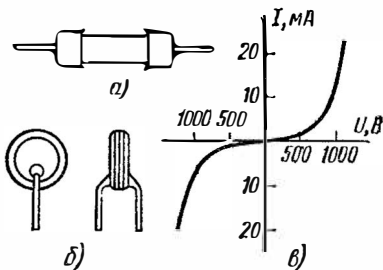


Рис. 22. Общий вид варисторов (а — стержневого, б — дискового) и их вольтамперная характеристика (в)

Номинальное классификационное напряжение, В	Максимально допустимое импульсное напряжение, кВ	Коэффициент нелинейности	Номинальное классификационное напряжение, В	Максимально допустимое импульсное напряжение, кВ	Коэффициент нелинейности
Стержневые варисторы			Дисковые варисторы		
СН1-1-1 ($\varnothing 9 \times 19$ мм) $I_{кл} = 10$ мА; $P_{ном} = 1$ Вт			СН1-2-1 ($\varnothing 16 \times 8$ мм) $I_{кл} = 8$ мА; $P_{ном} = 1$ Вт		
560	1,2	3,5	56	180	3,5
680	1,3	4	68	210	3,5
820	1,4	4	82	250	3,5
1000	1,5	4	100	360	3,5
1200	1,6	4	120	360	3,5
1300	1,7	4,5	150	450	3,5
1500	2,0	4,5	180	550	3,5
			220	650	3,5
			270	800	3,5
СН1-1-2 ($\varnothing 7 \times 16$ мм) $I_{кл} = 10$ мА; $P_{ном} = 0,8$ Вт			СН1-2-2 ($\varnothing 12 \times 7$ мм) $I_{кл} = 3$ мА; $P_{ном} = 1$ Вт		
560	1,2	3,5	15	60	3
680	1,3	4,0	18	70	3
1300	1,7	4,5	22	80	3
			27	90	3
			39	110	3
СН1-6 ($\varnothing 35 \times 9$ мм) $I_{кл} = 20$ мА; $P_{ном} = 2,5$ Вт			47	120	3,5
33	0,15	4,0	56	150	3,5
			68	170	3,5
СН1-8 ($\varnothing 13 \times 120$) $I_{кл} = 50$ мкА; $P_{ном} = 2$ Вт			СН1-10 ($\varnothing 40 \times 10$ мм) $I_{кл} = 10$ мА; $P_{ном} = 3$ Вт		
20 000	30	6	15	75	3,2
25 000	30	6	18	90	3,2
			27	135	3,2
СН1-8-20 $I_{кл} = 0,05$ мА; $P_{ном} = 6$ Вт			33	165	3,2
20 000	30 000	6—10	39	195	3,2
			47	235	3,2
СН1-8-25 $I_{кл} = 0,05$ мА; $P_{ном} = 2$ Вт					
25 000	30 000	6—10			

Примечание. Номинальная мощность указана при температуре окружающей среды 70°C для варисторов СН1-1-1, СН1-1-2, при 75°C — для СН1-6, при 60°C — для СН1-2-1, СН1-2-2.

Кратность изменения сопротивления R_T/R_C — отношение темнового сопротивления ФР к сопротивлению при освещенности 200 лк от источника с цветовой температурой 2850К.

Удельная чувствительность ϵ_0 — отношение фототока к произведению величины падающего на фоторезистор светового потока и приложенного к нему напряжения, т. е. $\epsilon_0 = I_{\phi}/(\Phi U)$.

Интегральная чувствительность $\epsilon_{\text{и}}$ — произведение удельной чувствительности на предельное рабочее напряжение, т. е. $\epsilon_{\text{и}} = \epsilon_0 U$.

Параметры наиболее распространенных фоторезисторов приведены в табл. 48.

Таблица 48

Фоторезистор	Рабочее напряжение, В	Мощность рассеивания, Вт	Темновое сопротивление, МОм	Темновой ток, мкА	Световой ток, мА	Кратность изменения сопротивления	Удельная чувствительность, мА/(лм·В)	Интегральная чувствительность, мкА/лм
СФ2-1	15	10	15	0,5	1	500	400	10
СФ2-2	2	50	2	0,5	1,5	500	75	0,36
СФ2-8	100	125	100	—	1	1000	—	—
СФ2-16	10	10	3,3	—	0,3	100	—	—
СФ3-1	15	10	30	0,01	1,5	1500	690	29
СФ3-2	5	100	5	0,5	2	500	89	—
СФ3-5	2	50	2	—	0,5	500	—	—
СФ3-8	20	50	20	—	0,5	500	—	—
ФСК-1	50	125	3,3	5	2	100	7	2,8
ФСК-2	100	125	3,3	10	1	20	1,6	0,5
ФСД-1	20	50	2	1	3	150	39	15
ФСА-1	100	10	0,02	—	—	1,2	500	—
ФСА-12	40	10	0,05	—	—	1,2	500	—

Фоторезисторы используют для формирования электрических сигналов под действием облучающих световых сигналов, а также для обнаружения и регистрации световых сигналов.

Глава III. ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

§ 16. Микрофоны

Микрофоны служат для преобразования энергии звуковых колебаний в электрический ток звуковой чистоты. Их широко применяют в технике проводной и радиосвязи, радиовещания, телевидении, аппаратуре звукозаписи.

Микрофоны характеризуются чувствительностью, диапазоном частот и неравномерностью частотной характеристики в этом диапазоне, характеристикой направленности.

Чувствительность определяется отношением напряжения, развиваемого микрофоном на его номинальном сопротивлении нагрузки,

к звуковому давлению, действующему на чувствительный элемент микрофона, и измеряется в вольтах (или милливольты) на паскаль (В/Па или мВ/Па).

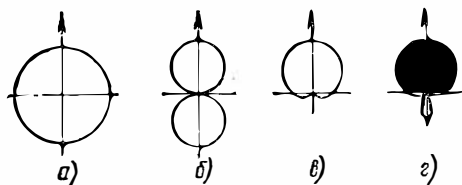


Рис. 23. Характеристики направленности микрофонов: а — круг, б — восьмерка, в — кардиоида, г — суперкардиоида

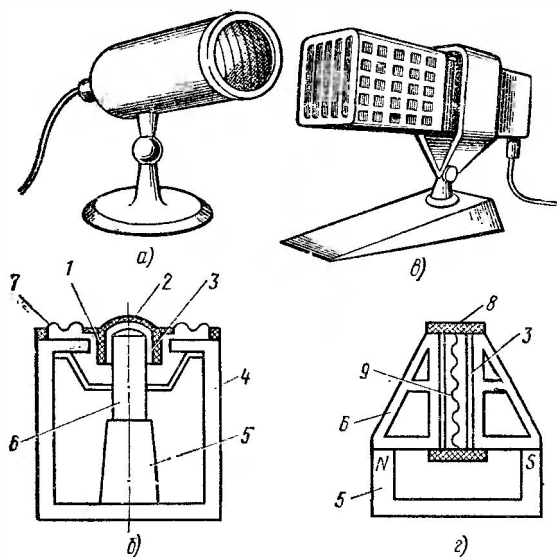


Рис. 24. Электродинамический катушечный (а, б) и ленточный (в, г) микрофоны:

1 — звуковая катушка, 2 — диафрагма, 3 — зазор, 4 — магнитопровод, 5 — магнит, 6 — полюсный наконечник, 7 — гофрированный воротник, 8 — изолирующие перемычки, 9 — гофрированная лента

Частотная характеристика выражает зависимость чувствительности микрофона от частоты на его акустической (рабочей) оси. Неравномерность частотной характеристики определяется отношением максимального значения чувствительности к минимальному в пределах номинального диапазона частот и измеряется в децибелах.

Характеристика (диаграмма) направленности выражает зависимость (в полярных координатах) чувствительности на данной частоте от угла между акустической (рабочей) осью и направлением прихода воздействующего на микрофон звука. Эта характеристика зависит от устройства звукоприемной части микрофона. Микрофоны, у которых звуковая волна может воздействовать только на одну сторону подвижной системы (диафрагмы), не обладают резко выраженной направленностью и имеют, особенно в области низших частот, круговую характеристику направленности (рис. 23, а). Микрофоны, у которых диафрагма открыта с двух сторон (с фронта и тыла), реагируют на разность звуковых давлений, возникающих по обе стороны диафрагмы. Они имеют диаграмму направленности в виде восьмерки (рис. 23, б) и обладают двусторонней направленностью. Для получения острой направленности действия используют комбинированные микрофоны, составленные из двух (направленного и ненаправленного). Комбинированные микрофоны позволяют получить однонаправленную диаграмму в виде кардиоиды (рис. 23, в) или суперкардиоиды (рис. 23, г). Эти микрофоны обеспечивают выделение полезного сигнала при повышенном уровне шумов окружающей среды.

По принципу действия (способу преобразования звукового сигнала) микрофоны подразделяют на электродинамические (катушечные и ленточные), электростатические (конденсаторные), пьезоэлектрические, электромагнитные и угольные. Электродинамические и электростатические микрофоны широко применяют в профессиональных установках высококачественного звукоусиления, радиовещания, телевидения, а электромагнитные, пьезоэлектрические и угольные — в простейших звукоусилительных установках (мегафонах) и устройствах телефонной и диспетчерской связи. Рассмотрим первые два вида микрофонов.

В электродинамических катушечных микрофонах МД подвижная диафрагма 2 соединена со звуковой катушкой 1, которая расположена в зазоре 3 магнитной системы микрофона (рис. 24, а, б). Под воздействием звуковых колебаний среды диафрагма вместе со звуковой катушкой совершает возвратно-поступательное движение в направлении рабочей оси микрофона. В результате взаимодействия проводников катушки с магнитным полем стержневого 5 (кержового) или кольцевого магнита на выводах катушки появляется эдс звуковой частоты.

Диафрагма катушечных микрофонов выполняется из жесткого материала (тонкой пластмассы, специальной бумаги, пропитанной лаком). Плоские края диафрагмы прикреплены через эластичный гофрированный воротник 7 к корпусу или магнитной системе микрофона. Эластичность гофрированного воротника обеспечивает подвижность диафрагмы со звуковой катушкой.

Звуковая катушка наматывается изолированным медным или алюминиевым проводом $\varnothing 0,03-0,05$ мм. Кольцевые (трубчатые) или стержневые (кержовые) магниты 5 катушечных микрофонов изготавливают из высококоэрцитивных сплавов стали с добавлением меди, никеля, титана и снабжают магнитопроводами 4 из мягких сталей, обладающих небольшим магнитным сопротивлением.

В корпусе или подставках некоторых микрофонов устанавливаются выходные трансформаторы, обеспечивающие лучшее согласование с нагрузкой, особенно при подключении микрофона к усилителю с большим входным сопротивлением.

Электродинамические ленточные микрофоны МЛ вместо звуковой катушки имеют тонкую (2 мкм) гофрированную металлическую (обычно алюминиевую) ленту 9 (рис. 24, в, г), которая движется в магнитном поле. Диафрагма в микрофонах отсутствует, а магнитный зазор 3 не кольцевой, а линейный. В ленте возникает переменная эдс, которая подводится к первичной обмотке микрофонного трансформатора. Поскольку сопротивление ленты мало (около 0,5 Ом), в ленточных микрофонах используют повышающий выходной трансформатор. Эти микрофоны характеризуются более естественным и мягким звучанием и, несмотря на малую надежность, широко применяются в студиях и концертных залах.

Конденсаторный микрофон (рис. 25, а) представляет собой плоский конденсатор (звукоприемный капсюль), у которого одна из обкладок (мембрана) подвижная. Под воздействием звуковых колебаний изменяется емкость конденсатора. Чтобы эти изменения превратить в переменный ток звуковой частоты, на обкладку конденсаторного микрофона подают постоянное напряжение (рис. 25, б). Звукоприемный капсюль конденса-

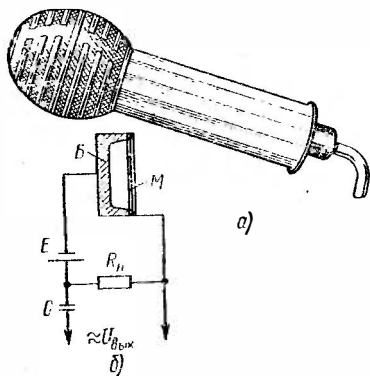


Рис 25. Конденсаторный микрофон:

а — общий вид, б — схема включения

саторного микрофона имеет одну подвижную обкладку из металлической фольги толщиной от 2 до 30 мкм или из тонкой (3—6 мкм) металлизированной полимерной пленки. Другой (неподвижной) обкладкой капсюля служит массивная металлическая пластина (база Б). Расстояние между обкладками 20—40 мкм. В последнее время базу стали выполнять из радиокерамики или стеклопластика с металлизацией поверхности, обращенной к мембране. База имеет отверстия, расположенные под мембраной М. Эти отверстия определяют величину демпфирования мембраны, а следовательно, и частотную характеристику капсюля.

В цепь питания последовательно с микрофоном включается нагрузочный резистор R_n . При уменьшении емкости конденсатора капсюля под воздействием звуковых колебаний заряд на его обкладках уменьшается, а при увеличении емкости — возрастает. Изменения заряда вызывают переменный ток в цепи, а на нагрузочном резисторе R_n возникает переменное напряжение, которое затем подают на вход микрофонного усилителя. Емкость капсюля микрофона составляет от единиц до десятков пикофард, а диапазон рабочих частот от 20—30 Гц до 20—50 кГц. За счет отверстий в базе мембрана воспринимает звуковые волны с двух сторон, поэтому микрофон приобретает направленность восприятия.

Таблица 49

Микрофон	Номинальный диапазон частот, Гц	Чувствительность ($f=1000$ Гц), мВ/Па	Неравномерность частотной характеристики, дБ	Средний перепад чувствительности, «фронт—тыл», дБ	Выходное сопротивление, Ом	Размеры*, мм	Масса*, г
МК-12	50—15 000	11	9	20	200±50	∅ 21×22/89×156×272	120/2220
МК-14М	50—15 000	7	8	15	250±50	∅ 40×215/272×156×89	270/3000
МК-15	50—15 000	5,5	12	10	200±50	58×58×70/89× ×156×272	210/2200
МКЭ-2	50—15 000	1,5	15	15	—	—	—
МКЭ-3	50—15 000	3,5	10	15	—	∅ 21×150	140
МЛ-19	50—15 000	2,0	14	17	250±50	∅ 14×22	17
МД-52А, МД-52Б	50—15 000	1,2	12	12	100±20	41×50×140	650
МД-52Б-СН	50—15 000	1,3	12	12	100±20	∅ 32×114	160, 200
МД-63, МД-63Р	60—15 000	1,1	20	—	250±50	325×270×190	1000
МД-64А	100—12 000	1,0	12	12	250±50	∅ 22×68	125,9
МД-66, МД-66А	100—10 000	2,0	20	12	180±20	∅ 33×121	200
МД-200	100—10 000	1,5	12	12	250±50	∅ 33×116	170

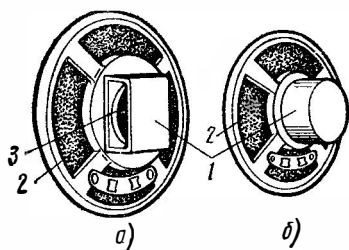


Рис. 26. Малогабаритные головки громкоговорителей с магнитной системой:

а — открытой, б — закрытой

Заряд сохраняется около 30 лет. Электретные микрофоны дешевле обычных конденсаторных и весьма перспективны в бытовой аппаратуре магнитной записи. В зависимости от конструкции конденсаторные микрофоны могут быть ненаправленными, односторонне направленными и двусторонне направленными. Основные параметры выпускаемых электродинамических и конденсаторных микрофонов приведены в табл. 49.

Микрофон МК-12 — односторонне направленный с кардиоидной характеристикой направленности, МК-14М имеет три характеристики направленности (кардиоиду в вертикальной плоскости, круг, косинусоиду), электретный МКЭ-2 — односторонне направленный, а МКЭ-3 — ненаправленный, электродинамические МД-63, МД-63Р — ненаправленные, а МД-52А, МД-52Б, МД-64А, МД-66, МД-66А и МД-200 — односторонне направленные. Микрофон МД-52Б-СН — стереофонический, представляет собой систему из двух монофонических односторонне направленных микрофонов МД-52Б. Микрофон МД-63Р используется в комплекте с радиомикрофоном.

§ 17. Головки громкоговорителей и телефоны

Головки громкоговорителей служат для преобразования энергии переменного тока в энергию звуковых волн. Различают электродинамические головки и прямого излучения. Работа электродинамических головок основана на взаимодействии постоянного магнитного поля, образующегося в зазоре магнитной системы, с переменным электрическим током, проходящим через звуковую катушку. Электродинамические головки являются лучшими по качеству воспроизведения звука, хотя обладают низким кпд и значительными частотными искажениями. На рис. 26, а, б показаны малогабаритные головки громкоговорителей с открытой и закрытой магнитной системами 1, круглой диафрагмой 2 диаметром 60 мм и низкоомной звуковой катушкой 3.

Электроакустическими характеристиками и параметрами головок громкоговорителей являются следующие.

Частотная характеристика — выражает зависимость звукового давления от частоты подводимого напряжения сигнала при постоянной его амплитуде на зажимах головки.

Номинальный диапазон частот — полоса воспроизводимых звуковых частот, в пределах которой неравномерность частотной характеристики головки не превышает заданной величины.

Номинальная мощность $P_{ном}$ — наибольшая электрическая мощность, подводимая к головке громкоговорителя, при которой вносимые головкой нелинейные искажения не превышают установленных техническими условиями норм (обычно на низшей частоте не более 10 %). Ее измеряют в ваттах и указывают в начале обозначения (например, 0,25ГД-10 — динамическая головка громкоговорителя мощностью 0,25 Вт, модель 10).

Стандартное звуковое давление $P_{ст}$ головки громкоговорителя, которое она развивает в точке, лежащей на ее акустической оси на расстоянии 1 м, при подведении к головке напряжения, соответствующего мощности 0,1 Вт при ее номинальном электрическом сопротивлении.

Акустическая мощность — средняя во времени мощность сигнала, излучаемого головкой громкоговорителя.

Среднее стандартное звуковое давление $P_{ст.ср}$ — среднеарифметическое из значений стандартного звукового давления на частотах (ряда 16, 20, 25, 32 Гц и т. д. через 1/3 октавы), входящих в номинальный диапазон воспроизводимых частот головки громкоговорителя.

Коэффициент нелинейных искажений — отношение (в процентах) действующего суммарного звукового давления на всех частотах, отличных от частоты подводимого к головке синусоидного напряжения, к действующему значению звукового давления, развиваемого головкой на всех частотах, включая частоту подводимого напряжения. Нелинейные искажения проявляются главным образом при больших амплитудах колебаний подвижной системы головки громкоговорителя на низких звуковых частотах. Они вызываются нелинейностью упругости подвесов подвижной системы головки и определяются типом ее акустического оформления.

Полное электрическое сопротивление Z_r головки громкоговорителя — это сопротивление переменному току, измеренное на зажимах головки. На верхних звуковых частотах оно увеличивается из-за влияния индуктивности звуковой катушки, а с понижением частоты снижается до сопротивления катушки постоянному току. На основной частоте f_0 механического резонанса подвижной системы головки модуль электрического сопротивления достигает максимальной величины. За номинальное сопротивление принимают модуль полного электрического сопротивления на частоте 1 кГц или его минимальное значение в диапазоне частот выше частоты основного механического резонанса.

В зависимости от диапазона воспроизводимых звуковых частот головки громкоговорителей подразделяют на широкополосные, низко-, средне- и высокочастотные.

Широкополосные головки обеспечивают воспроизведение полной полосы частот, соответствующей классу радиоаппаратуры (радиолы, магнитофона и т. д.). Нижняя частота f_n диапазона различных типов широкополосных головок составляет 63—315 Гц, а верхняя f_v — 5—12,5 кГц. Более широкий диапазон имеют головки мощностью 3—4 Вт, используемые в звуковоспроизводящих устройствах I класса, а узкий — головки с малой номинальной мощностью, используемые в переносной аппаратуре.

Низкочастотные головки имеют нижнюю частоту диапазона 40—

Тип головки	Номинальный диапазон частот, Гц		Неравномерность частотной характеристики, дБ	Частота резонанса, Гц	Среднее стандартное звуковое давление, Па	Полное сопротивление, Ом	Размеры, мм
	нижней	верхней					
<i>Широкополосные</i>							
0,25ГД-10	315	5,0	15	290±60	0,2	8	63×63×29,5
0,5ГД-30	125	10	15	125±50	0,3	16	125×80×47
0,5ГД-37	315	7,1	15	300±50	0,3	8	80×80×37,5
1ГД-36-100	100	12,5	10	100±20	0,2	8	160×100×58
1ГД-37-140	140	10	12	140±20	0,28	8	160×100×64
1ГД-39	200	6,3	15	180±20	0,2	8	100×100×37
1ГД-40-100	100	10	12	100±20	0,27	8	160×100×45
2ГД-22	100	10	15	100±20	0,2	12,5	82×280×77
3ГД-38	80	12,5	15	—	0,2	4	160×160×73,6
4ГД-8Е	125	7,1	18	120±20	0,3	4	125×125×49
4ГД-35	63	12,5	10	65±10	0,3	4; 8	200×200×74
6ГД-3	100	10	12	85±15	0,4	4	240×160×87
<i>Низкочастотные</i>							
6ГД-2	40	5	15	30±3	0,27	6,3	∅ 252×135
6ГД-6	63	5	15	80±8	0,1	4	∅ 125×80
10ГД-30	63	5	15	32±8	0,15	8	∅ 240×126
10ГД-34	63	5	18	—	0,1	4	∅ 125×73
<i>Среднечастотные</i>							
4ГД-6	200	5	10	160±30	0,2	8	80×80×38

Высокочастотные

2ГД-36	2000	20	15	2500±500	0,2	8	80×50×35
3ГД-2	5000	18	10	4500±700	0,25	15	80×80×30
3ГД-31	3000	18	18	—	0,2	8	∅ 100×48
10ГД-35	3000	25	18	—	0,25	15	∅ 100×47

Примечание. Для головок с круглой диафрагмой указаны диаметр и высота, а эллиптической формы—значения большой и малой осей эллипса и высота.

Таблица 51

Система	Номинальный диапазон воспроизводимых частот, Гц	Номинальная мощность, Вт	Паспортная мощность, Вт	Среднее стандартное звуковое давление, Па	Полное электрическое сопротивление, Ом	Тип электродинамической головки	Габариты, мм	Масса, кг
3АС-3	125—10 000	3	4	0,2	4	3ГД-38	210×280×150	4,5
4АС-2	125—16 000	4	8	0,2	4	4ГД-43, 3ГД-31	173×272×100	2,5
6АС-2	63—180 00	6	20	0,1	4	10ГД-34, 3ГД-31	170×165×300	4
6МАС-4	63—20 000	6	20	0,1	4	10ГД-34, 3ГД-31	270×160×190	4
8АС-2	40—18 000	8	16	0,1	4	8ГД-1, 4ГД-6, 3ГД-2	620×360×270	20
8АС-3	100—10 000	8	15	0,2	2	2×4ГД-35	470×270×170	5
10МАС-1М	63—18 000	10	20	0,15	8	10ГД-30, 3ГД-31	428×270×230	8,5
15АС-1	63—20 000	15	25	0,11	4	2×6ГД-6, 3ГД-31	440×240×160	7
25АС-2	40—20 000	25	—	0,11	4	25ГД-26, 10ГД-33, 3ГД-31	485×285×244	12
35АС-1	30—20 000	35	70	0,1	4	30ГД-1-25, 15ГД-11-120, 10ГД-35-3000	710×360×282	27

18 Примечание. Неравномерность частотной характеристики в номинальном диапазоне частот громкоговорителя 6АС-2 составляет 20, 10МАС-1М и 15АС-1—15, а остальных — 18 дБ.

63 Гц, а верхнюю до 5 кГц, *среднечастотные* — 200 Гц и 5 кГц, *высокочастотные* — 2—5 и 18—20 кГц соответственно. Основные электрические параметры и габаритные размеры электродинамических головок громкоговорителей приведены в табл. 50.

Для стационарных радиоустройств (радиоприемников, телевизоров, магнитофонов) служат широкополосные головки (1ГД-36, 1ГД-40, 2ГД-22, 3ГД-38, 4ГД-35) с малой неравномерностью частотной характеристики, для переносных устройств — головки (0,25ГД-10, 0,5ГД-30, 0,5ГД-37, 1ГД-37, 1ГД-39) с ограниченными выходной мощностью и полосой пропускания, для автомобильных радиоприемников — головки (4ГД-8Е, 6ГД-3) с повышенной чувствительностью и высокой механической прочностью. Низко-, средне- и высокочастотные головки разработаны для многополосных акустических систем высшего класса.

Акустические (АС) и малогабаритные (МАС) системы содержат низко- и высокочастотные головки, рассчитанные на работу с высококачественной звукоусилительной аппаратурой, радиолами, магнитофонами, электрофонами для воспроизведения стереофонических и монофонических звуковых программ. Основные электрические параметры и габаритные размеры акустических и малогабаритных систем приведены в табл. 51.

Телефоны предназначены для воспроизведения звука в портативных связных радиостанциях, для индивидуального прослушивания стереофонических программ от бытовой аппаратуры (электрофонов, магнитофонов, радиол). Наиболее широко применяются электромагнитные телефоны, где мембрана колеблется под действием электромагнита, по катушке которого проходит переменный ток звуковой частоты. Распространены также пьезоэлектрические телефоны

Таблица 52

Тип телефона	Система*	Полоса воспроизводимых частот, Гц	Неравномерность частотной характеристики, дБ	Среднее звуковое давление**, Па	Полное электрическое сопротивление на частоте 1000 Гц, кОм	Коэффициент гармоник, %
ТА-4	Э	300—3000	13	6	0,26— 0,36 8,5—12	5
ТД-6	Д	50—5000	13	20	—	—
ТДС-3	Д	20—20 000	12	10	8—16	1
ТДС-7	Д	20—20 000	5	94***	8	—
ТОН-2	Э	300—3000	35	4	6	—
ТПК-571	П	50—9000	16	4	20	2
Т2	Э	400—3000	20	4,5	0,4	—
ВТМ	Э	400—3000	18	6,4	0,18	—

* Буквы Э, Д, П означают электромагнитная, динамическая, пьезоэлектрическая системы.

** На расстоянии 1 см при подведении мощности 1 мВт.

*** Давление указано в децибелах.

и реже электродинамические. Электромагнитные телефоны выпускаются высокоомные (более 2000 Ом) и низкоомные (600 Ом) при частоте 1000 Гц на пару телефонов.

Основные параметры обычных и миниатюрных телефонов приведены в табл. 52.

§ 18. Головки звукоснимателей

Для воспроизведения грамзаписи (в проигрывателях, электрофонах, радиолах) служат пьезоэлектрические звукосниматели. Ос-

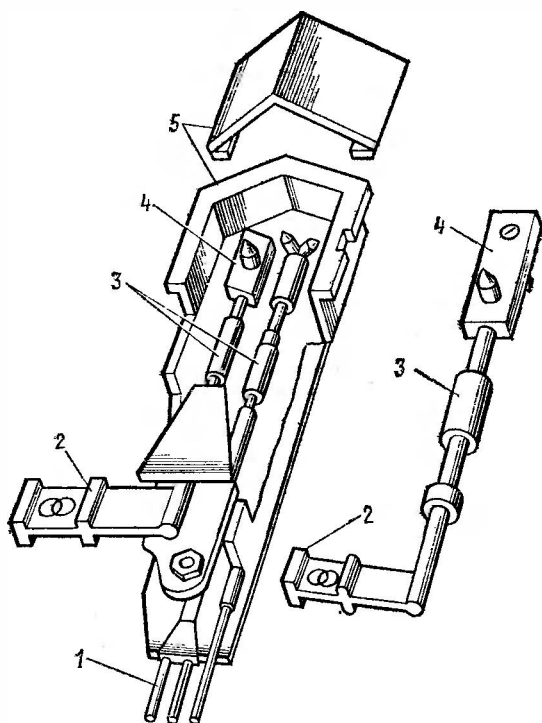


Рис. 27. Головка звукоснимателя ГЗКУ-631Р

новым узлом звукоснимателя, определяющим качество воспроизведения звука, является пьезокерамическая головка (рис. 27), которая состоит из пластмассового корпуса 5 с закрепленными в нем пьезоэлементом 3, иглодержателем с иглой 4, выводами 1 для подключения усилителя, устройством поворота (смены) иглы 2. Головка вставляется в пазы тонарма и гнезда разъема, чем обеспечива-

ется требуемое положение иглы по отношению к пластинке и электрический контакт выводов пьезоэлемента с входом усилителя.

В настоящее время выпущено несколько типов головок звукоснимателей, позволяющих воспроизводить запись только с долгоиграющих пластинок ($33\frac{1}{3}$ мин⁻¹), или универсальных, допускающих работу (путем смены иглы) как с обычными, так и с долгоиграющими пластинками. В большинстве звукоснимателей иглу меняют поворотом иглодержателя. В старых конструкциях головок при переходе от обычной к долгоиграющей пластинке изменялось положение головки звукоснимателя.




Необходимость смены иглы вызывается тем, что в обычных пластинках звуковая канавка имеет глубину 50 и ширину 150 мкм при радиусе закругления до 30 мкм. У долгоиграющих пластинок глубина канавки около 18 мкм, ширина до 50 мкм, а радиус закругления не превышает 10 мкм. Эти размеры определяют различную форму иглы головки звукоснимателя, поэтому во избежание порчи звуковой канавки недопустима работа с иглами не своего размера.

В современных пьезоэлектрических звукоснимателях применяют иглы из корунда или искусственного алмаза. В разных конструкциях головок длина игл составляет от 0,8 до 1,5 мм, а радиус закругления острия — от 10 до 70 мкм. Игла запрессована в металлический иглодержатель, который через эластичную (пластмассовую или резиновую) муфту соединен с пьезоэлементом. В современных головках элемент изготовлен из пьезокерамики, обладающей большей механической прочностью, чем пьезоэлементы из сегнетоэлектриков в старых головках. Головки пьезоэлектрических стереозвукоснимателей отличаются от монофонических числом пьезоэлементов (два вместо одного).

При воспроизведении грамзаписи игла звукоснимателя, двигаясь по звуковой канавке, совершает сложные колебания, которые через иглодержатель и эластичную муфту передаются пьезоэлементу. Благодаря этим механическим воздействиям колеблющегося иглодержателя на обкладках пьезоэлемента создается эдс звуковой частоты, которую затем подают на усилитель.

Основными параметрами, характеризующими звукосниматели, являются чувствительность, максимальная эдс и диапазон рабочих частот.

Таблица 53

Тип пластинки	Обозначения на головках звукоснимателей	
	знак	цвет
Обычная (МШ) 78 мин ⁻¹		Зеленый
Долгоиграющая монофоническая М(МУ) $33\frac{1}{3}$ мин ⁻¹		Красный
Долгоиграющая моно- и стереофоническая М(МУ); С(СМ) $33\frac{1}{8}$ мин ⁻¹		Голубой

Чувствительность звукооснимателей с пьезоэлектрической головкой составляет 5—10 В·с/м, максимальная эдс — 0,2—0,25 В, а диапазон рабочих частот — от 50 до 12 500 Гц при неравномерности частотной характеристики до 10 дБ.

Пьезоэлектрические головки имеют буквенно-цифровое обозначение, определяющее ее тип и конструкцию (например, обозначение ГЗКУ631 расшифровывается так: буквы означают, что головка звукооснимателя керамическая универсальная, а цифры — номер и тип разработки). Если в головке использована алмазная игла, в обозначение вводят букву А.

Условные обозначения (табл. 53) обычно наносят на головки или переключатели игл. Выводы головок стереофонических звукооснимателей различают по цвету проводников. Цвета, соответствующие номерам выводов и каналам звукового тракта, приведены в табл. 54.

Таблица 54

Вывод	Маркировка выводов головок стереозвукооснимателей	
	номер вывода	цвет провода
Левый канал	1	Белый
Общий (земля)	2	Черный
Правый канал	3	Красный
Левый канал	1	Белый
Левый канал (земля)	2	Синий
Правый канал	3	Красный
Правый канал (земля)	4	Зеленый

§ 19. Магнитные головки

Магнитные головки используются для записи звука на магнитную ленту, его воспроизведения с ленты или стирания (уничтожения) записанной фонограммы. По назначению различают записывающие (ГЗ), воспроизводящие (ГВ) и стирающие (ГС) магнитные головки. Раздельные головки используют в профессиональной и высококачественной бытовой аппаратуре магнитной записи. В любительских конструкциях и в бытовой аппаратуре среднего класса запись и воспроизведение осуществляют одной (универсальной) головкой. Головки, которые применяют как для записи, так и для воспроизведения, относят к универсальным (ГУ).

Записывающая магнитная головка преобразует электрические колебания звуковой частоты в соответствующие колебания магнитного поля. Это поле в основном сконцентрировано вблизи ее рабочего зазора, мимо которого, касаясь головки, движется и намагничивается магнитная лента.

Если намагниченную ленту перемещать вблизи рабочего зазора воспроизводящей магнитной головки, остаточный магнитный поток ленты, замыкаясь через сердечник головки, индуцирует в ее обмотке эдс (ток звуковой частоты).

В стирающей магнитной головке по обмотке проходит ток высокой частоты и создает переменное магнитное поле, которое размагничивает ленту (уничтожает записанную информацию).

Магнитная головка (рис. 28, а, б) содержит магнитопровод 1, обмотку 2, крепежную арматуру 5 с экраном. Магнитопровод разделен на две части, на каждой из которых размещено по одной полуобмотке. Рабочий зазор 4 между частями магнитопровода образован тонкой диамагнитной прокладкой. В магнитопроводе записывающих головок во избежание его насыщения предусматривает-

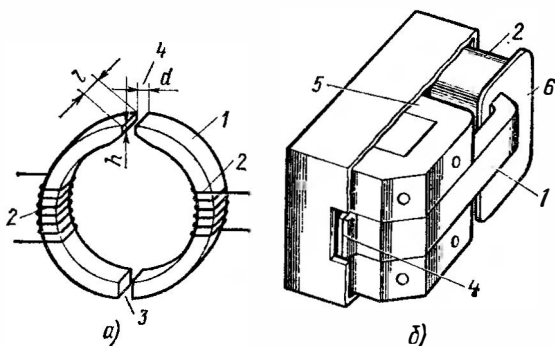


Рис. 28. Магнитная головка:

а — схема, б — общий вид

ся дополнительный зазор 3. В бытовых магнитофонах используют малогабаритные магнитные головки. Элементы магнитопровода этих головок вклеивают в пазы арматуры 5. Обмотку наматывают на пластмассовый каркас 6 и надевают на магнитопровод головки. Между полуобмотками вставляют диамагнитную прокладку. Головку помещают в экран и фиксируют винтами или заливают компаундом. Головки кассетных магнитофонов в зоне рабочей поверхности имеют направляющие штыри или планки.

Магнитопроводы головок обычно собирают из пластины пермаллоя толщиной 0,1—0,2 мм, которые склеивают в пакеты. Магнитопроводы стирающих головок прессуют из феррита. Такие головки вследствие малых потерь на вихревые токи эффективно работают при меньшей потребляемой мощности.

Параметры головки существенно зависят от ширины рабочего зазора d , его глубины h и длины l . Ширина рабочего зазора влияет на уровень намагничиваемости записывающей ленты. При малой ширине зазора сигнал может быть записан с меньшей длиной волны, при этом магнитное поле, воздействующее на ленту, будет незначительным. Чтобы получить оптимальную величину намагничивания ленты, выбирают толщину ее намагничиваемого слоя соизмеримой с шириной рабочего зазора (для ГУ и ГЗ — 3—8 мкм).

Основными параметрами магнитных головок являются ток записи, эдс воспроизведения, ток стирания и индуктивность.

Ток записи, указываемый в паспорте головки, соответствует остаточной намагниченности ленты (при скорости движения 9,53 см/с) 250 нВб/м — максимальному уровню записи на частоте 400 Гц. Номинальный ток подмагничивания ГЗ выбирают с учетом получения минимальных гармонических искажений. Практически его устанавливают на 1—2 дБ больше оптимального, соответствующего наибольшему уровню записи.

Эдс воспроизведения ГВ — напряжение, развиваемое головкой в режиме холостого хода при воспроизведении фонограммы с остаточной намагниченностью 250 нВб/м. Чем меньше ширина рабочего зазора d и выше скорость движения ленты, тем шире диапазон воспроизводимых частот. Однако при уменьшении ширины рабочего зазора снижается эдс воспроизведения на низших и средних частотах. Эдс может также снизиться, если зазор не перпендикулярен направлению движения ленты.

При повышении частоты растут потери, что обусловлено ростом вихревых токов в диамангнитной прокладке рабочего зазора и увеличением магнитного сопротивления материала магнитопровода головки. При неплотном прилегании ленты в головке возникают контактные потери.

В стирающих головках ГС ширину рабочего зазора выбирают от 150 до 250 мкм. При скорости движения ленты 19,05 см/с рабочий зазор иногда делают из двух диамангнитных прокладок разной толщины, между которыми вставляют прокладку из магнитного мягкого материала. При таком двойном зазоре обеспечивается более полное стирание записей.

Ток стирания, проходящий через обмотку ГС, обеспечивает уровень стирания: —65 дБ — для катушечных магнитофонов при частоте генератора 80 кГц и —60 дБ — для кассетных при частоте генератора 60 кГц.

Индуктивность универсальных головок транзисторных магнитофонов составляет около 100 мГн, ламповых — 1 Гн, а стирающих головок — 1 мГн и более.

Условное обозначение магнитных головок МГ состоит из следующих элементов: первая цифра обозначает ширину ленты, для работы с которой рассчитана головка (3 — для лент шириной 3,81 мм, 6 — для лент шириной 6,25 мм); следующая за ней буква указывает назначение МГ (А — записывающая; В — воспроизводящая, С — стирающая, Д — универсальная); цифра, следующая за буквой, означает максимальное число одновременно воспроизводимых, записываемых или стираемых дорожек фонограммы, вторая цифра за буквой — максимальное число дорожек фонограммы, располагаемых по ширине магнитной ленты; в обозначении стирающих головок следующие (одна или две) цифры указывают максимальную скорость движения ленты, а буква, стоящая после цифр, — на особенность применения головок (Н — обозначает головку с низким, а П или В в более ранних выпусках — с высоким импедансом, т. е. полным сопротивлением); следующая цифра, отделяемая от предыдущего обозначения точкой, указывает номер модификации головки; буква в конце обозначения показывает категорию головки (О — обычная, У — улучшенная).

Основные параметры унифицированных МГ для магнитных лент А4403-6 и А4203-3 приведены в табл. 55.

В блоках головок, состоящих из двух МГ и более, разница индуктивностей отдельных головок, входящих в блок, не должна пре-

Таблица 55

Тип магнитной головки	Индуктивность, мГн	Ширина рабочего зазора, мкм	Эдс воспроизведения, мВ	Ток, мА		
				записи	подмагничивания	стирания
6Д12В.1	480—820	3	1,6	0,085	0,85	—
6Д12П.2.О	950—1350	4	2,4	0,06	0,8	—
6Д12Н.3.О	40—60	3	0,47	0,28	2,8	—
3Д12Н.2.О	45—75	1,5±0,3	0,23	0,15	1,5	—
3Д12Н.21.О	60—100	1,8	0,36	0,3	1,5	—
6С129.1.У	1,4—2,1	250	—	—	—	60
6С129.1	1,3—2,2	200	—	—	—	75
3С124.1	0,3	150	—	—	—	85
3С124.1.О	0,2—0,4	100	—	—	—	100
3С124.1.У	0,22—0,37	2×100	—	—	—	80
3С124.21.О	0,25—0,37	200	—	—	—	80

вышать 25 % для блоков категории У и 30 % — для категории О; разница в эдс при воспроизведении — соответственно не более 2 и 3 дБ, а ширина рабочих зазоров — 15 и 25 %. Основные параметры МГ, входящих в блоки, для магнитных лент А4403-6 и А4203-3 приведены в табл. 56.

Таблица 56

Тип магнитной головки	Индуктивность, мГн	Ширина рабочего зазора, мкм	Эдс воспроизведения, мВ	Ток, мА		
				записи	подмагничива-ния	стирания
6А24Н.4.У	15—25	7	—	0,45	2,7	—
6В24Н.4.У	60—95	3	0,375	—	—	—
6Д24Н.1.О	60—95	3	0,33	0,27	1,8	—
6Д24Н.4.О	60—95	3	0,38	0,3	2,2	—
3Д24Н.1	55—90	1,5	0,15	0,15	1,0	—
3Д24Н.1.О	55—90	1,5	0,15	0,2	1,2	—
3Д24Н.1.У	55—90	1,5±0,3	0,17	0,12	0,5	—
3Д24Н.21.О	60—100	1,8	0,23	0,15	0,75	—
6С249.1.У	0,7—1,05	250+50	—	—	—	60
6С2419.2.У	0,5—0,7	2×100	—	—	—	60

Для всех МГ и их блоков (см. табл. 55 и 56) указана геометрическая ширина воздушного зазора. Блок МГ 6А24Н.4.У имеет задний зазор шириной 50 мкм. Ток стирания указан для частоты 80 кГц при уровне стирания —65 дБ для катушечных магнитофонов и для частоты 60 кГц при уровне стирания —60 дБ для кассетных магнитофонов.

Таблица 57

Наименование магнитофона	Тип головки	Индуктивность, мГн	Ширина рабочего зазора, мкм	Эдс воспроизведения, мВ	Ток, мА		
					записи	подмагничивания	стирания
Айдас-9М	У	900	3	2,3	—	—	—
Дайна-Э-29	С	5	180	—	—	—	60
Астра-4	У	900	5	2,2	1,0	0,4	—
	С	10	200	—	—	—	70
Брянск	У	1100	3	2,7	0,08	0,8	—
	С	5	100	—	—	—	40
Весна-2	У	200	3,5	0,5	0,16	0,9	—
Весна-3	С	1,5	100	—	—	—	40
Дайна Э-29 (транзисторный)	У	120	3	2	0,08	0,55	—
	С	4	100	—	—	—	100
Дельфин-301	У	62	3	0,3	0,3	3	—
Дельфин-302	С	2,2	250	—	—	—	80
Комета-201	У	900	8	2,7	0,1	0,9	—
	С	7	200	—	—	—	85
Комета-206	У	130	5	0,4	0,25	3	—
	С	6,5	200	—	—	—	30
Лири-206	У	55	3	0,35	0,15	1,5	—
Комета-209	С	0,5	50+200	—	—	—	65
	В	775	8	3	—	—	—
Маг-59	З	8	8	—	2,5	14	—
Тембр	С	2	150	—	—	—	65
Мелодия МГ-55	У	900	8	3	0,13	0,5	—
	С	7	200	—	—	—	45
Нота МП-64	У	80	3	0,25	0,22	3	—
	С	3,5	250	—	—	—	40
Орбита-2	У	70	5	0,25	0,56	2	—
	С	0,36	250	—	—	—	185
Романтик-3	У	65	4	0,22	0,25	1,2	—
	С	1,8	120	—	—	—	100
Яуза-10	У	1000	5	1,2	0,08	0,8	—
	С	6,5	200	—	—	—	35
Яуза-209	У	60—100	2,5—3,5	0,36	0,25	2,5	—
	В	0,6—1	—	—	—	—	80
Яуза-212	С	50	3	0,3	—	—	—
	З	20	8	—	0,35	3,5	—
	С	8	250	—	—	—	85

Основные параметры МГ и блоков самостоятельного изготовления предприятиями, выпускающими аппаратуру магнитной записи, приведены в табл. 57. В магнитофоне Комета-209 использована МГ, рассчитанная на четырехдорожечную запись, а остальные — на двухдорожечную. Блоки МГ рассчитаны только на четырехдорожечную запись.

§ 20. Краткие сведения

Устройство. К электроравакуумным относят электротехнические приборы, токопрохождение в которых обусловлено движением свободных электронов в вакууме или среде разреженного газа. По принципу действия и физическим явлениям, происходящим в электрора-

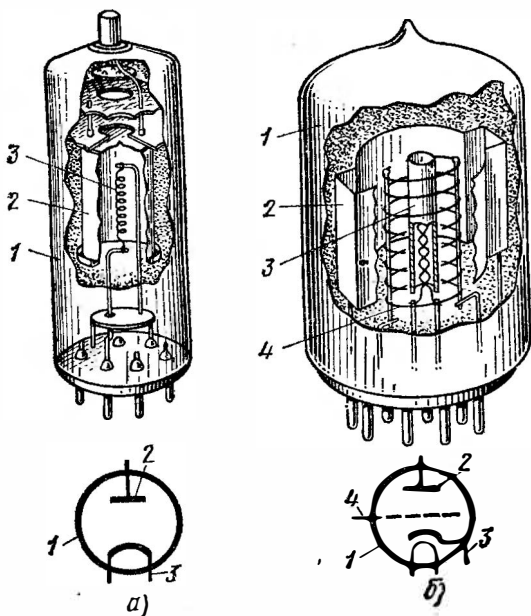


Рис. 29. Устройство электронных ламп и их условное обозначение: а — диода, б — триода

вакуумных приборах, их подразделяют на электронные высоковакуумные и нонные с низким вакуумом.

Наиболее распространенная двухэлектродная лампа — диод (рис. 29, а) представляет собой баллон (колбу) 1 из стекла, металла или металлокерамики, внутри которого создан вакуум и помещены два электрода — катод 3 и анод 2. По числу электродов (обычно увеличиваемых числом сеток 4) различают трех-, четырех- и пятиэлектродные лампы, называемые соответственно триодами (рис. 29, б), тетрадами и пентадами. Более сложные лампы — семиэлектродные гептоды — содержат кроме анода и катода пять сеток.

Катод в электронной лампе служит источником электронов. В современных электронных приборах преимущественно распространены термокатоды, испускающие электроны при нагревании. Термо-

катоды подразделяют 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 разделяют на катоды прямого и косвенного накала (подогревные). В прямонакальном катоде электроны испускаются самой нитью накала, а в подогревном —

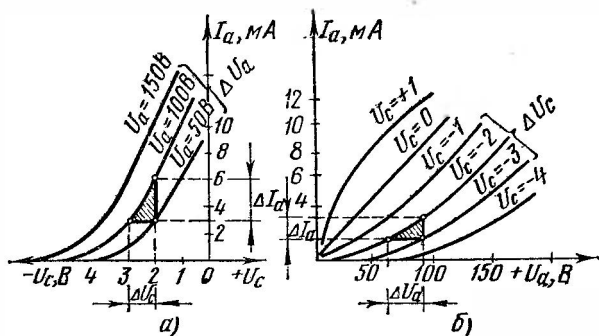


Рис. 30. Характеристики триода:

а — анодно-сеточные, б — анодные

металлической трубочкой, покрытой активатором, внутри которой находится нить накала. Прямонакальные катоды маломощных ламп питаются постоянным током, а подогревные могут питаться также переменным током, поскольку они имеют большую массу и теплоинерцию.

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 черные аноды, обладающие хорошим теплоизлучением.

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

Характеристики ламп. Характеристики лампы выражают зависимость токов от напряжений в различных ее цепях. Свойства приемо-усилительных ламп оценивают по анодно-сеточным или анодным характеристикам.

Анодно-сеточные характеристики (рис. 30) выражают зависимость анодного тока от напряжения на сетке при постоянном на-

пряжении на аноде и других электродах лампы. Для триодов эта зависимость записывается $I_a = \varphi(U_c)$ 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. 30, б) выражают 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 при иных постоянных значениях напряжений на управляющей и других сетках (для многосеточных ламп), составляют семейство анодных характеристик, позволяющих выбрать режим и произвести графический расчет усилительного каскада (определить оптимальную нагрузку, усиление, выходную мощность и т. д.).

Электрические параметры. Свойства электронных ламп характеризуются их параметрами, которые связывают изменение анодного и сеточного тока с изменениями напряжений в их цепях. Основные электрические параметры приемно-усилительных и генераторных ламп приведены ниже.

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

$$R_i = \Delta U_a / \Delta I_a \text{ при } U_c = \text{const},$$

где ΔU_a — изменение напряжения на аноде, В; ΔI_a — изменение анодного тока, мА.

Крутизна характеристики S 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):

$$S = \Delta I_a / \Delta U_{c1},$$

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 (квазистатический режим) анодный ток будет изменяться меньше, поэтому крутизна характеристики в нагрузочном режиме также уменьшится и может быть определена по статическим S и R_i параметрам:

$$S_H = SR_i / (R_i + R_a),$$

где R_a — анодная нагрузка.

Статический коэффициент усиления μ показывает, во сколько раз изменение напряжения на первой сетке сильнее действует на анодный ток, чем изменение анодного напряжения. Коэффициент усиления определяется отношением изменения анодного напряжения к изменению сеточного напряжения, одинаково воздействующих на электронный ток:

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

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 ΔI_a , ΔU_a и ΔU_{c1} обычно находят по анодно-сеточным или анодным характеристикам (рис. 30, а, б).

Коэффициент усиления μ , крутизна характеристики S и внутреннее сопротивление R_i связаны между собой соотношением, называемым уравнением связи параметров лампы: $\mu = SR_i$. В нагрузочном режиме коэффициент усиления зависит от величины анодной нагрузки R_a и находится по формуле

$$\mu_H = \mu R_a / (R_a + R_i).$$

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

Мощность, рассеиваемая на аноде, определяется по формуле $P_a = I_a U_a$, 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 $R_{ш}$ обычно понимают такое условное омическое сопротивление резистора, на зажимах которого вследствие теплового движения электронов возникает напряжение тепловых шумов, эквивалентное напряжению внутренних шумов лампы, пересчитанному для цепи сетки. Это сопротивление (кОм) при средней комнатной температуре на низких частотах приблизительно определяется: для диодов $R_{ш} \approx 0,65 R_i = 0,65/S$; для триодов $R_{ш} = (2,5 \div 3)/S$; для экранированных ламп $R_{ш} = 2,5 I_a (1 + 8 I_{c2}/S) / S (I_a + I_{c2})$, где S — крутизна характеристики лампы; I_a и I_{c2} — 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.

Проходная 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 характеризует пригодность лампы для широкополосного усиления и определяется как отношение крутизны характеристики лампы к сумме ее входной и выходной емкостей $\gamma = S / (C_{вх} + C_{вых})$.

§ 21. Условные обозначения

Приемно-усилительные лампы, выпускаемые в СССР, имеют обозначения, состоящие из четырех элементов: *первый элемент* — число, обозначающее (округленно) напряжение накала в вольтах; *второй элемент* — буква, обозначающая тип прибора (Д — диоды, Х — двойные диоды, Ц — маломощные кенотроны, относящиеся к категории приемно-усилительных ламп, С — триоды, Н — двойные триоды, Г — диод-триоды, Э — тетроды, П — выходные пентоды и лучевые тетроды, Ж — пентоды с короткой характеристикой, К — пентоды с удлинённой характеристикой, Р — двойные тетроды и пентоды, Б — диод-пентоды, Ф — триод-пентоды, И — триод-гептоды, А — частотно-преобразовательные лампы, В — лампы со вторичной эмиссией, Л — лампы с поперечным отклонением луча, Е — электронно-световые индикаторы настройки); *третий элемент* — число, обозначающее порядковый номер данного типа лампы; *четвертый элемент* — буква, характеризующая конструктивное оформление лампы (С — в стеклянной оболочке с цоколем или без него диаметром более 24 мм, К — в керамической оболочке, Д — в металлокерамической оболочке с дисковыми впамями, П — в стеклянной оболочке миниатюрные диаметром 19 и 22,5 мм, Г, Б, А — в стеклянной оболочке сверхминиатюрные диаметром соответственно свыше 10 мм, до 10 мм, от 4 до 6 мм).

Лампы в металлокерамической 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.

Стабилизаторы имеют трехэлементную систему обозначения: *первый элемент* — буквы, обозначающие тип прибора (СГ — стабилизатор напряжения, СТ — стабилизатор тока); *второй элемент* — число, обозначающее порядковый номер типа прибора; *третий элемент* — буква, обозначающая тип конструктивного оформления.

Электронно-лучевые приборы обозначают по четырехэлементной системе: *первый элемент* — число, соответствующее величине диаметра или диагонали экрана в сантиметрах; *второй элемент* — буквы, указывающие тип прибора (ЛО — осциллографические трубки и кинескопы с электростатическим отклонением луча, ЛК — кинескопы с электромагнитным отклонением луча); *третий элемент* — число, обозначающее порядковый номер типа трубки; *четвертый элемент* — буква, указывающая тип люминофора экрана (А — синий, Б — белый, В — желто-оранжевый, И — зеленый, М — голубой).

Примеры обозначения электровакуумных приборов: 6СЗП — из-пряжение накала 6,3 В, триод, третий тип, миниатюрная лампа; 61ЛК1Б — диагональ экрана 61 см, кинескоп с электромагнитным отклонением луча, первый тип, белый экран.

§ 22. Параметры

В справочник вошли в основном миниатюрные лампы широкого применения. Все лампы подразделены на группы по числу электродов и преимущественной области применения, например кенотроны,

демпферные и детекторные диоды, триоды, пентоды, выходные тетроды и т. д. В таблицах приведены рекомендуемый режим работы ламп и их основные параметры. Для комбинированных ламп (двойные диоды и триоды и т. п.) параметры относятся к половине лампы (одному аноду). Расположение внешних выводов (штырьков) на каждом цоколе лампы соответствует виду снизу на него (счет ведут по часовой стрелке).

В таблицах даны следующие сокращения и условные обозначения параметров:

- S — крутизна характеристики, мА/В;
- $S_{пр}$ — крутизна преобразования, мВ/В;
- S_T — крутизна гетеродинной части лампы, мА/В;
- μ — коэффициент усиления;
- R_i — внутреннее сопротивление, кОм;
- $R_{ш}$ — эквивалентное сопротивление внутриламповых шумов, Ом;
- R_k — сопротивление резистора автосмещения, Ом;
- R_a — сопротивление анодной нагрузки, кОм;
- R_c — сопротивление в цепи сетки, МОм;
- $P_a, P_z, P_{к.с}$ — максимально допустимая мощность рассеивания на аноде, экранирующей и катодной сетках, Вт;
- $P_{вых}$ — выходная мощность, Вт;
- C_{a-k} — емкость анод — катод у диодов, пФ;
- $C_{вх}$ — входная емкость, пФ;
- γ — коэффициент широкополосности, мА/(В·пФ);
- U_n — напряжение накала, В;
- U_a — напряжение на аноде, В;
- U_c, U_{c1} — напряжение на управляющей сетке, В;
- U_{c2} — напряжение на экранирующей сетке, В;
- $U_{обр}$ — амплитуда обратного напряжения между анодом и катодом, В;
- I_a — ток анода, мА;
- I_k — ток катода, мА;
- I_{c2} — ток экранирующей сетки, мА;
- I_0 — средний выпрямленный ток (на один анод), мА;
- I_m — амплитуда тока через вентиль (для кенотрона на один анод), мА;
- I_n — ток накала, А;
- УМНЧ — усиление мощности низких частот;
- УННЧ — усиление напряжения низких частот;
- УМВЧШ — широкополосное усиление мощности высоких 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;
- УНВЧШ (И) — широкополосное (импульсное) усиление напряжения высоких частот;
- ВУ — усиление видеосигналов;
- ВЧ — высокочастотный;
- ВВ — высоковольтный;
- БСР, БКР — работа соответственно в блоке строчной и кадровой развертки телевизионных приемников;

Пр. 4 — преобразование частоты.

Диоды. Двухэлектродные электровакуумные приборы (диоды), предназначенные для выпрямления переменного тока, называются *кеноотронами*. Они содержат катод прямого или косвенного накала

<i>1Ц11П</i>	<i>1Ц21П</i>	<i>3Ц18П</i>	<i>5Ц3С</i>
<i>5Ц4С</i>	<i>5Ц12П</i>	<i>6Ц4П</i>	<i>6Ц13П</i>
<i>6Ц10П</i>	<i>6Ц19П</i>	<i>6Д14П</i>	<i>6Д20П</i>
<i>6Д22С</i>	<i>6Х2П</i>	<i>3Ц22С</i>	

Рис. 31. Цоколевка диодов:

А — анод, *КП* — катод-подогреватель, *П* — подогреватель

Тип диода	Число диодов	U_H , В	I_H , А	I_O , мА	I_M , мА	$U_{обр}$, В	R_f , кОм	C_{a-k} , пФ	Назначение
1Ц11П	1	1,2	0,2	0,3	2	20 000	20	1	ВВ телевизионные кенотроны
1Ц21П	1	1,4	0,69	0,6	40	25 000	—	3	
3Ц18П	1	3,15	0,21	1,5	15	25 000	15	1,5	
3Ц22С	1	3,15	0,4	2	30	36 000	—	2,5	
5Ц3С	2	5	3	125	750	1 700	0,2	—	Кенотроны
5Ц4С	2	5	2	62,5	375	1 350	0,15	—	
5Ц12П	1	5	0,77	50	350	5 000	0,4	—	
6Ц4П	2	6,3	0,6	37	300	1 000	0,25	—	
6Ц13П	1	6,3	1,05	120	450	4 500	0,1	5	
6Ц10П	1	6,3	0,93	120	900	1 600	0,1	—	Демпферные диоды
6Ц13П	1	6,3	1,1	120	450	4 500	0,1	—	
6Д14П	1	6,3	1,1	150	600	5 600	0,09	—	
6Д20П	1	6,3	1,9	90	600	6 500	—	9	
6Д22С	1	6,3	1,9	200	1000	6 000	—	—	
6Х20П	2	6,3	0,3	18,5	90	450	0,16	3,6	Детекторные диоды

и один (для однополупериодного выпрямления) или два (для двухполупериодного выпрямления) анода. В радиотехнических устройствах широкого применения, питаемых от сети переменного тока и потребляющих сравнительно небольшую (десятки, сотни ватт) мощность, используют маломощные кенотроны. Среди маломощных кенотронов выделяют многочисленную группу, предназначенную для выпрямления невысоких напряжений (до 1000 В) и токов в десятки — сотни миллиампер.

Для демпфирования колебательного процесса выходного трансформатора строчной развертки телевизионных приемников выпускают *демпферные диоды*. Выпрямление импульсных напряжений осуществляется высоковольтными кенотронами, рассчитанными на работу при обратных напряжениях в десятки киловольт и малых токах (до сотен микроампер) и обладающими малой междуэлектродной емкостью и высокой экономичностью катода. Для детектирования и выпрямления переменного тока используют маломощные *детекторные* и выпрямительные диоды, рассчитанные на работу при относительно небольших (до 500 В) анодных напряжениях и малых (десятки миллиампер) токах. Детекторные диоды имеют малые размеры электродов и обладают небольшой междуэлектродной емкостью, что позволяет применять их на высоких частотах.

Параметры кенотронов, демпферных и детекторных диодов приведены в табл. 58, а их цоколевка — на рис. 31.

Триоды. В зависимости от назначения трехэлектродные лампы (триоды) отличаются друг от друга характеристиками, параметрами и конструктивным оформлением. Различают триоды для усиления напряжения низких или высоких частот и триоды для усиления мощности.

Триоды для усиления напряжения низкой частоты УННЧ обладают большим коэффициентом усиления ($\mu=25\div 100$), относительно высоким (десятки килоом) внутренним сопротивлением, сравнительно небольшой (2—4 мА/В) крутизной характеристики. В ряде современных триодов, предназначенных для УННЧ, за счет уменьшения расстояния сетка — катод крутизна характеристик значительно увеличена (до 20 мА/В и более).

Триоды для усиления напряжения высокой частоты УНВЧ обладают меньшими междуэлектродными емкостями, чем низкочастотные триоды. Благодаря этому в них значительно повышена устойчивость к самовозбуждению усилительных каскадов на триодах.

Триоды для усиления мощности УМ допускают большую амплитуду сигнала на сетке и обеспечивают получение большой амплитуды переменной составляющей анодного тока, обладают значительной крутизной характеристик (более 5 мА/В), относительно малым внутренним сопротивлением (единицы килоом), большой мощностью рассеяния на аноде ($P_a \geq 5$ Вт).

Наряду с одиночными выпускаются двойные триоды, обладающие идентичностью параметров. При их использовании можно уменьшить габаритные размеры, массу и стоимость аппаратуры.

Параметры триодов приведены в табл. 59, а их цоколевка — на рис. 32.

Пентоды. Для удовлетворительной работы на высокой частоте лампы должны иметь малые междуэлектродные емкости. Триоды не удовлетворяют этим требованиям, так как обладают сравнительно большими внутривламповыми емкостями и малым коэффициентом усиления. В четырехэлектродных лампах (тетрадах) и пятиэлектрод-

Тип триода	I_{H^*} , А	U_{a^*} , В	I_{a^*} , мА	U_{K^*} , В, или R_{K^*} , Ом	S , мА/В	μ	R_f , кОм	P_{a^*} , Вт	$R_{ш}$, кОм	$C_{вх}$, пФ	$C_{пр}$, пФ	$C_{вых}$, пФ	Назначение
6С2П	0,4	150	14	100 Ом	11,5	48	4,2	2,5	0,4	5,3	0,19	4,2	УНВЧ
6С3П	0,3	150	16	100 »	19,5	50	2,5	—	0,2	6,7	2,4	1,65	УНВЧ
6С4П	0,3	150	16	100 »	20	50	2,5	—	0,2	11,4	0,17	3,75	УНВЧ
6С15П	0,44	150	40	30 »	45	52	1,1	6,5	0,1	11	5,5	1,8	УНВЧШ
6С45П-Е	0,44	150	40	30 »	45	52	—	—	0,1	11,5	4	1,9	УНВЧШ
6С58П	0,3	150	27	51 »	36	64	—	5,7	0,11	7,5	2	1,15	УНВЧШ
6Н1П	0,6	250	7,5	600 »	4,35	35	11	2,2	—	3,1	2,2	1,75	УННЧ
6Н2П	0,34	250	2,3	—1,5 В	2	97	47	1	—	2,25	0,7	3,1	УННЧ
6Н3П	0,35	150	8,5	—2 »	5,9	36	6,25	1,5	—	2,7	1,6	1,55	УВЧ, ГВЧ
6Н6П	0,75	120	30	—2 »	11	20	1,8	4,8	—	4,45	3,7	2	УМНЧ
6Н14П	0,35	90	10	—1,3 »	6,8	25	3,2	1,5	—	4,9	1,8	2,9	УНВЧ
6Н15П	0,45	100	9	—0,5 В	5,6	38	6,8	1,6	—	2	1,4	0,4	ГВЧ, УННЧ
6Н23П	0,3	100	15	680 Ом	12,7	32	—	1,8	0,3	3,6	1,5	2,1	УНВЧ, ГИ
6Н24П	0,3	90	15	680 »	12,5	33	—	1,8	—	3,9	2	1,3	УНВЧ
6Н26П	0,62	150	14	100 »	9,5	48	7,5	2,6	5	4	2,5	2,3	УНВЧИ
6Н31П	0,31	90	17	91 »	12,5	31	—	2	—	—	—	—	УНВЧШ

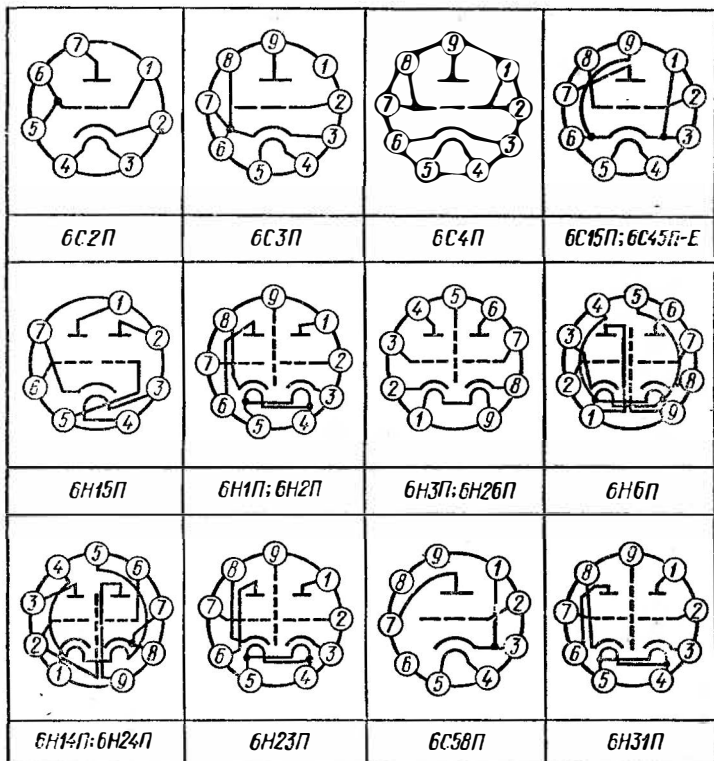


Рис. 32. Цоколевка триодов

ных (пентодах) благодаря тщательной внутренней экранировке электродов электростатическое воздействие анода на управляющую сетку и катод ослаблено. При этом значительно уменьшается междуэлектродная, особенно проходная, емкость (до $0,003-0,006$ пФ), а внутреннее сопротивление возрастает до $0,5-2$ МОм. Крутизна характеристик пентодов увеличена до $5-8$ мА/В и более, что позволяет получить значительное усиление. Коэффициент усиления высокочастотных пентодов $500-2500$ и более, а отношение $S/C_{пр} = 1000-1600$ мА/(В·пФ). Коэффициент широкополосности в обычных ВЧ пентодах $0,1-0,3$ мА/(В·пФ), а в специальных широкополосных лампах — $1,5-2$ мА/(В·пФ). Параметры пентодов приведены в табл. 60, а их цоколевка — на рис. 33.

Выходные тетроды и пентоды. Выходные лампы обычно используются для усиления мощности НЧ в оконечных каскадах приемников телевизоров и других подобных им устройств. При работе на более низких частотах значительно снижается вредное влияние междуэлектродных емкостей. Поэтому в выходных лампах специально

Таблица 60

Тип пентода	$I_{H'}$, А	$U_{a'}$, В	$I_{a'}$, мА	$U_{c2'}$, В	$I_{c2'}$, мА	$U_{c1'}$, В, или $R_{R'}$, Ом	S , мА/В	$R_{i'}$, кОм	$P_{a'}$, Вт	$C_{вх'}$, пФ	$C_{пр'}$, пФ	$C_{вых'}$, пФ	τ , мА/(В·пФ)	Назначение
6Ж1П	0,17	120	7,5	120	3,2	-1,8 В	5,2	300	1,8	4,3	0,03	2,3	0,77	УНВЧШ
6Ж2П	0,17	120	5,5	120	5,5	-2 »	3,8	195	1,8	4,1	0,03	2,35	—	УНВЧШ
6Ж5П	0,45	300	10	150	2	-2 »	9	240	3,6	8,1	0,03	2,2	—	УНВЧШ
6Ж9П	0,3	150	15,5	150	4,5	-1,6 »	17	150	3	8,5	0,03	3	1,5	УНВЧШ
6Ж11П	0,44	150	25	150	7,5	-1,6 »	28	36	4,9	13	0,04	3,4	1,6	УНВЧШ
6Ж32П	0,2	250	3	140	1	-2 »	1,8	2500	1	4	0,05	5,5	—	УННЧ
6Ж38П	0,18	150	13	100	3,2	82 Ом	10	175	2,5	5,8	0,02	2,4	—	УНВЧШ
6Ж49П	0,3	150	14	150	2,4	80 »	14	100	2,85	8,2	0,03	2,7	1,5	УНВЧШ
6Ж51П	0,3	200	8,5	100	3,5	200 »	15	—	2,5	11	0,006	3,3	—	УНВЧШ
6Ж52П	0,32	100	41	150	—	24 »	55	—	7,5	13	0,05	1,8	—	УНВЧШ
6К4П	0,3	250	11	160	4,4	-1 В	4,4	800	3	6,4	0,004	6,7	—	УНВЧ
6К13П	0,3	200	12	90	4,5	-2 »	12,5	500	2,5	10	0,005	3,3	—	УНВЧШ

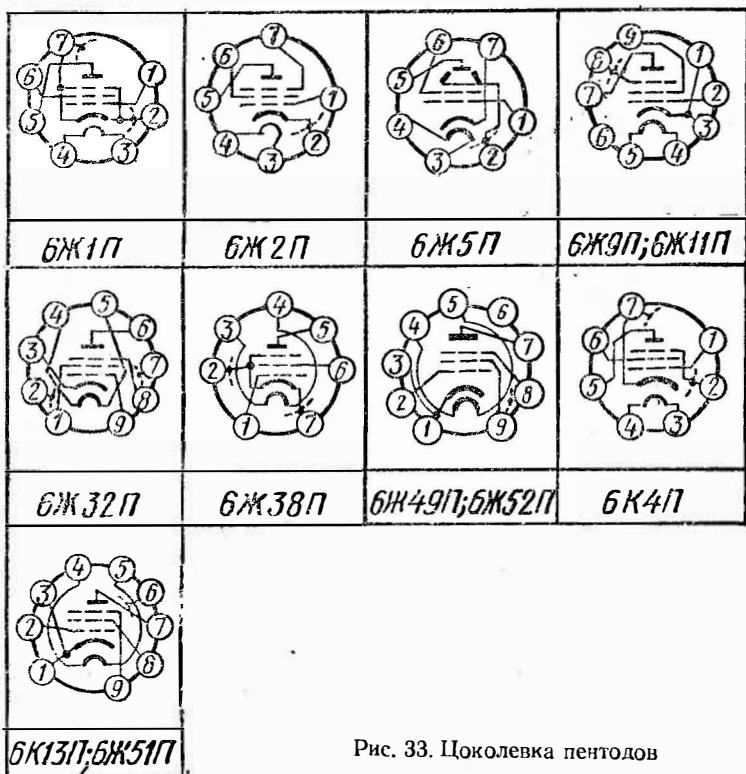


Рис. 33. Цоколевка пентодов

не экранируют электроды, а экранирующую сетку выполняют с большим шагом. Вследствие этого низкочастотные пентоды и тетроды для усиления мощности обладают меньшими, чем высокочастотные пентоды, внутренним сопротивлением R_i (десятки килоом) и коэффициентом усиления ($\mu = 150 \div 600$), а крутизна характеристик вследствие увеличения рабочих поверхностей электродов достигает 10 мА/В и более.

Наряду с основными, как у всех ламп, параметрами выходные лампы характеризуются еще специальными для них показателями — выходной мощностью $P_{вых}$ (мощностью переменной составляющей анодного тока, отдаваемой в нагрузку) и коэффициентом нелинейных искажений (отношением суммарного значения гармоник, возникающих при усилении, к значению усиленного сигнала), зависящими от режима работы лампы.

Основные параметры выходных тетродов и пентодов приведены в табл. 61, а их цоколевка — на рис. 34.

Рис. 34. Цоколевка выходных тетродов и пентодов, триод-пентодов, частотно-преобразовательных ламп и электронно-световых индикаторов

<i>6П1П</i>	<i>6П14П</i>	<i>6П15П</i>	<i>6П18П; 6П43П</i>
<i>6П23П</i>	<i>6П33П</i>	<i>6П36П</i>	<i>6П38П</i>
<i>6Ф5П</i>	<i>6Ф1П</i>	<i>6Ф3П</i>	<i>6Ф4П</i>
<i>6Ф5П</i>	<i>6Ф12П</i>	<i>6А2П</i>	<i>6Н1П</i>
<i>6Е1П</i>	<i>6Е2П</i>	<i>6Е3П</i>	

Тип лампы	I_{H^*} , А	U_{a^*} , В	I_{a^*} , мА	U_{c2^*} , В	I_{c2^*} , мА	U_{c1^*} , В, или R_{n^*} , Ом	S , мА/В	R_{r^*} , кОм	R_{a^*} , кОм	P_{a^*} , Вт	$P_{вых^*}$, Вт	$C_{вх^*}$, пФ	$C_{цп^*}$, пФ	$C_{вых^*}$, пФ	Назначение
6П1П	0,5	250	44	250	12	-12 В	4,9	42	5	12	3,8	8	0,7	5	УМНЧ
6П14П	0,76	250	48	250	7	120 Ом	11,3	30	5,2	12	4,5	11	0,2	7	УМНЧ
6П15П	0,76	300	30	150	4,5	75 »	14,7	100	10	12	4,5	11	0,07	5,5	УМ видео
6П18П	0,76	170	53	170	8	110 »	11	22	3	12	3,5	11	0,2	6	УМНЧ, БКР
6П23П	0,75	300	40	200	5	-16 В	4,5	44	—	11	—	7,5	0,1	4,5	УМ, ГВЧ
6П33П	0,9	170	10	170	6,5	-12,5 »	10	25	—	12	5,6	12	1	7	УМНЧ
6П36С	2	100	120	100	—	-7	20	4,5	—	12	—	32	1	19	УМ БСР
6П38П	0,45	150	50	150	8	—	65	30	—	10	—	21	0,07	3,9	УМВЧШ
6Э5П	0,6	150	45	150	15	30 Ом	30	8	—	8	—	16	0,75	2,85	УНВЧШ
6П43П-Е	0,6	300	45	250	4,5	—	7,5	—	—	12	—	1,3	0,7	9	БКР
6Ф1П	0,43	$\frac{100^*}{170}$	$\frac{13}{10}$	170	4	$\frac{-2 В}{-2 В}$	$\frac{5}{6,2}$	$\frac{—}{400}$	$\frac{20}{—}$	$\frac{1,5}{2,5}$	—	$\frac{2}{5,5}$	$\frac{1,45}{0,02}$	$\frac{0,3}{0,34}$	ПрЧ, УНВЧ
6Ф3П	0,85	$\frac{170}{170}$	$\frac{2,5}{41}$	170	14	$\frac{-1,5 В}{-11 В}$	$\frac{2,5}{7}$	$\frac{—}{15}$	$\frac{70}{—}$	$\frac{1}{8}$	—	$\frac{2,2}{9,3}$	$\frac{3,7}{0,3}$	$\frac{0,4}{8,5}$	УННЧ, БКР
6Ф4П	0,72	$\frac{200}{170}$	$\frac{3}{18}$	170	3,2	$\frac{600 Ом}{100 Ом}$	$\frac{4}{11}$	$\frac{16}{100}$	$\frac{65}{—}$	$\frac{1}{4}$	—	$\frac{4}{9,5}$	$\frac{2,7}{0,1}$	$\frac{0,6}{0,4}$	УННЧ, ВУ
6Ф5П	0,9	$\frac{100}{185}$	$\frac{5,5}{41}$	185	2,7	$\frac{160 Ом}{240 Ом}$	$\frac{7}{7,5}$	$\frac{—}{23}$	$\frac{70}{—}$	$\frac{0,5}{0,9}$	—	$\frac{3,5}{11}$	$\frac{1,8}{0,6}$	$\frac{0,25}{8,8}$	УМ БКР
6Ф12П	0,33	$\frac{150}{150}$	$\frac{12,5}{13}$	150	2,2	68 кОм	$\frac{19}{19}$	—	—	$\frac{3,5}{5}$	—	$\frac{4}{8}$	$\frac{2}{0,02}$	$\frac{0,3}{2,4}$	УН(НЧ, ВЧ)Ш

* В числителе — данные для триода, в знаменателе — для пентода.

Частотно-преобразовательные лампы. В радиоприемных устройствах, выполненных по супергетеродинной схеме, принятый ВЧ-сигнал преобразуется в промежуточную частоту, напряжение которой затем усиливается другими каскадами до необходимого уровня. Преобразование частоты (ПрЧ) осуществляется в преобразовательном каскаде, состоящем из гетеродина (маломощного генератора ВЧ) и смесителя (прибора с нелинейной проводимостью).

Преобразовательные каскады выполняют на частотно-преобразовательных лампах — гептодах и триод-гептодах. В схемах с использованием гептода гетеродин собирают на его триодной части, образуемой катодом, первой (управляющей) и второй (выполняющей роль анода) сетками. Смеситель выполнен на пентодной части лампы, образуемой катодом, третьей (сигнальной), четвертой (экранирующей), пятой (антидинастриной) сетками и анодом.

В схемах на комбинированных триод-гептодах гетеродин собирают на отдельной триодной части лампы, а смеситель — на гептодной. По сравнению с обычным гептодом комбинированная лампа благодаря отдельным электронным потокам в гетеродинной и смесительной ее частях обеспечивает более стабильную работу гетеродина и позволяет получить более высокий эффект преобразования. Эффективность работы частотно-преобразовательной лампы оценивается специальным параметром — крутизной преобразования $S_{пр}$, показывающей, какое значение тока промежуточной частоты создает напряжение сигнала с амплитудой 1 В.

Электронно-световые индикаторы. Их применяют в приемниках, магнитофонах и других устройствах в качестве визуальных указателей настройки, индикаторов сигнала и т. д. Конструктивно они представляют собой комбинацию индикаторной системы с одним или двумя триодами, смонтированными в одном баллоне лампы.

Параметры частотно-преобразовательных ламп и электронно-световых индикаторов приведены в табл. 62, а их цоколевка — на рис. 34.

Таблица 62

Тип лампы	I_{II} , А	U_a , В	U_{c2+4} , В	U_{c1} , В	I_a , мА	I_{c2+4} , мА
6А2П	0,3	250	100	-1,5	3	7
6ИП*	0,3	100/250	-/100	-2/-2	6,8/3,8	-/6,5
6ЕП	0,3	100	250**	-2	2	4**
6Е2П	0,58	150	250**	-4	1,55	2,5**
6Е3П	0,23	250	250**	0	0,35	—

Продолжение табл. 62

Тип	$S_{пр}$, мА/В	$S_{г}$, мА/В	I_k , мА	R_{c1} , МОм	P_a , Вт
6А2П	0,3	4,5	14	—	1,1
6ИП*	-/0,77	2,2/—	6,5/12	0,5/3	0,8/1,7
6ЕП	0,5***	—	—	3	0,2
6Е2П	1,4***	—	—	0,5	0,4
6Е3П	—	—	—	3	0,5

Тип	$P_{с2+4}$, Вт	$C_{вх}$, пФ	$C_{пр}$, пФ	$C_{вых}$, пФ	μ
6А2П	1,1	7,5	0,35	10	—
6И1П*	—/1	3,2/6,1	1,2/0,006	2,3/8,8	—
6Е1П	—	—	—	—	24
6Е2П	—	3	1,2	7	30
6ЕЗП	—	—	—	—	—

* В числителе приведены параметры триодной, а в знаменателе — гектодной части. Входной сигнал подается на третью сетку лампы 6А2П и на первую сетку гектодной части лампы 6И1П.

** Напряжение и ток катоды.

*** Крутизна характеристики триодной части.

Стабилитроны тлеющего разряда. Газоразрядные стабилитроны тлеющего разряда представляют собой ионные приборы, служащие для стабилизации напряжения, и характеризуются следующими основными параметрами:

напряжением зажигания $U_{зж}$ между электродами, при котором в приборе возникает электрический разряд; оно определяет минимальное напряжение источника питания в схеме;

напряжением стабилизации $U_{ст}$ между анодом и катодом, поддерживаемым стабилитроном постоянным;

максимальным $I_{ст.макс}$ и минимальным $I_{ст.мин}$ значениями тока стабилизации, при которых сохраняется стабилизирующее действие прибора;

изменением напряжения стабилизации $\Delta U_{ст}$ в рабочем диапазоне токов от $I_{ст.мин}$ до $I_{ст.макс}$.

Параметры стабилитронов и их цоколевка приведены в табл. 63.

Правила эксплуатации. Напряжение источника питания для надежного возникновения разряда выбирают равным $1,25 U_{зж}$. На электроды стабилитрона нельзя подавать переменное напряжение или напряжение обратной полярности (минус на катод). Нежела-

Таблица 63

Тип стабилитрона	Напряжение, В		Ток стабилитрона, мА		Изменение напряжения стабилизации, В	Эскиз
	зажигания	стабилизации	минимальный	максимальный		
СГ1П	175—190	145—160	5	30	2,5	
СГ2П	133—150	104—112		30	2,5	
СГ13П	175—180	143—155		30	3,5	
СГ15П-2	160	104—112		30	3	
СГ16П	130	89—86		30	3	

Таблица 64

Тип кинескопа	Ток накала, А	Номинальные напряжения, В					Угол отклонения луча, град	Ярксть**, кд/м ²
		модулятора	запирающее на модуляторе	на ускоряющем электроде	на первом аноде	на втором аноде		
16ЛК1Б*	0,28	15	20—10	300	0—450	9 000	90	150 (60)
23ЛК1ЗБ	0,55	25	45	100	0—300	11 000	90	225 (100)
31ЛКЗБ	0,65	35	30—60	250	0—350	11 000	100	150 (180)
43ЛК2Б	0,6	25	60—30	300	-100 ÷ +425	14 000	70	40 (75)
43ЛК9Б-М	0,66	25	80—30	300	-100 ÷ +425	14 000	110	100 (42)
47ЛК2Б	0,3	32	100—50	400	0—400	16 000	110	400 (500)
50ЛК1Б	0,3	—	80—30	400	0—400	16 000	—	400 (500)
53ЛК2Б	0,6	30	90—30	300	-100 ÷ +425	16 000	70	40 (18)
53ЛК6Б	0,6	30	80—30	300	-100 ÷ +425	16 000	110	40 (16)
59ЛК2Б	0,3	44	80—30	400	0—400	16 000	110	200 (350)
59ЛК3Ц	0,9	—	200	400	4500—5500	25 000	90	60 (1240)
61ЛК1Б	0,3	—	77—40	400	0—400	18 000	110	140 (350)
61КЛЗЦ	0,9	75	110—190	250	4 700	20 000	110	120 (1000)
67ЛК1Б	0,3	55	40—90	400	0—400	20 000	110	200 (450)

191 * Номинальное напряжение накала кинескопов 23ЛК1ЗБ, 31ЛКЗБ — 12 В, остальных кинескопов — 6,3 В.
 ** Цифры в скобках указывают ток луча в микроамперах.

Тип кинескопа	Номер штырьков					Способ подключения ко второму аноду	Масса, кг
	подогревателя (нить накала)	катода	модулятора	ускоряющего электрода	фокусирующего электрода		
16ЛК1Б	5 и 6	3	4 и 7	1	2	Боковой вывод	0,3
23ЛК13Б	3 и 4	2	1 и 5	6	7	Вывод на баллоне	1,1
31ЛК3Б	3 и 4	2	1 и 5	6	7	» » »	—
43ЛК2Б	1 и 8	7	2	6	4	Металлический конус	5,5
43ЛК9Б-М	3 и 4	2	5	7	6	Боковой вывод	5,5
47ЛК2Б	1 и 8	7	2 и 6	3	4	Углубление в колбе	9
50ЛК1Б	1 и 8	7	2 и 6	3	4	» » »	9
53ЛК2Б	1 и 12	11	2	10	6	Боковой вывод	18
53ЛК6Б	3 и 4	2	5	7	6	» »	12
59ЛК2Б	1 и 8	7	2 и 6	3	4	Углубление в колбе	16
59ЛК3Ц	1 и 14	2 красный	3 красный	4 красный	9	Специальный вывод на колбе	18
61ЛК3Ц		6 зеленый	7 зеленый	5 зеленый			
		11 синий	12 синий	13 синий			
61ЛК1Б	1 и 8	7	2 и 6	3	4	Углубление в колбе	15
67ЛК1Б	1 и 8	7	2 и 6	3	4	Вывод на баллоне	—

тельно параллельное включение стабилитронов, так как разряд (из-за разброса параметров) может возникнуть лишь у одного стабилитрона, что приведет к его токовой перегрузке. Во избежание возникновения релаксационных колебаний не рекомендуется включать между анодом и катодом стабилитрона конденсатор емкостью больше 0,1 мкФ.

Кинескопы. Приборы предназначены для приема изображения в телевизионных приемниках. В кинескопах применяется магнитная или трехлинзовая электростатическая фокусирующая система и обычно магнитное управление лучом.

Телевизионный сигнал в кинескопах подается на управляющий электрод или катод и модулирует электронный луч по интенсивности. *Отклонение луча* достигается с помощью магнитного поля отклоняющих катушек. Для получения изображения нужных размеров увеличивают угол отклонения луча до 110° , что достигается увеличением напряженности магнитного поля отклоняющих катушек.

Фокусирование луча в кинескопе должно обеспечить диаметр пятна на экране не более 0,5 мм для больших экранов и не более 0,3 мм для экранов небольшого (до 30—40 см) размера. Диаметр светящегося пятна на экране определяет разрешающую способность кинескопа, зависящую от числа воспроизводимых на экране элементов изображения. В кинескопах с небольшим экраном для уменьшения искажения изображения обычно применяют комбинированную фокусирующую систему, состоящую из первой электростатической и второй магнитной линзы, образуемой короткой катушкой. В кинескопах с большим экраном используют более экономичную электростатическую фокусировку. Ко второму аноду электронного прожектора кинескопа подводят высокое (5—25 кВ) напряжение, обеспечивающее значительное ускорение электронов и необходимую яркость изображения. Основные параметры кинескопов приведены в табл. 64, а их цоколевка — в табл. 65.

Глава V. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДИОДЫ

§ 23. Условные обозначения полупроводниковых диодов

Обозначение полупроводниковых диодов определяется ГОСТ 10862—72 и составляется из четырех элементов.

Первый элемент — буква или цифра обозначает исходный, полупроводниковый материал: Г или 1 — германий и его соединения; К или 2 — кремний и его соединения; А или 3 — соединения галлия.

Второй элемент — буква указывает класс прибора: Д — диоды; Ц — выпрямительные столбы и блоки; А — диоды СВЧ; В — варикапы; И — туннельные и обращенные диоды; Н — диодные тиристоры; У — триодные тиристоры; Л — излучатели (светодиоды); Г — генераторы шума; Б — диоды Ганна; К — стабилизаторы тока; С — стабилитроны и стабисторы.

Третий элемент состоит из трех цифр, обозначающих назначение и качественные свойства приборов, а также порядковый номер разработки. Ниже приведена характеристика (расшифровка) третьего элемента различных типов приборов.

Обозначение третьего элемента стабилитронов в зависимости от их мощности приведено в табл. 66.

<i>Выпрямительные диоды:</i>	
малой мощности со средним значением тока до 0,3 А	От 101 до 199
средней мощности со средним значением тока от 0,3 до 10 А	» 201 » 299
универсальные с частотой менее 1 ГГц	» 401 » 499
<i>Импульсные диоды с временем восстановления обратного сопротивления, нс:</i>	
более 150	» 501 » 599
от 30 до 150	» 601 » 699
от 5 до 30	» 701 » 799
от 1 до 5	» 801 » 899
менее 1	» 901 » 999
<i>Выпрямительные столбы со средним значением прямого тока, А:</i>	
малой мощности до 0,3	» 101 » 199
средней мощности от 0,3 до 10	» 201 » 299
<i>Выпрямительные блоки со средним значением прямого тока, А:</i>	
малой мощности до 0,3	» 301 » 399
средней мощности от 0,3 до 10	» 401 » 499
<i>Диоды СВЧ:</i>	
смесительные	» 101 » 199
детекторные	» 201 » 299
параметрические	» 401 » 499
регулирующие	» 501 » 599
умножительные	» 601 » 699
генераторные	» 701 » 799
<i>Варикапы:</i>	
подстроечные	» 101 » 199
умножительные	» 201 » 299
<i>Туннельные диоды:</i>	
усилительные	» 101 » 199
генераторные	» 201 » 299
переключательные	» 301 » 399
обращенные	» 401 » 499
<i>Диодные тиристоры со средним значением прямого тока, А:</i>	
малой мощности до 0,3	» 101 » 199
средней мощности от 0,3 до 10	» 201 » 299
<i>Триодные тиристоры</i>	
незапираемые со средним значением прямого тока, А:	
малой мощности до 0,3	» 101 » 199
средней мощности от 0,3 до 10	» 201 » 299
запираемые со средним значением прямого тока, А:	

малой мощности до 0,3	» 301 » 399
средней мощности от 0,3 до 10	» 401 » 499
симметричные незапираемые со средним значением прямого тока, А:	
малой мощности до 0,3	» 501 » 599
средней мощности от 0,3 до 10	» 601 » 699

Т а б л и ц а 66

Напряжение стабилизации, В	Обозначение третьего элемента при мощности стабилизаторов, Вт		
	малой (до 0,3)	средней (от 0,3 до 5)	большой (более 5)
До 10	От 101 до 199	От 401 до 499	От 701 до 799
От 10 до 99	» 201 » 299	» 501 » 599	» 801 » 899
» 100 » 199	» 301 » 399	» 601 » 699	» 901 » 999

Четвертый элемент (буква) классифицирует диод внутри технологического типа по одному или нескольким электрическим параметрам. В ряде случаев такая классификация осуществляется без буквы с помощью третьего элемента, тогда приборам одного типа, но с различными классификационными параметрами даются разные трехзначные номера в пределах соответствующей сотни. Иногда в конце обозначения ставят две буквы, последняя из которых может обозначать конструктивную модификацию данного диода. Например, КД202К означает кремниевый выпрямительный диод с допустимым средним прямым током до 10 А, разновидность К.

Наряду с приведенной системой обозначений выпускаются приборы разработки до 1964 года с двух- и трехэлементной системой обозначений, в которой *первый элемент* — буква Д, присваиваемая диодам; *второй элемент* — число, означающее: 1—100 — точечные германиевые, 101—200 — точечные кремниевые, 201—300 — плоскостные кремниевые, 301—400 — плоскостные германиевые диоды, 401—500 — СВЧ смесительные детекторы, 501—600 — умножительные диоды, 601—700 — видеодетекторы, 701—749 — параметрические германиевые, 750—800 — параметрические кремниевые, 951—1000 — туннельные диоды, 1001—1100 — выпрямительные столбы; *третий элемент* — буква А, Б..., определяющая разновидность диодов данного типа. Например, Д226Е обозначает кремниевый выпрямительный диод, разновидность Е, а Д1010А — кремниевый выпрямительный столб.

§ 24. Характеристики и параметры выпрямительных и универсальных диодов

Выпрямительные диоды служат для выпрямления переменного тока низкой частоты. В основе выпрямительных свойств этих диодов лежит принцип односторонней проводимости электронно-дырочных *p-n*-переходов.

Универсальные диоды используют в различной радиоэлектронной аппаратуре в качестве выпрямителей переменного тока высоких

и низких частот, умножителей и преобразователей частоты, детекторов больших и малых сигналов и т. д.

Диапазон рабочих токов и напряжений выпрямительных и универсальных диодов очень широк, поэтому они выпускаются как с точечным (рис. 35, а), так и плоскостным (рис. 35, б) *p-n*-переходом в структуре полупроводника с площадями от десятых долей квадратного миллиметра до нескольких квадратных сантиметров.

Обычно в универсальных диодах используются переходы с малыми площадями и емкостями, но с относительно высокими значениями прямых токов и обратных напряжений. Этим требованиям удовлетворяют точечные, микросплавные плоскостные и мезапланарные диоды. Характеристики и параметры универсальных диодов те же, что и у выпрямительных диодов.

Вольтамперная характеристика (ВАХ) выпрямительных диодов выражает зависимость тока, проходящего через диод, от значения и полярности приложенного к нему постоянного напряжения (рис. 36). Прямая ветвь характеристики $I_{пр} = \varphi(U_{пр})$ показывает зависимость тока через диод при прямой пропускной полярности приложенного напряжения. Сила прямого тока (участок *OA*) экспоненциально

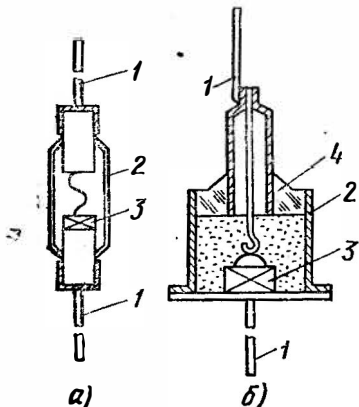


Рис. 35. Устройство диодов:

а — точечного, б — плоскостного; 1 — теплоотвод, 2 — корпус, 3 — монокристалл, 4 — изолятор

зависит от приложенного к диоду прямого напряжения и может достигать больших значений при малом (порядка 0,3—1 В) падении напряжения на диоде.

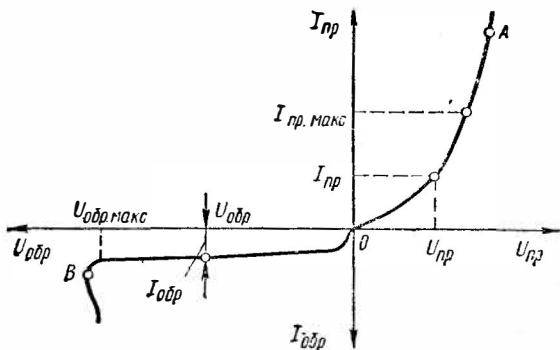


Рис. 36. Вольтамперная характеристика выпрямительных диодов

Обратная ветвь характеристики $I_{обр} = \varphi(U_{обр})$ соответствует направлению тока через диод при обратной полярности приложенного к диоду напряжения. Обратный ток (участок OB) незначительно зависит от приложенного обратного напряжения. При относительно большом обратном напряжении (точка B на характеристике) наступает электрический пробой p - n -перехода, при котором быстро увеличивается обратный ток, что может привести к тепловому пробую и повреждению диода. При повышении температуры возрастут тепловой ток и ток генерации носителей зарядов в переходе, что приведет к увеличению прямого и обратного токов и смещению характеристик диода.

Свойства и взаимозаменяемость диодов оценивают по их параметрам. К основным параметрам относят токи и напряжения, связанные с ВАХ (см. рис. 36).

Диоды применяют в цепях как переменного, так и постоянного тока. Поэтому для оценки свойств диодов наряду с параметрами на постоянном токе пользуются дифференциальными параметрами, характеризующими их работу на переменном токе.

Выпрямленный (прямой) ток $I_{пр}$ представляет собой ток (среднее значение за период), проходящий через диод, при котором обеспечивается его надежная и длительная работа. Сила этого тока ограничивается разогревом или максимальной мощностью $P_{макс}$. Превышение прямого тока ведет к тепловому пробую и повреждению диода.

Прямое падение напряжения $U_{пр.ср}$ — среднее значение за период на диоде при прохождении через него допустимого прямого тока.

Допустимое обратное напряжение $U_{обр}$ — среднее значение за период, при котором обеспечивается надежная и длительная работа диода. Превышение обратного напряжения приводит к пробую и выходу диодов из строя. При повышении температуры значения обратного напряжения и прямого тока снижаются.

Обратный ток $I_{обр}$ — среднее значение за период обратного тока при допустимом $U_{обр}$. Чем меньше обратный ток, тем лучше выпрямительные свойства диода. Повышение температуры на каждые 10°C приводит к увеличению обратного тока у германиевых и кремниевых диодов в 1,5—2 раза и более.

Максимальная постоянная, или средняя за период мощность $P_{макс}$, рассеиваемая диодом, при которой диод может длительно работать, не изменяя своих параметров. Эта мощность складывается из суммы произведений токов и напряжений при прямом и обратном смещениях перехода, т. е. за положительный и отрицательный полупериоды переменного тока.

Для приборов большой мощности, работающих с хорошим теплоотводом, $P_{макс} = (T_{п.макс} - T_k) / R_{п.к}$.

Для приборов малой мощности, работающих без теплоотвода, $P_{макс} = (T_{п.макс} - T_c) / R_{п.с}$.

Максимальная температура перехода $T_{п.макс}$ зависит от материала (ширины запрещенной зоны) полупроводника и степени его легирования, т. е. от удельного сопротивления области p - n -перехода — базы. Диапазон $T_{п.макс}$ для германия лежит в пределах 80 — 110°C , а для кремния 150 — 220°C .

Тепловое сопротивление $R_{п.к}$ между переходом и корпусом определяется температурным перепадом между переходом T_p и корпусом T_k и средней выделяемой в переходе мощностью P_p и составляет 1 — $3^\circ\text{C}/\text{Вт}$: $R_{п.к} = (T_p - T_k) / P_p$.

Тепловое сопротивление $R_{п.с}$ между переходом и окружающей средой зависит от температурного перепада между переходом $T_{п}$ и окружающей средой $T_{с}$. Поскольку практически $R_{п.к} < R_{к.с}$, то $R_{п.с}$ определяется тепловым сопротивлением между корпусом прибора и окружающей средой: $R_{п.с} = (T_{п} - T_{с}) / P_{п} = R_{п.к} + R_{к.с}$. Для обычных широко распространенных корпусов $R_{п.с} = 0,2 \div 0,4 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{мВт}$.

Предельный режим использования диодов характеризуют максимально допустимое обратное напряжение $U_{обр.макс}$, максимальный выпрямительный ток $I_{пр.макс}$ (см. рис. 36) и максимальная температура перехода $T_{п.макс}$.

С повышением частоты переменного напряжения, подводимого к диоду, ухудшаются его выпрямительные свойства. Поэтому для определения свойств выпрямительных диодов обычно оговаривается *диапазон рабочих частот* Δf или максимальная частота выпрямления $f_{макс}$. На частотах, больших $f_{макс}$, не успевают скомпенсироваться накопленные за время прямого полупериода неосновные носители заряда в базе, поэтому при обратном полупериоде выпрямляемого напряжения переход некоторое время остается прямосмещенным (т. е. теряет свои выпрямительные свойства). Это свойство проявляется тем значительнее, чем больше импульс прямого тока или выше частота подводимого переменного напряжения. Кроме того, на высоких частотах начинает проявляться шунтирующее действие барьерной и диффузионной емкостей p - n -перехода, снижающих его выпрямительные свойства.

При расчете режима выпрямителей используются статическое сопротивление постоянному току и дифференциальное сопротивление диодов переменному току.

Дифференциальное сопротивление переменному току $r_{диф} = \partial U / \partial I$ или $r_{диф} = \Delta U / \Delta I$ определяет изменение тока через диод при изменении напряжения вблизи выбранной рабочей точки на характеристике диода. При прямом включении напряжения $r_{диф.пр} \approx 0,026 / I_{пр}$ и токе $I_{пр} \geq 10 \text{ мА}$ оно составляет несколько ом. При подключении обратного напряжения $r_{диф.обр}$ велико (от десятков килоомов до нескольких мегаомов).

Статическое сопротивление диода постоянному току $r_{пр.д} = U_{пр} / I_{пр}$; $r_{обр.д} = U_{обр} / I_{обр}$. В области прямых токов $r_{пр.д} > r_{диф.пр}$, а в области обратных $r_{обр.д} < r_{диф.обр}$. Поскольку электрическое сопротивление p - n -перехода в прямом направлении меньше, чем в обратном, диод обладает односторонней проводимостью и используется для выпрямления переменного тока.

Емкости диодов оказывают существенное влияние на их работу на высоких частотах и в импульсных режимах. В паспортных данных диодов обычно приводится общая емкость диода $C_{д}$, которая помимо барьерной и диффузионной включает емкость корпуса прибора. Эту емкость измеряют между внешними токоотводами диода при заданных обратном напряжении смещения и частоте тока.

Выпрямительные диоды. Кремниевые сплавные диоды Д226Б — Д226Д (рис. 37, а) выпускаются в металлическом сварном корпусе с гибкими выводами с граничной рабочей частотой 1 кГц, массой не более 2 г, с диапазоном рабочих температур от -60 до $+80 \text{ } ^\circ\text{C}$ и сроком службы не менее 5000 ч. Электрические параметры диодов приведены в табл. 67.

Кремниевые сплавные диоды Д246—Д248Б (рис. 37, б) выпускаются в металлическом корпусе со стеклянными изоляторами и винтом для крепления, с граничной частотой 1 кГц, массой не более

Параметры	Типы диодов			
	Д226Б	Д226В	Д226Г	Д226Д
Амплитуда обратного напряжения, В, при температуре, °С: от -60 до +50 80	400 300	300 200	200 150	100 70
Обратный ток, мкА (не более), при температуре, °С: 20 и 60 80			100 300	
Выпрямленный ток, мА (не более), при температуре, °С: от -60 до +50 80			300 200	
Прямое напряжение, В, при 20 и 80 °С			Не более 1	

18 г, с диапазоном рабочих температур от -55 до $+125$ °С и сроком службы 1200 ч. Электрические параметры диодов приведены в табл. 68.

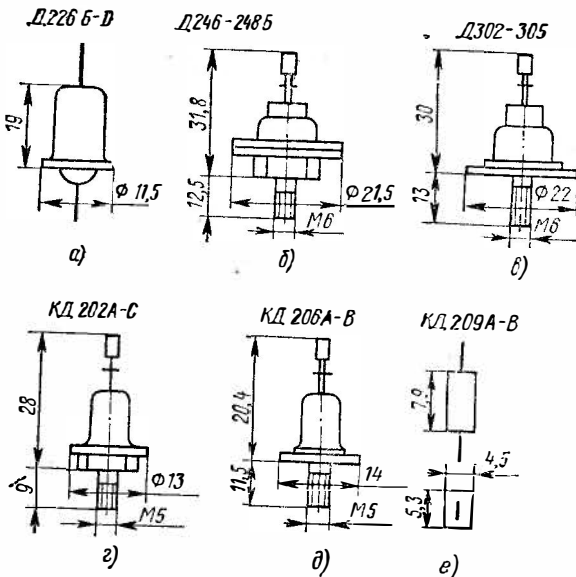


Рис. 37. Общий вид и габаритные размеры выпрямительных диодов (а—е)

Таблица 68

Параметры	Типы диодов					
	Д246	Д246А	Д246Б	Д247	Д247Б	Д248Б
Амплитуда обратного напряжения, В	400	400	400	500	500	600
Обратный ток, мА, при температуре 20, 100 и -55 °С	3	3	3	3	3	3
Выпрямленный ток, А, при температуре корпуса, °С:						
	до 75	10	5	10	5	5
	125	5	10	2	5	2
Прямое напряжение, В	1,2	1,0	1,5	1,2	1,5	1,5

Германиевые сплавные диоды Д302—Д305 (рис. 37, в) выпускаются в металлическом сварном корпусе с винтом и гайкой для крепления на теплоотводящем шасси толщиной 3 мм следующих размеров: 54×34 мм² (Д303), 72×60 мм² (Д304), 134×122 мм² (Д305). Диоды изготовляют массой 25 г (без радиатора), с диапазоном рабочих температур от -60 до +70 °С и сроком службы 5000 ч. Электрические параметры приведены в табл. 69.

Кремниевые сплавные диоды КД202 (А—Ж, И—Н, Р, С) выпускаются в металлическом корпусе (рис. 37, г) с винтом, с граничной рабочей частотой 1,2 кГц, массой 6 г, с диапазоном рабочих темпе-

Таблица 69

Параметры	Типы диодов				
	Д302	Д303	Д304	Д305	
Амплитуда обратного напряжения, В, при температуре, °С:					
	от 20 до -60	200	150	100	50
	при 50	120	120	100	50
при 70	50	50	50	50	
Обратный ток, мА, при температуре, °С:	20	0,8	1	2	2,5
	50	1,5	2	5	10
	70	3	4	10	20
Выпрямленный ток, А, при температуре, °С:					
	от 20 до -60	1	3	5	10
	50	1	2,5	3	6,5
70	0,8	1,5	1,8	3	
Прямое напряжение, В, при 20 °С	0,3	0,35	0,3	0,35	

Таблица 70

Параметры	КД202А и КД202Б	КД202В и КД202Г	КД202Д и КД202Е	КД202Ж и КД202И	КД202К и КД202Л	КД202М и КД202Н	КД202Р и КД202С
	Амплитуда обратного напряжения, В	50	100	200	300	400	500
Обратный ток, мА	1	1	1	1	1	1	1
Выпрямленный ток, А	5 и 3,5	5 и 3,5	5 и 3,5	5 и 3,5	5 и 3,5	5 и 3,5	5 и 3,5
Прямое напряжение, В, при прямом токе 10 А	1	1	1	1	1	1	1
Ток перегрузки, А, в течение 1,5 с при температуре корпуса 25 °С	9	9	9	9	9	9	9

Таблица 71

Параметры	Типы диодов				
	КД203А	КД203Б	КД203В	КД203Г	КД203Д
Амплитуда обратного напряжения, В, при температуре от -55 до +100 °С	600	800	800	1000	1000
Обратный ток, мА, при максимальном обратном напряжении	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Выпрямленный ток, А, при температуре корпуса, °С:					
от -55 до +55	10	10	10	10	10
100	10	5	10	5	10
Прямое напряжение, В, при температуре и среднем прямом токе:					
25 и -55 °С и 10 А			1		
100 °С и 5 А			1		
Постоянное обратное напряжение, В	420	560	560	700	700
Ток перегрузки, А, на частоте 50 Гц в течение времени:					
1,5 с при $U_{обр} < U_{обр.макс}$			Трехкратный		
50 с при $U_{обр} < 2U_{обр.макс}$			Пятикратный		

ратур от -60 до $+120$ °С и сроком службы 10000 ч. Электрические параметры диодов приведены в табл. 70.

Кремниевые сплавные диоды КД203 (А—Д) выпускаются в металлическом корпусе (см. рис. 37, б) с винтом с граничной рабочей частотой 1 кГц, массой (в комплекте) до 18 г, с диапазоном рабочих температур от -55 до $+100$ °С. Электрические параметры диодов приведены в табл. 71.

Кремниевые диффузионные диоды КД204 (А—В) выпускаются в металлическом корпусе с винтом (см. рис. 37, б) с граничной рабочей частотой 50 кГц, массой до 5,1 г, с диапазоном рабочих температур от -55 до $+85$ °С. Электрические параметры диодов приведены в табл. 72.

Т а б л и ц а 72

Параметры	Типы диодов		
	КД204А	КД204Б	КД204В
Постоянное и импульсное обратное напряжение, В, при температуре от -55 до $+85$ °С	400	200	50
Обратный ток, мкА, при $U_{обр} = U_{обр.макс}$ и температуре, °С: +25 и -55 85	150	100	50
	2000	1000	500
Постоянный прямой ток, А, диодов с радиатором 60×60 мм ² при температуре, °С: от -55 до $+55$ 85	0,4	0,6	1,0
	0,2	0,25	0,4
без радиатора при температуре, °С: от -55 до $+55$ 85	0,3	0,35	0,6
	0,15	0,175	0,2
Постоянное прямое напряжение, В, при прямом токе 600 мА и температуре, °С: 25 и 85 -55	1,4	1,4	1,4
	1,6	1,6	1,6

Т а б л и ц а 73

Параметры	Типы диодов									
	КД205А	КД205Б	КД205В	КД205Г	КД205Д	КД205Е	КД205Ж	КД205И	КД205К	КД205Л
Выпрямленный ток, мА	500	500	500	500	500	300	500	300	700	700
Обратное постоянное напряжение, В	500	400	300	200	100	500	600	700	100	200

Прямое напряжение, В	1
Обратный ток, мкА, при температуре, °С:	
25	100
85	200

Кремниевые диффузионные диоды КД205 (А—Д, И, К, Л) выпускаются в пластмассовом корпусе (см. рис. 37, б), в котором размещается по два изолированных диода. Диоды изготавливают с граничной рабочей частотой 5 кГц, массой до 6 г, с диапазоном рабочих температур от -40 до $+85$ °С. Электрические параметры диодов приведены в табл. 73.

Кремниевые мезадиффузионные лавинные диоды КД206 (А—В) выпускаются в металлическом корпусе (рис. 37, д) с винтом с граничной рабочей частотой 1 кГц, массой 9 г (в комплекте), с диапазоном рабочих температур от -60 до $+125$ °С. Электрические параметры диодов приведены в табл. 74.

Таблица 74

Параметры	Типы диодов		
	КД205А	КД205Б	КД205В
Амплитуда обратного напряжения, В, любой формы и периодичности	400	500	600
Постоянный обратный ток, мА, при температуре, °С:			
от $+25$ до -60	0,7	0,7	0,7
125	1,5	1,5	1,5
Выпрямленный ток, А, при температуре корпуса, °С:			
от -60 до $+70$	10	10	10
85	5	5	5
Постоянное прямое напряжение, В, при прямом токе, А:			
1	1,2	1,2	1,2
10	1,5	1,5	1,5
Импульсный прямой ток, А, при $\tau_{имп} \leq 10$ мкс	100	100	100
Импульсный перегрузочный обратный ток, А, при $\tau_{имп} = 20$ мкс	5	3	1
Минимальное пробивное напряжение, В, при $I_{обр} = 2$ мА	500	600	720

Кремниевые диффузионные диоды КД209 (А—В) выпускаются в пластмассовом корпусе (рис. 37, ж) с граничной рабочей частотой 1 кГц, массой до 0,5 г, с диапазоном рабочих температур от -60 до $+85$ °С. Маркировочная метка на корпусе КД209А—красная полоса, КД209Б—зеленая точка, КД209В—красная точка или полоса. Электрические параметры диодов приведены в табл. 75.

Универсальные диоды. Германиевые диоды ГД402 (А, Б) применяются в радиотехнических и измерительных устройствах в качестве амплитудных, частотных, фазовых и видеодетекторов, выпрямителей

Таблица 75

Параметры	Типы диодов		
	КД209А	КД209Б	КД20.В
Постоянное или импульсное обратное напряжение, В	400	600	800
Средний прямой ток, мА, при температуре, °С:			
от -60 до +55	700	700	500
85	700	500	300
Постоянный обратный ток, мкА, при $U_{обр} = U_{обр. макс}$ и температуре, °С:			
+25 и -60	100	100	100
85	300	300	300
Импульсный прямой ток, А, при $\tau_{имп} \leq 20$ мкс с интервалом до 5 мин	15	15	15
Постоянное прямое напряжение, В, при $I_{пр} = I_{пр. макс}$ и температуре 25 °С	1	1	1

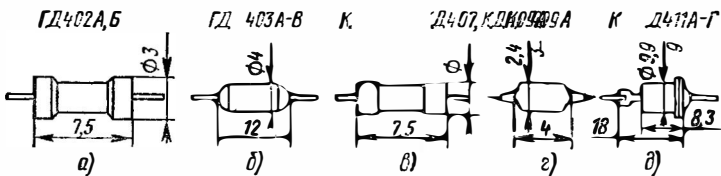


Рис. 38. Общий вид и габаритные размеры универсальных диодов (а—д)

Таблица 76

Параметры	Типы диодов	
	ГД102А	ГД40 Б
Обратное напряжение, В, любой формы и периодичности	15	15
Обратный ток, мкА, при $U_{обр} = 10$ В	100	100
Прямой ток, мА, при температуре, °С:		
от -55 до +25	25	25
60	20	20
Прямое напряжение, В, при $I_{пр} = 15$ мА	0,45	0,45
Импульсный прямой ток $I_{пр. макс}$, мА, при $\tau_{имп} = 10$ мкс	100	100
Дифференциальное сопротивление, Ом, при $I_{пр} = 15$ мА и температуре 25 °С	4,5	6
Емкость диода, пФ, при $U_{обр} = 5$ В	0,8	0,5

высокой частоты, а также в коммутационных и ограничительных схемах устройств связи. Они выпускаются в стеклянном герметичном корпусе (рис. 38, а) с предельной частотой 100 МГц, массой 0,2 г, с диапазоном рабочих температур от -55 до $+60$ °С. Электрические параметры диодов приведены в табл. 76.

Таблица 77

Параметры	Типы диодов		
	ГД403А	ГД403Б	ГД403В
Обратное напряжение, В	5	5	5
Прямой ток, мА, при $U_{обр} = 0,5$ В	5	5	5
Коэффициент передачи при температуре, °С:			
25	0,33—0,47	0,4—0,56	0,47—0,66
-25	0,18—0,26	0,22—0,35	0,26—0,645
Входное сопротивление, кОм, при температуре, °С:			
+25	15—30	11—24	8—20
-25	22—37	18—31	15—27

Германиевые диоды ГД403 (А, Б, В) служат для работы в качестве детекторов радиотехнических устройств. Они выпускаются в металлическом корпусе (рис. 38, б) массой 0,6 г, с диапазоном ра-

Таблица 78

Параметры	Типы диодов	
	КД407А	КД408А
Амплитуда обратного напряжения, В	24	24
Обратный ток, мкА, при температуре, °С:		
25	0,5	0,5
100	10	10
Средний прямой ток, мА, при температуре, °С:		
от -60 до $+35$	50	50
100	25	25
Наибольший импульсный прямой ток, мА, при $\tau_{имп} \leq 10$ мкс, скважности более 10 и температуре, °С:		
от -60 до $+35$	500	500
100	250	250
Дифференциальное сопротивление при $I_{пр} = 10$ мА в диапазоне частот, МГц:		
$f = 50 \div 100$	—	1
$f = 50 \div 300$	1	—
Емкость, пФ, при обратном напряжении, В:		
5	1	—
15	—	2
Индуктивность, нГн	5	4
Мощность, Вт, при $R_n = 75$ Ом в диапазоне частот 50—300 МГц	1	—

бочих температур от -25 до $+55$ °С. Электрические параметры диодов приведены в табл. 77.

Кремниевые диоды КД407А, КД409А. Диоды КД407А используют для работы в коммутационных схемах аппаратуры широкого применения и выпускают в стеклянном корпусе (рис. 38, в) массой 0,3 г, а диоды КД409А применяют для работы в селекторах телевизионных каналов и другой аппаратуре и выпускают в пластмассовом корпусе (рис. 38, г) массой 0,16 г, с диапазоном рабочих температур от -60 до 100 °С для обоих типов. Электрические параметры диодов приведены в табл. 78.

Кремниевые диоды КД411 (А—Г, рис. 38, д) выпускают с диапазоном рабочих температур от -40 до $+90$ °С. Электрические параметры диодов приведены в табл. 79.

Таблица 79

Параметры	Типы диодов			
	КД411А	КД411Б	КД411В	КД411Г
Постоянное обратное напряжение, В	700	600	500	400
Обратный ток, мкА, при температуре от $+70$ до -40 °С	0,7	0,7	0,7	0,7
Постоянное прямое напряжение, В, при прямом токе	1,4	1,4	1,4	2
Постоянный прямой ток, А, при температуре от -40 до $+70$ °С	1	1	1	1
Прямой импульсный ток, А, при частоте следования импульсов и температуре: до 20 кГц и от -40 до $+70$ °С	5	5	—	—
до 500 Гц и рабочей	10	10	10	10

§ 25. Выпрямительные столбы и блоки

Выпрямительные столбы используют в высоковольтных выпрямителях, а блоки — в мостовых схемах выпрямителей и схемах удвоения выпрямленного напряжения. Параметры и ВАХ столбов и блоков те же, что и у выпрямительных диодов.

Кремниевые диффузионные столбы КЦ106 (А—Д) выпускаются в пластмассовом корпусе (рис. 39, а) с граничной частотой 20 кГц, массой до 25 г, с диапазоном рабочих температур от -55 до $+85$ °С. Положительный вывод столба обозначается черной точкой на торце его корпуса. Электрические параметры столбов приведены в табл. 80.

Кремниевые столбы КЦ201 (А—Е) применяются для работы в выпрямителях статических преобразователей и выпускаются в пластмассовом корпусе (рис. 39, б) с граничной рабочей частотой 1 кГц, массой 40 г (КЦ201А, КЦ201Б), 70 г (КЦ201В—КЦ201Д) и 90 г (КЦ201Е), с диапазоном рабочих температур от -60 до $+100$ °С.

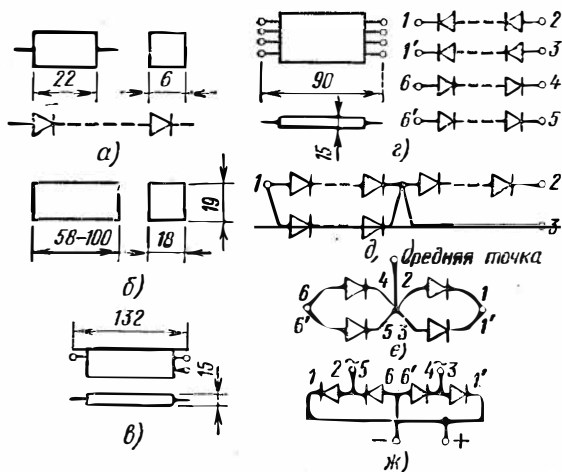


Рис. 39. Дiodные блоки (а — КЦ106А—Д, б — КЦ201А—Е, в, г — КЦ401) и схемы соединения диодов в блоках (д, е — удвоения, ж — мостовая)

Таблица 80

Параметры	Типы диодов				
	КЦ106А	КЦ106Б	КЦ106В	КЦ106Г	КЦ106Д
Амплитуда обратного напряжения, кВ	4	6	8	10	2
Обратный ток, мкА, при $U_{обр} = U_{обр. макс}$	10	10	10	10	10
Средний выпрямленный ток, мА	10	10	10	10	10
Прямое напряжение, В, при $I_{пр} = 10$ мА и 25°C	25	25	25	25	25
Импульсный прямой ток, А, при $\tau_{имп} \leq 50$ мкс с интервалом 60 с	1	1	1	1	1

Столбы состоят из диффузионных лавинных переходов. Электрические параметры столбов приведены в табл. 81.

Кремниевые сплавы диоды (блоки) КЦ401 выпускаются в пластмассовом корпусе (рис. 39, в, г) с граничной рабочей частотой 1 кГц, с диапазоном рабочих температур от -55 до $+60^\circ\text{C}$ и сроком службы не менее 10 000 ч. Внутри блоков диоды могут быть со-

Таблица 81

Параметры	Типы столбов					
	КЦ201А	КЦ201Б	КЦ201В	КЦ201Г	КЦ201Д	КЦ201Е
Импульсные (синусоидальные) напряжения, кВ, при $f=50$ Гц	2	4	6	8	10	15
Обратный ток, мкА	100	100	100	100	100	100
Средний выпрямленный ток, мА	500	500	500	500	500	500
Прямое напряжение, В	3	3	6	6	6	10
Общее тепловое сопротивление столбов, °С/Вт	32	32	15	15	15	15

единсны по схеме удвоения напряжения (КЦ401А, КЦ401Б, рис. 39, д, е) и мостовой схеме (КЦ401Б, рис. 39, ж). Запрещается последовательное и параллельное включение блоков. Электрические параметры диодов (блоков) приведены в табл. 82.

Таблица 82

Параметры	Типы диодов (блоков)		
	КЦ401А	КЦ401Б	КЦ401Б (схема моста)
	(схема удвоения)		
Постоянное обратное напряжение, В, при соединении диодов в мост или на каждое плечо при соединении по схеме удвоения	500	500	500
Постоянный обратный ток, мкА	100	100	100
Средний выпрямленный ток, мА:			
первого плеча	400	200	250
второго плеча	300	200	250
Постоянное прямое напряжение, В, на каждом плече при среднем прямом токе 250 мА	2,5	2,5	2,5

Кремниевые диффузионные блоки КЦ402—КЦ405 (А—И) выпускаются в пластмассовом корпусе (рис. 40, а—е), массой 7 г (КЦ402А—КЦ402И), 15 г (КЦ403А—КЦ403И и КЦ404А—КЦ404И) и 20 г (КЦ405А—КЦ405И), с диапазоном рабочих температур от -40 до $+85$ °С. Блоки собраны по однофазной мостовой схеме. Электрические параметры блоков приведены в табл. 83.

Кремниевые блоки КЦ407А выпускаются в пластмассовом корпусе (рис. 41, а) с граничной частотой 20 кГц, массой 0,5 г, с диапазоном рабочих температур от -60 до $+55$ °С. Блок содержит

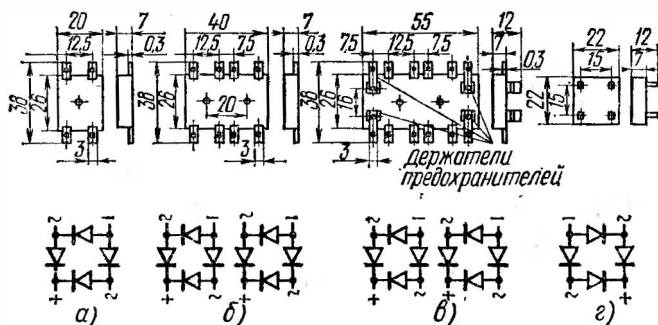


Рис. 40. Блоки и схемы соединения диодов в них:
 а — КЦ402А—И, б — КЦ403А—И, в — КЦ404А—И, г — КЦ405А—И

Таблица 83

Параметры	Типы блоков КЦ402—КЦ405							
	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	И
Амплитуда обратного напряжения, В	600	500	400	300	200	100	600	500
Средний выпрямленный ток, А, на частоте $f \leq 5$ кГц.	1	1	1	1	1	1	0,6	0,6

четыре диода, изготовленных по мезадиффузионной технологии и соединенных по мостовой схеме (рис. 41, б).

При включении блока в качестве выпрямительного моста (при работе на активную нагрузку) напряжение на входе (амплитудное значение) равно 300 В, средний выпрямленный ток на выходе—

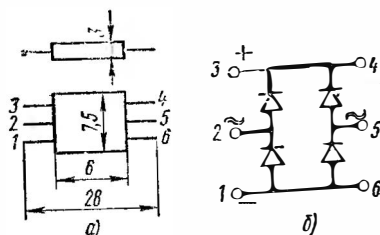


Рис. 41. Блок КЦ407А (а) и схема соединения диодов в нем (б)

500 мА, а при включении блока выводами 1 (6) и 3(4) (при изолированных выводах 2 и 5) обратное напряжение (амплитудное значение) при температуре от -60 до $+85^{\circ}\text{C}$ равно 500 В, постоянный или средний прямой ток — 300 мА.

§ 26. Импульсные диоды

Импульсные диоды пригодны к работе в быстродействующих импульсных схемах с очень малым (менее 1 мкс) временем переключения их из проводящего в непроводящее состояние. Время переключения

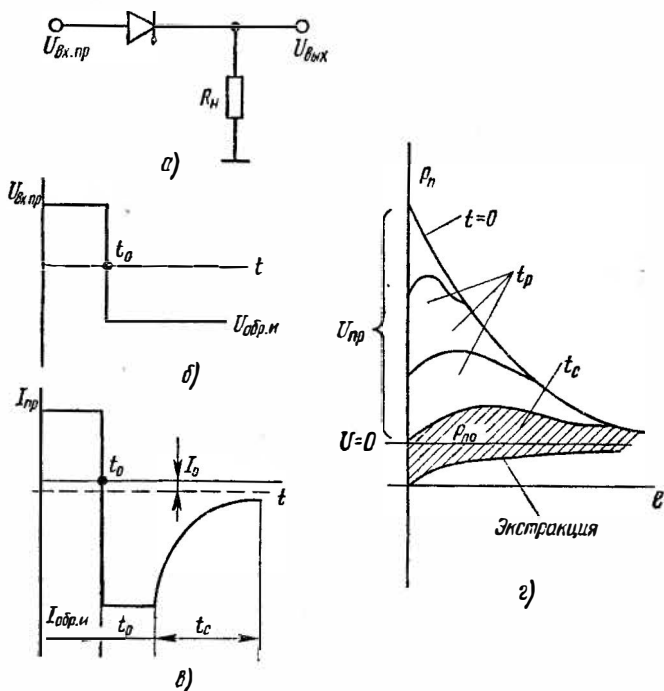


Рис. 42. Схема включения импульсного диода (а), эюры приложенного импульсного напряжения (б), тока (в) и процессы в базе (г)

чения этих диодов в основном определяется временем накопления в базе и экстракции неосновных носителей заряда. За счет уменьшения площади p - n -перехода обеспечивается малая емкость диодов.

Свойства импульсных диодов оценивают теми же характеристиками и параметрами, что и у выпрямительных диодов. Импульсные свойства диодов дополнительно характеризуются величиной заряда

переключения Q_{II} или временем восстановления. Заряд переключения нормируется при заданном прямом и обратном напряжении. Он представляет собой полный электрический заряд, переносимый во внешнюю цепь обратным током диода после его переключения с прямого тока на импульсное обратное напряжение.

Под воздействием прямого входного напряжения $U_{вх.пр}$ (рис. 42, а, б) через диод проходит прямой ток $I_{пр}$ (рис. 42, в), который определяется как прямым напряжением $U_{пр}$, так и сопротивлениями прямосмещенного перехода $r_{пр}$ и нагрузки R_n (см. рис. 42, а). В момент времени t_0 (см. рис. 42, б) меняется полярность

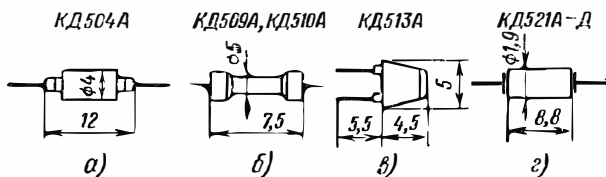


Рис. 43. Общий вид и габаритные размеры импульсных диодов (а—г)

приложенного напряжения на обратное $U_{обр.и}$, вследствие чего изменяется на обратное и направление тока (рис. 42, в). Однако накопившиеся в базе неосновные носители некоторое время удерживают переход под прямым смещением, в результате чего сопротивление перехода остается небольшим и через диод проходит относительно большой обратный ток $I_{обр.и}$, превышающий обратный ток установившегося режима I_0 ($I_{обр.и} \gg I_0$). Сила этого тока определяется значением обратного напряжения $U_{обр.и}$ и сопротивлением нагрузки R_n . В интервале времени рассасывания t_r происходит экстракция дырок из базы в эмиттерную область p и одновременно их частичная рекомбинация. К концу этого процесса концентрация дырок p_n в базе снижается до равновесной p_{n0} (имеющей место при потенциале перехода $U=0$, рис. 42, г), переход получает обратное смещение, его сопротивление становится большим ($r_{диф} = r_{обр}$), вследствие чего ток через переход снижается (см. рис. 42, в). Время t_c , в течение которого происходит спад импульса тока до исходного значения I_0 , соответствующего равновесному режиму, называют временем восстановления ($t_{вос} = t_c$). Диффузионные диоды с плавными переходами и тонкой базой обладают меньшим временем восстановления, чем точечные и сплавные с резкими $p-n$ -переходами.

Емкость импульсных диодов колеблется от 0,5 до 15 пФ. Потери, а также частотные и импульсные свойства диодов характеризует выходное напряжение $U_{вых}$, снимаемое с нагрузки R_n (см. рис. 42, а). Для диодов, работающих на прямой ветви ВАХ, т. е. на включение, важен температурный коэффициент напряжения ТКН, характеризующий стабильность $U_{пр}$ в рабочем диапазоне температур.

Кремниевые импульсные диоды КД504А применяются в радиотехнических и измерительных устройствах, схемах детектирования, элементах ЭВМ и выпускают в металлоглазном светонепроницаемом корпусе (рис. 43, а) с гибкими выводами, массой до 0,7 г, с диапа-

зоном рабочих температур от -60 до $+100^{\circ}\text{C}$. Электрические параметры диодов приведены ниже.

Постоянное прямое напряжение, В, при $I_{\text{пр}}=100$ мА	
и температуре, $^{\circ}\text{C}$:	
25	1,2
-40	1,4
Постоянный обратный ток, мкА, при $U_{\text{обр}}=40$ В и температуре, $^{\circ}\text{C}$:	
25	2
100	100
Заряд переключения, Кл, при $I_{\text{пр}}=300$ мА и $U_{\text{обр}}=30$ В	
	$1,5 \cdot 10^{-8}$
Максимально допустимое постоянное обратное напряжение, В, при температуре от -60 до $+100^{\circ}\text{C}$	
	40
Максимально допустимый прямой ток, мА, при температуре, $^{\circ}\text{C}$:	
от -60 до $+35$	240
100	80
Максимально допустимый импульсный прямой ток, А, при $\tau_{\text{имп}} \leq 10$ мкс и температуре, $^{\circ}\text{C}$:	
25	1
100	0,3
Емкость, пФ, при температуре 25°C	
	4

Кремниевые импульсные диоды КД509А, КД510А применяют для импульсных радиоэлектронных устройств и выпускают в стеклянном светонепроницаемом корпусе (рис. 43, б) с гибкими выводами, с диапазоном рабочих температур от -55 до $+85^{\circ}\text{C}$. Срок службы 15 000 ч. Электрические параметры диодов приведены ниже.

	КД509А	КД510А
Постоянное прямое напряжение, В, при $I_{\text{пр}}=100$ мА и температуре, $^{\circ}\text{C}$:		
25	1,1	
-55	1,5	
Постоянный обратный ток, мкА, при $U_{\text{обр}}=50$ В и температуре, $^{\circ}\text{C}$:		
25	5	
85	100	
Заряд переключения, пКл, при $I_{\text{пр}}=50$ мА и $U_{\text{обр}}=10$ В		
	более 400	
Допустимое постоянное обратное напряжение, В		
	50	
Допустимый постоянный прямой ток, мА, при температуре, $^{\circ}\text{C}$:		
25	160	200
85	50	100
Допустимый импульсный прямой ток, А, при $\tau_{\text{имп}} \leq 10$ мкс и температуре 25°C		
	1,5	
Допустимое импульсное обратное напряжение, В, при $\tau_{\text{имп}} \leq 2$ мкс и скважности 10		
	70	
Емкость, пФ, при $U_{\text{обр}} \leq 50$ мВ		
	4	

Кремниевые импульсные диоды КД513А применяют в широкополосных ограничителях и детекторах, элементах ЭВМ среднего и высокого быстродействия и выпускают в пластмассовом корпусе (рис. 43, в) с гибкими выводами, массой 0,11 г, с диапазоном рабочих температур от -60 до $+85$ °С. Срок службы 10 000 ч. Электрические параметры диодов приведены ниже.

Постоянное прямое напряжение, В, при $I_{пр} = 100$ мА и температуре 25 и 85 °С	1,1
Постоянный обратный ток, мкА, при $U_{обр} = 50$ В и температуре, °С:	
+25 и -60	5
85	100
Заряд переключения, пКл, при $I_{пр} = 50$ мА и $U_{обр} = 10$ В	400
Допустимое постоянное обратное напряжение, В	50
Допустимый постоянный прямой ток, мА, при температуре, °С:	
от -60 до $+35$	100
85	50
Импульсный прямой ток, А, при $\tau_{имп} = 10$ мкс, скважности более 20 и температуре от -60 до $+35$ °С	1,5
Импульсное обратное напряжение, В, при $\tau_{имп} = 2$ мкс и скважности 10	70
Емкость, пФ	4

Кремниевые импульсные диоды КД521(А—Д) применяют в широкополосных ограничителях и детекторах, элементах ЭВМ среднего и высокого быстродействия и выпускают в пластмассовом корпусе (рис. 43, г) с гибкими выводами, массой 0,15 г, с диапазоном рабочих температур от -60 до $+125$ °С. Срок службы 15 000 ч.

Диоды маркируют одной широкой и двумя узкими цветными полосами: КД521А — синими, КД521Б — серыми, КД521В — желтыми, КД521Г — белыми, КД521Д — зелеными. Электрические параметры диодов приведены в табл. 84.

Таблица 84

Параметры	Типы диодов				
	КД521А	КД521Б	КД521В	КД521Г	КД521Д
Постоянное прямое напряжение, В, при $I_{пр} = 20$ мА и температуре, °С:					
	+25	1	1	1	1
-60	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Постоянный обратный ток, мкА, при $U_{обр.макс}$ и температуре, °С:					

Параметры	Типы диодов				
	КД521А	КД521Б	КД521В	КД521Г	КД521Д
+25 и —60 125	1 100	1 100	1 100	1 100	1 100
Заряд переключе- ния, пКл, при $U_{обр} = 10$ В	200	200	200	200	200
Допустимое об- ратное напряже- ние, В:					
постоянное	75	60	50	30	12
импульсное	80	65	55	35	15
при $\tau_{имп} =$ = 2 мкс и скважности более 10					

Допустимый постоянный прямой ток, мА, при темпе-
ратуре, °С:

от —60 до +50 50
125 20

Допустимый импульсный прямой ток, мА, при $\tau_{имп} \leq$
 ≤ 10 мкс и температуре, °С:

от —60 до +150 500
125 200

Емкость, пФ, при $U_{обр} = 0$ 10

Кремниевые импульсные диоды КД522 (А, Б) применяют в ши-
рокополосных ограничителях, детекторах, схемах ЭВМ и выпускают
в пластмассовом корпусе (см. рис. 44, з) с гибкими выводами, мас-
сой 0,2 г, с диапазоном рабочих температур от —55 до +85 °С.
Диоды маркируют цветными полосками: КД522А—два кольца,
КД522Б—три кольца. Электрические параметры диодов приведены
в табл. 85.

Таблица 85

Параметры	Типы диодов	
	КД522А	КД522Б
Постоянное прямое напряжение, В, при $I_{пр} =$ = 100 мА и температуре, °С:		
25	1,1	1,1
55	1,5	1,5
Постоянный обратный ток, мА, при $\tau_{имп} \leq$ ≤ 10 мкс, скважности более 10 и темпера- туре, °С:		

Параметры	Типы диодов	
	КД522А	КД522Б
+25 и -60	2	5
85	50	50
Заряд переключения, пКл, при $I_{пр}=50$ мА и $U_{обр.и}=10$ В	400	400
Допустимое обратное напряжение, В:		
постоянное	30	50
импульсное при $\tau_{имп}=10$ мкс и скважности более 10	40	60

Импульсный прямой ток, мА, при температуре, °С:

от -55 до +35	1500
85	850

§ 27. Стабилитроны

Стабилитроны применяют в качестве стабилизаторов или опорных элементов электрических цепей. Их работа основана на электрическом (лавинном или туннельном) пробое $p-n$ -перехода под действием обратного напряжения. В этих днодах для работы используется обратная пробойная ветвь ВАХ $p-n$ -перехода (рис. 44, участок a). В пределах рабочего участка AB этой ветви характеристики значительное изменение тока через диод от $I_{ст.мин}$ до $I_{ст.макс}$ сопровождается лишь небольшим увеличением напряжения $\Delta U_{ст}$. Как правило, стабилитроны изготовляют из кремния, обладающего незначительным тепловым током I_0 и устойчивыми характеристиками в широком диапазоне температур. Стабилитроны характеризуются следующими параметрами.

Номинальное напряжение стабилизации $U_{ст}$, измеряемое при некотором среднем (номинальном) токе.

Минимальный $I_{ст.мин}$ и максимальный $I_{ст.макс}$ токи стабилизации. При токах, меньших $I_{ст.мин}$, растет $r_{диф}$ и пробой становится неустойчивым. При токах, больших $I_{ст.макс}$, увеличивается мощность рассеивания и разогрев диода, возрастает опасность теплового пробоя и повреждения диода.

Температурный уход напряжения стабилизации $\Delta U_{ст.т}$, определяемый как разность номинальных напряжений стабилизации $U_{ст1}$, $U_{ст2}$ при двух температурах окружающей среды.

Температурный коэффициент напряжения стабилизации, равный отношению относительного изменения напряжения к абсолютному изменению температуры окружающей среды ($\%/^{\circ}\text{C}$):

$$TKU_{ст} = \frac{U_{ст.2} - U_{ст1}}{(U_{ст2} + U_{ст1})/2} \cdot \frac{1}{T_2 - T_1} \cdot 100 = \frac{\Delta U_{ст.т}}{U_{ст} \Delta T} \cdot 100.$$

Дифференциальное сопротивление пробивной ветви характеристики

$$r_{\text{диф}} = r_{\text{ст}} = \Delta U_{\text{ст}} / \Delta I_{\text{ст}}$$

Несимметричность напряжения стабилизации $U_{\text{ст}}$ симметричных приборов, состоящих из двух (соединенных встречно) $p-n$ -переходов.

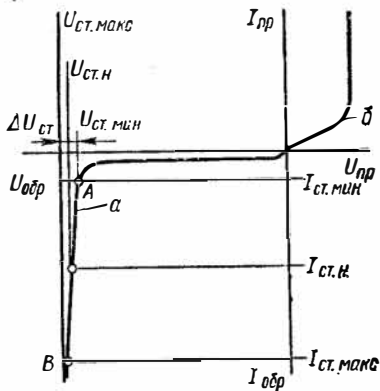


Рис. 44. Вольтамперные характеристики стабилизаторов (а) и стабилиторов (б)

Такие стабилитроны включаются в схему любой полярности и за счет эффекта компенсации (прямая и обратная ветви имеют разные знаки ТКУ) обладают меньшим ТКУ_{ст}.

В стабилиторах используются свойства прямой ветви ВАХ (рис. 44, участок б). Параметры стабилиторов аналогичны параметрам стабилитронов, а их максимальные токи, мощности и тепловые параметры те же, что и у выпрямительных диодов.

Кремниевые сплавные стабилитроны Д815 (А—И) выпускают в металлическом герметичном корпусе (рис. 45, а) с винтом, массой 6 г, с диапазоном рабочих температур от -60 до $+100$ °С.

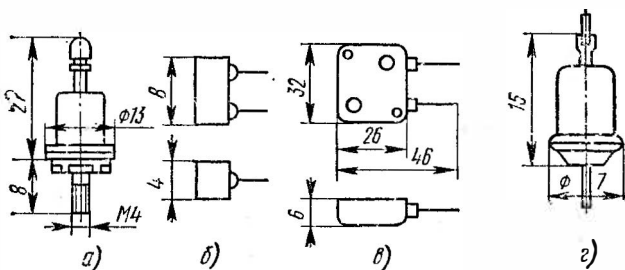


Рис. 45. Общий вид и габаритные размеры стабилитронов:

а — Д815А—И, б — КС175А (КС182А, КС191А, КС210Б, КС213Б), в — КС211Б—Д, г — КС482А (КС515А, КС518А, КС522А, КС527А)

Корпус у стабилитронов является положительным электродом. Если в их обозначение введена дополнительно буква П, например Д815АП, они имеют обратную полярность. Электрические параметры стабилитронов приведены в табл. 86.

Таблица 86

Параметры	Типы стабилизаторов							
	Д815А	Д815Б	Д815В	Д815Г	Д815Д	Д815Е	Д815Ж	Д815И
Напряжение стабилизации, В	5,6	6,8	8,2	10	12	15	18	4,7
Дифференциальное сопротивление, Ом, при токе стабилизации	0,9	1,2	1,5	2,7	3	3,8	4,5	0,9
Ток стабилизации, А:								
при котором измеряется напряжение стабилизации	1	1	1	0,5	0,5	0,5	0,5	1
максимальный при температуре от -60 до $+70$ °С	1,4	1,15	0,95	0,8	0,65	0,55	0,45	1,4
минимальный при температуре от -60 до $+100$ °С	0,05	0,05	0,05	0,025	0,025	0,025	0,025	0,05
Температурный коэффициент напряжения, %/°С	0,056	0,062	0,088	0,1	0,11	0,13	0,14	0,56
Мощность рассеивания, Вт, при температуре от -60 до $+70$ °С	8	8	8	8	8	8	8	8
Прямой ток, А, при температуре корпуса до 100 °С	1	1	1	1	1	1	1	1
Прямое напряжение, В, при токе 0,5 А	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5

Кремниевые сплавные двуханодные стабилитроны КС175А, КС182А, КС191А, КС210Б, КС213Б выпускают в пластмассовом корпусе (рис. 45, б) массой 0,35 г, с диапазоном рабочих температур от -50 до $+100$ °С. Электрические параметры стабилитронов приведены в табл. 87.

Таблица 87

Параметры	Типы стабилитронов				
	КС175А	КС182А	КС191А	КС210Б	КС213Б
Напряжение стабилизации, В, при номинальном токе	7,5	8,2	9,1	10	10
Дифференциальное сопротивление, Ом, при номинальном токе и температуре, °С:					
20	16	14	18	22	25
100	—	30	35	40	50
Ток стабилизации, мА:					
номинальный	5	5	5	5	5
максимальный	18	17	15	14	10
минимальный	3	3	3	3	3
Температурный коэффициент напряжения, %/°С	—	0,05	0,06	0,07	0,08
Мощность рассеивания, мВт, при температуре от -55 до $+50$ °С	150	150	150	150	150
Несимметричность напряжения стабилизации, %	± 2	± 2	± 2	± 2	± 2

Кремниевые сплавные термокомпенсированные стабилитроны КС211 (Б—Д) применяют для работы в качестве источников опорного напряжения и выпускают в пластмассовом корпусе (рис. 45, в) массой 13 г, с диапазоном рабочих температур от -60 до 125 °С. Электрические параметры стабилитронов приведены в табл. 88.

Кремниевые стабилитроны КС482А, КС515А, КС518А, КС522А, КС527А выпускают в металлическом корпусе (рис. 45, г) с гибкими выводами, массой 1 г, с диапазоном рабочих температур от -60 до $+100$ °С. Электрические параметры стабилитронов приведены в табл. 89.

Кремниевые стабилитроны КС620А, КС630А, КС650А, КС680А выпускают в металлическом корпусе (см. рис. 45, а) массой 6 г, с диапазоном рабочих температур от -60 до $+100$ °С. Корпус у стабилитронов является положительным электродом. Если в их обозна-

Таблица 88

Параметры	Типы стабилизаторов			
	КС211Б	КС211В	КС211Г	КС211Д
Напряжение стабилизации, В, при токе 10 мА	11—13,2	8,8—11	9,3—12,6	9,3—12,6
Дифференциальное сопротивление, Ом, при токе 10 мА	15	15	15	15
Ток стабилизации, мА, при температуре, °С:				
минимальный в диапазоне от -60 до +125	5	5	5	5
максимальный при 25	33	33	33	33
Температурный коэффициент напряжения, %/°С	0,02	-0,02	±0,01	±0,05
Мощность рассеивания, мВт, при температуре 50 °С	280	280	280	280

Таблица 89

Параметры	Типы стабилизаторов				
	КС482А	КС515А	КС518А	КС522А	КС527А
Напряжение стабилизации, В, при токе 5 мА	7,4—9	13,5—16,5	16,2—19,8	19,8—24,2	24,3—29,7
Дифференциальное сопротивление, Ом, при токе 5 мА	25	25	25	25	40
Ток стабилизации, мА:					
номинальный	50	50	50	50	50
минимальный	1	1	1	1	1
максимальный при температуре от -60 до +35 °С	96	53	45	37	30
Температурный коэффициент напряжения, %/°С	0,08	0,1	0,1	0,1	0,1
Мощность рассеивания, Вт, при температуре от -60 до +35 °С	1	1	1	1	1

чение введена дополнительная буква П, например КС620АП, они имеют обратную полярность. Электрические параметры приведены в табл. 90.

Таблица 90

Параметры	Типы стабилизаторов			
	КС620А	КС630А	КС650А	КС _{СН} А
Напряжение стабилизации, В	120	130	150	180
Дифференциальное сопротивление, Ом, при номинальном токе стабилизации	150	180	255	330
Ток стабилизации, мА:				
номинальный	50	50	25	25
минимальный	5	5	2,5	2,5
максимальный при температуре от -60 до +70 °С	42	38	33	28
Температурный коэффициент напряжения, %/°С	0,2	0,2	0,2	0,2
Мощность рассеивания, Вт	5	5	5	5

§ 28. Варикапы

Варикапы применяют для осуществления частотной и амплитудной модуляции, а также в схемах автоподстройки частоты (АПЧ) для перестройки резонансной частоты контура. Если эти приборы используют в устройствах параметрического усиления и умножения частоты (обычно в СВЧ-диапазоне), их называют варакторами. Принцип их действия основан на изменении барьерной емкости C_0 p - n -перехода при изменении на нем обратного напряжения $U_{обр}$ (рис. 46, а). Варикапы характеризуются следующими параметрами.

Емкость C перехода при заданном обратном напряжении $U_{обр}$.

Коэффициент перекрытия K_c — отношение максимальной к минимальной емкости варикапа.

Температурный коэффициент емкости ТКЕ — относительное изменение емкости варикапа при изменении температуры окружающей среды на 1 °С.

Добротность варикапа Q ; на низких частотах $Q_n \approx \omega C r_{диф}$, а на высоких частотах $Q_v \approx 1/(\omega r_0 C)$.

Максимальные напряжения, мощности и тепловые параметры у варикапов те же, что и у выпрямительных диодов.

Кремниевые варикапы Д901 (А—Е) выпускают в металлическом герметичном корпусе (рис. 46, б) массой 1 г, с диапазоном рабочих температур от -55 до +85 °С. Электрические параметры варикапов приведены в табл. 91.

Кремниевые варикапы КВ103 (А, Б) используют для умножителей частот и выпускают в металлическом корпусе (рис. 46, в) с вын-

Таблица 91

Параметры	Типы варикапов					
	Д901А	Д901Б	Д901В	Д901Г	Д901Д	Д901Е
Емкость, пФ, при $U_{обр}=4$ В, $f=$ $=50$ МГц и температуре 20°C	22—32	22—32	28—38	28—38	34—44	34—44
Добротность при $U_{обр}=4$ В, $f=$ $=50$ МГц и температуре 20°C	25	30	25	30	25	30
Коэффициент перекрытия по емкости	4	3	4	3	4	3
Постоянное обратное напряжение, В	80	45	80	45	80	45
Мощность рассеивания, мВт, при температуре от -60 до $+25^\circ\text{C}$	250	250	250	250	250	250
Температурный коэффициент емкости, $1/^\circ\text{C}$:						
при $U_{обр}=4$ В	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$
при $U_{обр}=40$ В	$2 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$

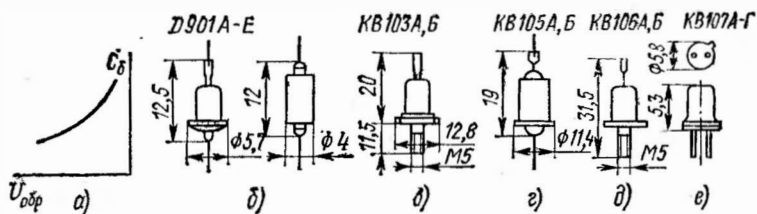


Рис. 46. Вольтфарадная характеристика (а) и общий вид варикапов (б—е)

том, массой 15 г, с диапазоном рабочих температур от -40 до $+85$ °С. Электрические параметры варикапов приведены в табл. 92.

Таблица 92

Параметры	Типы варикапов	
	КВ103А	КВ103Б
Емкость, пФ, при $U_{обр}=4$ В, $f=1\div 10$ МГц	18—32	28—48
Добротность при $U_{обр}=4$ В и $f=50$ МГц	40	50

Обратное напряжение, В, при температуре от -40 до $+85$ °С	80
Обратный ток, мкА, при $U_{обр}=80$ В и температуре, °С:	
+25 и -40	10
85	150
Мощность рассеивания, Вт, при температуре корпуса от -40 до $+50$ °С	5

Таблица 93

Параметры	Типы варикапов	
	КВ105А	КВ105В
Емкость, пФ, при $U_{обр}=4$ В	400—600	400—600
Добротность при $U_{обр}=4$ В и $f=1$ МГц	500	500
Коэффициент перекрытия по емкости	3,8	3
Постоянное обратное напряжение, В, при температуре от -60 до $+100$ °С	90	50
Мощность рассеивания, мВт, при температуре, °С:		
от -60 до $+50$	150	150
от 50 до 100	150—1,5 (T-50) $5 \cdot 10^{-4}$	
Температурный коэффициент емкости, $1/^\circ\text{C}$, в рабочем диапазоне температур при $U_{обр}=4$ В		
Обратный ток, мкА, при $U_{обр.макс}$ и температуре $+25$ и -60 °С	50	50

Таблица 94

Параметры	Типы варикапов	
	КВ106А	КВ106Б,
Емкость, пФ, при $U_{обр}=4$ В, $f=1\div 10$ МГц и $U_m \leq 0,1$ В	20—50	15—35
Добротность при $U_{обр}=4$ В, $f=50$ МГц и $U_m \leq 0,1$ В	40	60
Обратное напряжение, В (любой формы и периодичности) при температуре корпуса от -55 до $+120$ °С	120	90
Мощность рассеивания, Вт, при температуре от -55 до $+75$ °С	7	5
Постоянный обратный ток, мкА, при максимальном обратном напряжении и температуре от $+25$ до -55 °С	20	

Таблица 95

Параметры	Типы варикапов			
	КВ107А	КВ107Б	КВ107В	КВ107Г
Емкость, пФ	10—40	10—40	30—65	30—65
Добротность при $f=10$ МГц	20	20	20	20
Постоянное обратное напряжение, В, при рабочей температуре	$1,5 U_{R_1} + 2,5$	$1,5 U_{R_2} + 4$	$1,5 U_{R_1} + 2,5$	$1,5 U_{R_2} + 4$
Постоянный обратный ток, мкА, при $U_{обр. макс}$ и температуре, °С:				
25			100	
70			2000	
-40			1500	
Мощность рассеивания, мВт, при температуре от -40 до $+50$ °С			100	
Напряжения U_{R_1} и U_{R_2} (в начале рабочего участка), В, при которых изменяется (уменьшается) емкость варикапа)	2—9	6—18	2—9	6—18

Кремниевые диффузионно-сплавные варикапы KB105 (А, Б) выпускают в металлическом корпусе (рис. 46, з) с гибкими выводами, массой 1 г, с диапазоном рабочих температур от -60 до $+100$ °С. Электрические параметры варикапов приведены в табл. 93.

Кремниевые эпитаксиально-диффузионные варикапы KB106 (А, Б) используют для работы в умножителях частоты и выпускают в металлическом корпусе (рис. 46, д) с винтом, массой 15 г, с диапазоном рабочих температур от -60 до $+100$ °С. Электрические параметры варикапов приведены в табл. 94.

Кремниевые эпитаксиально-диффузионные варикапы KB107 (А—Г) выпускают в металлическом корпусе (рис. 46, е) массой 1 г, с диапазоном рабочих температур от -40 до $+70$ °С. Их плюсовой вывод маркируется красной точкой. Электрические параметры варикапов приведены в табл. 95.

Кремниевые эпитаксиально-планарные варикапы KB110 (А—Е) выпускают в стеклянном корпусе (см. рис. 41, з) с гибкими выводами, массой 0,25 г, с диапазоном рабочих температур от -60 до $+125$ °С. Электрические параметры варикапов приведены в табл. 96.

Таблица 96

Параметры	Типы варикапов					
	KB110А	KB110Б	KB110В	KB110Г	KB110Д	KB110Е
Емкость, пФ, при $U_{обр}=4$ В	12—18	14—21	17—26	12—18	14—21	17—26
Добротность при $U_{обр}=4$ В и $f=50$ МГц	300	300	300	150	150	150
Обратное напряжение любой формы и периодичности, В						45
Постоянный обратный ток, мкА, при $U_{обр}=4$ В и температуре, °С:						
25						1
125						100
-60						15
Мощность рассеивания, мВт, при температуре от -60 до $+50$ °С						100

§ 29. Туннельные и обращенные диоды

Туннельные диоды обладают высоколегированными *p-n*-областями полупроводника. Концентрация легирующих примесей в областях на 2—3 порядка выше, чем в обычных диодах. Высокая концентрация примесей приводит к вырождению полупроводника в полуметалл и перекрытию энергетических зон (зоны проводимости полупроводника типа *n* с валентной зоной полупроводника типа *p*) и возникновению высокой (порядка 10^5 — 10^6 В/см) напряженности поля в узком (около 0,01 мкм) переходе. При такой напряженности поля в зоне перекрытия возникает туннельный механизм проводимости электронов через потенциальный барьер, т. е. движение электронов через барьер высотой, превышающей энергию электрона.

Туннельные диоды обладают высоким быстродействием, что способствует их использованию в схемах переключателей, усилителей и генераторов колебаний высоких частот.

Статическая ВАХ диода (рис. 47, а) в области малых прямых напряжений имеет падающий участок *АВ* с отрицательным дифференциальным сопротивлением, который используется для режимов усиления и генерирования колебаний.

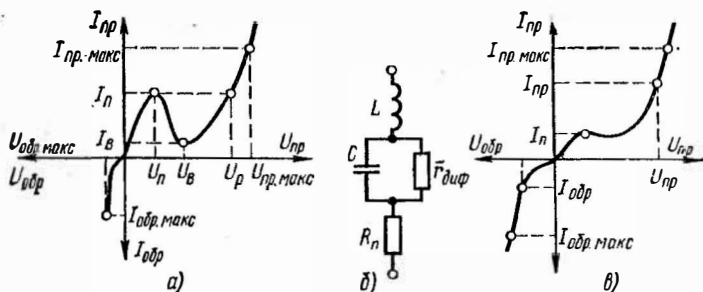


Рис. 47. Вольтамперная характеристика (а) и эквивалентная схема туннельного диода (б) и ВАХ обращенного диода (в)

Параметры туннельных диодов делят на три группы. В первую группу входят параметры, определяющие режим работы диода:

пиковый (максимальный) ток I_n и ток *впадины* I_v (минимальный ток) прямой туннельной ветви ВАХ;

напряжения U_n и U_v , соответствующие точкам максимума и минимума характеристики;

отношение пикового тока I_n к току впадины I_v , характеризующее протяженность падающего участка вдоль оси токов;

напряжение раствора U_p на инжекционной ветви, соответствующее пиковому току в точке максимума;

отрицательное сопротивление — дифференциальное сопротивление $r_{диф}$ на падающем участке ВАХ.

Во вторую группу входят параметры, характеризующие частотные свойства диодов:

проходная емкость C_d — суммарная емкость перехода и корпуса при заданном напряжении смещения;

индуктивность L_d , обусловленная выводами и деталями корпуса прибора;

сопротивление потерь R_n в объеме полупроводника на контактах и выводах диода;

максимальная частота $f_{макс}$, до которой активная составляющая полного сопротивления эквивалентной схемы диода (рис. 47, б) остается отрицательной:

$$f_{макс} = \sqrt{(\overline{r_{диф}/R_n}) - 1} / (2\pi \overline{r_{диф}} C).$$

В третью группу входят параметры предельных режимов: *максимально допустимые значения постоянного или среднего токов и на-*

Параметры	Типы диодов					
	АИ101А	АИ101Б	АИ101В	АИ101Д	АИ101Е	АИ101И
Пиковый ток, мА	1	1	2	2	5	5
Напряжение пика, В	0,16	0,16	0,16	0,16	0,18	0,18
Отношение пикового тока к току впадины	5	5	6	6	6	6
Емкость, пФ	4	2—8	5	3—10	8	4—13
Индуктивность, нГн	1	1	1	1	1	1
Сопротивление*, Ом	24	22	16	14	8	7

* При амплитуде импульса обратного тока диодов АИ101А, Б—30 мА, АИ101В, Д—40 мА и АИ101Е, И—80 мА.

пряжений $I_{пр.макс}$, $U_{пр.макс}$, $I_{обр.макс}$, $U_{обр.макс}$, а также мощности $P_{макс}$ и мощности в импульсе заданной длительности $P_{и.макс}$.

Действие обращенных диодов основывается на использовании обратной пробойной ветви ВАХ при туннельном механизме пробоя. Переход диода изготавливается из высоколегированного, но не вырожденного материала. Обратная ветвь ВАХ (рис. 47, в) диода имеет большую кривизну, чем прямая ветвь, и используется более эффективно вместо прямой для детекторов, смесителей, умножителей электрических колебаний. Поскольку поменялись роли (места) прямой и обратной ветвей ВАХ, диоды называют обращенными.

Параметрами обращенных диодов являются:

прямой ток $I_{пр}$ при заданном прямом напряжении $U_{пр}$;

обратное напряжение $U_{обр}$ при заданном обратном токе $I_{обр}$;

максимально допустимые прямой $I_{пр.макс}$ и обратный $I_{обр.макс}$ токи;

допустимый пиковый ток $I_{п}$ прямой ветви;

емкость $C_{д}$ при заданном обратном смещении.

Туннельные диоды АИ101 (А, Б, В, Д, Е, И) применяются для работы в усилительных схемах и выпускаются в металлическом корпусе (рис. 48, а) массой 0,15 г, с диапазоном рабочих температур от -60 до $+85^{\circ}\text{C}$. Электрические параметры диодов приведены в табл. 97.

Туннельные диоды АИ201 (В, Г, Е, Ж, И, К, Л) применяются для работы в схемах генераторов и выпускаются в металлокерамическом корпусе (см. рис. 48, а) массой 0,15 г, с диапазоном рабочих температур от -60 до $+85^{\circ}\text{C}$. Электрические параметры диодов приведены в табл. 98.

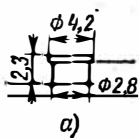
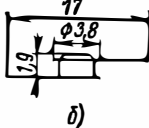
Туннельные диоды АИ301 (А, Б, В, Г) применяются для работы в переключающих схемах и выпускаются в металлическом корпусе (см. рис. 48, а) массой 0,15 г, с диапазоном рабочих температур от -60 до $+70^{\circ}\text{C}$. Электрические параметры диодов приведены в табл. 99.

Таблица 98

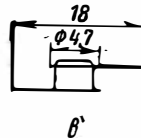
Параметры	Типы диодов						
	АИ201В	АИ201Г	АИ201Е	АИ201Ж	АИ201И	АИ201К	АИ201Л
Пиковый ток, мА	10	20	20	50	50	100	100
Напряжение пика, В	0,18	0,2	0,2	0,26	0,26	0,33	0,33
Отношение пикового тока к току впадины	10	10	10	10	10	10	10
Емкость, пФ	5—15	10	6—20	15	10—30	20	10—15
Индуктивность, нГн	1	1	1	1	1	1	1
Сопротивление*, Ом	8	5	4	2,5	2,5	2,2	2,2

* При амплитуде импульса обратного тока диодов АИ201В, Г, Е, — 100 мА, АИ201Ж, И, К, Л—200 мА.

АИ101А-И

ГИ304А,Б ГИ305А,Б
ГИ307А

ГИ401А,Б



АИ402Б,Г,Е,И

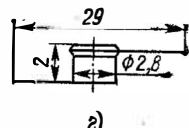


Рис. 48. Общий вид и габаритные размеры туннельных диодов (а—г)

Таблица 99

Параметры	Типы диодов			
	АИ301А	АИ301Б	АИ301В	АИ301Г
Пиковый ток, мА	1,6—2,4	4,5—5,5	4,5—5,5	9—11
Напряжение пика, В	0,18	0,18	0,18	0,18
Отношение пикового тока к току впадины	8	8	8	8
Емкость, пФ	12	25	25	50
Индуктивность, нГн	1,5	1,5	1,5	1,5
Напряжение раствора, В	0,65	1	1—1,3	0,8

Туннельные диоды ГИ304 (А, Б) ГИ305 (А, Б), ГИ307А применяются для работы в импульсных схемах и выпускаются в металлостеклянном корпусе (рис. 48, б) массой 0,1 г, с диапазоном рабочих

Таблица 100

Параметры	Типы диодов				
	ГИ304А	ГИ304Б	ГИ305А	ГИ305Б	ГИ307А
Пиковый ток, мА, при температуре 20 °С	4,5—5,1	4,9—5,5	9,1—10	9,8—11	2
Напряжение пика, В	75	75	85	85	80
Отношение пикового тока к току впадины	5	5	5	5	7
Емкость, пФ, при $f=10\div 20$ МГц	20	20	30	30	20
Напряжение раствора, В, при токе, мА:					
5	0,44	0,44	—	—	0,4*
10	—	—	0,45	0,45	—
Постоянный прямой и обратный ток, мА, при 20 °С	10	10	20	20	4

* При прямом токе 2 мА.

температур от -60 до $+70$ °С. Электрические параметры диодов приведены в табл. 100.

Обращенные диоды ГИ401 (А, Б) применяются для работы в смесителях, детекторах и вычислительных устройствах и выпускаются в металлостеклинном корпусе (рис. 48, в) массой 0,07 г, с диапазоном рабочих температур от -55 до $+70$ °С. Электрические параметры приведены в табл. 101.

Обращенные диоды АИ402 (Б, Г, Е, И) применяются в смесителях, детекторах и вычислительных устройствах и выпускаются в

Таблица 101

Параметры	Типы диодов	
	ГИ401А	ГИ401Б
Постоянное прямое напряжение, мВ, при $I_{пр}=0,1$ мА	330	330
Постоянное обратное напряжение, мВ, при $I_{обр}=1$ мА	90	90
Постоянный прямой ток, мА	0,3	0,5
Постоянный обратный ток, мА	4	5,6
Емкость, пФ	2,5	5

металлокерамическом корпусе (рис. 48, з) массой 0,2 г, с диапазоном рабочих температур от -60 до $+85$ °С. Электрические параметры диодов приведены в табл. 102.

Т а б л и ц а '102

Параметры	Типы диодов			
	АИ402Б	АИ402Г	АИ402Е	АИ402И
Прямой пиковый ток, мА	0,1	0,1	0,2	0,4
Постоянное прямое напряжение, В, при указанном выше прямом пиковом токе	0,6	0,6	0,6	0,6
Постоянное обратное напряжение при предельном обратном токе	0,25	0,25	0,25	0,25
Максимальный обратный ток, мА	1	1	2	4
Емкость, пФ	4	8	8	10

§ 30. Тиристоры

Тиристоры — полупроводниковые приборы с четырехслойной структурой типа $p-n-p-n$ с тремя взаимодействующими между собой $p-n$ -переходами (рис. 49, а). Крайние $p-n$ -переходы структуры называют эмиттерными \mathcal{E}_1 и \mathcal{E}_2 , средний — коллекторным $КП$, а внутренние области, лежащие между переходами, — базами B_1 и B_2 . В неуправляемых диодных тиристорах (динисторах) имеется два внешних токоотвода, подключаемых к крайним p - и n -областям. Управляемые триодные тиристоры (тринисторы) снабжены дополнительным токоотводом $УЭ$ (рис. 49, в) от управляющего электрода — узкой базы B_2 . Внешний источник U подключается «плюсом» к области p (аноду A), а «минусом» — к n (катоду K). При этом эмиттерные переходы \mathcal{E}_1 и \mathcal{E}_2 получают прямое смещение и работают в режиме инжекции; коллекторный переход получает обратное смещение, сопротивление его велико, ток через структуру незначителен, поэтому все напряжение источника питания практически будет приложено к этому переходу. В таком режиме прибор закрыт.

При повышении напряжения U ток I через структуру будет расти (рис. 49, б) сначала за счет увеличения прямого смещения эмиттерных переходов. При некотором напряжении U процесс бурно нарастает, приток основных носителей заряда в базах скомпенсирует их убыль, заряды станут равновесными, коллекторный переход окажется в равновесии. Когда приток основных носителей заряда в базах станет превышать их убыль вследствие рекомбинации, база B_1 зарядится отрицательно, а база B_2 — положительно, коллекторный переход получит прямое смещение. В этом режиме эмиттерные \mathcal{E}_1 и \mathcal{E}_2 и коллекторный $КП$ переходы получают прямое смещение, сопротивление структуры резко снизится, тиристор откроется. Выключить динистор можно, сняв напряжение или снизив ток через него.

В тринисторе (рис. 49, в) между управляющим электродом $УЭ$ и катодом K включается источник прямого смещения эмиттерного

перехода \mathcal{E}_2 , что позволяет регулировать ток инжекции, а следовательно, и напряженне включения $U_{вкл.}$

Вольтамперные характеристики динистора (рис. 49, б) и тринистора (рис. 49, г) имеют прямую и обратную ветви. Прямая ветвь характеристики содержит области: Γ — непроводящего (закрытого) устойчивого состояния, при котором коллекторный переход заперт напряжением внешнего источника; B — обратного пробоя коллекторного перехода; B — неустойчивого состояния с высоким отрица-

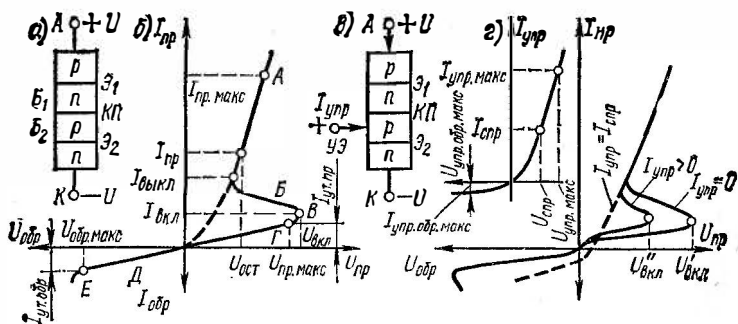


Рис. 49. Структура и вольтамперные характеристики:

а, б — динистора, в, г — тринистора

тельным сопротивлением; A — устойчивого состояния с малым положительным сопротивлением (область соответствует открытому состоянию прибора). Обратная ветвь характеристики содержит области высокого сопротивления D и лавинного необратимого пробоя E .

Основными параметрами динисторов и тринисторов являются: **максимально допустимое прямое напряжение $U_{пр.макс}$** , при котором происходит отпирание (включение) тиристора;

максимально допустимый прямой постоянный или средний ток $I_{пр.макс}$, ограничиваемый разогревом прибора;

остаточное напряжение на открытом тиристоре $U_{ост}$ при заданном прямом токе;

максимально допустимое обратное напряжение $U_{обр.макс}$, превышение которого ведет к пробое эмиттерных переходов структуры;

ток выключения $I_{выкл.}$, ниже значения которого происходит выключение прибора;

ток $I_{упр}$ и напряжение $U_{упр}$ цепи управляющего электрода, при котором тиристор переходит из закрытого в открытое состояние;

максимально допустимые прямой и обратный токи $I_{упр.макс}$, $I_{упр.обр.макс}$ и прямое и обратное напряжения $U_{упр.макс}$ и $U_{упр.обр.макс}$;

допустимый прямой импульсный ток $I_{пр.и.макс}$;

прямой и обратный токи утечки $I_{ут.пр}$ и $I_{ут.обр}$ при максимально допустимых напряжениях $U_{пр.макс}$ и $U_{обр.макс}$;

ток и напряжение спрямления $I_{спр}$ и $U_{спр}$, соответствующие спрямлению прямой ветви ВАХ тиристора;

максимально допустимая мощность $P_{макс}$, рассеиваемая на тиристоре;

минимальное напряжение $U_{зап.мин}$ и ток $I_{зап.мин}$ записания тиристора в цепи управляющего электрода;

время включения $\tau_{вкл}$ от момента подачи отпирающего импульса до уменьшения напряжения на тиристоре до 0,1 начального значения;

время выключения $\tau_{выкл}$, в течение которого на тиристор должно подаваться выключающее напряжение, переводящее его в закрытое состояние.

Кремниевые динисторы КН102 (А, Б, В, Г, Д, Ж, И) применяются для работы в импульсных схемах в качестве коммутирующих

элементов и выпускаются в металлическом корпусе (рис. 50, а) массой 1,5 г, с диапазоном рабочих температур от -40 до $+70$ °С. Электрические параметры динисторов приведены в табл. 103.

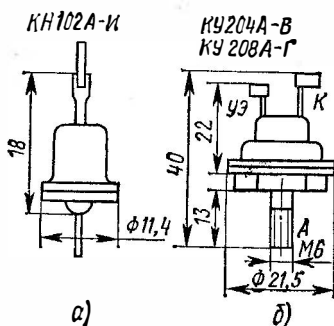


Рис. 50. Общий вид и габаритные размеры динисторов (а, б)

Таблица 103

Параметры	Типы динисторов						
	КН102А	КН102Б	КН102В	КН102Г	КН102Д	КН102Ж	КН102И
Прямое напряжение, В	5	7	10	14	20	30	50
Напряжение включения, В	20	28	40	56	80	120	150

Ток утечки, мкА, при 20 °С	2,5
Обратный ток утечки, мкА, при напряжении -10 В	0,5
Ток выключения, мА, при $U_{пр}=2$ В	0,1
Остаточное напряжение, В, при $I_{пр}=200$ мА	1,5
Прямой ток, мА	200
Амплитуда прямого тока, А, $\tau_{имп}=10$ см	2
Обратное напряжение, В	10

Кремниевые триисторы КУ204 (А, Б, В) выпускаются в металлическом корпусе (рис. 40, б) массой 18 г, с диапазоном рабочих температур от -25 до $+70$ °С. Электрические параметры приведены ниже.

	КУ204А	КУ204Б	КУ204В
Прямое напряжение, В . . .	50	100	200
Ток утечки, мА, при +25 и -25 °С		5	
Импульсный ток спрямления, мА, при напряжении 20 В . . .		150	
Импульсный ток запираания, мА, при максимальном запираемом токе 2 А		400	
Остаточное напряжение, В		3,2	
Импульсное напряжение, В:			
спрямления		5	
запираания		36	
Прямой ток, А		2	
Минимальный прямой ток, А		1	
Ток управляющего электрода, А, при $\tau_{имп} \geq 10$ мкс . . .		0,6	
Обратный ток помехи, мА, при -25 °С		3	
Обратное напряжение помехи, В		3	
Минимальное прямое напряжение, В		20	
Длительность запирающего импульса, мкс		120	
Мощность рассеивания, Вт		8	

Кремниевые триисторы КУ208 (А—Г) применяются в качестве симметричных управляемых ключей средней мощности в коммутационных цепях автоматики и выпускаются в металлическом корпусе (рис. 50, б) с винтом, массой 18 г, с диапазоном рабочих температур от -55 до +70 °С. Электрические параметры триисторов приведены ниже.

	КУ208А	КУ208Б	КУ208В	КУ208Г
Прямое и обратное напряжения, В	100	200	300	400
Ток утечки, мА			5	
Ток выключения, мА, при $U_{пр}=10$ В и температуре -55 °С			150	
Ток спрямления, мА, при $U_{пр}=10$ В и температуре -55 °С			250	
Остаточное напряжение, В, при $I_{пр}=5$ А			2	
Напряжение спрямления, В			7	
Время включения, мкс			10	
Время выключения, мкс при предельном прямом токе			150	

Прямой ток управляющего электрода, мА . . .	500
Импульсный ток управляющего электрода, А, при $\tau_{имп} \leq 50$ мкс . . .	1
Амплитуда напряжения на управляющем электроде, В	10
Наибольшая рабочая частота, Гц	400
Мощность рассеивания, Вт, при температуре, °С:	
от -55 до +55	10
70	5

§ 31. Светодиоды

Основой полупроводниковых светодиодов является электронно-дырочный переход, который излучает свет при прохождении через него прямого тока. Излучение светодиодов может лежать в видимой части спектра или в инфракрасном диапазоне.

Эффективность работы светодиодов оценивают следующими параметрами:

силой света I_L — световым потоком, излучаемым светодиодом, в направлении, перпендикулярном плоскости кристалла;

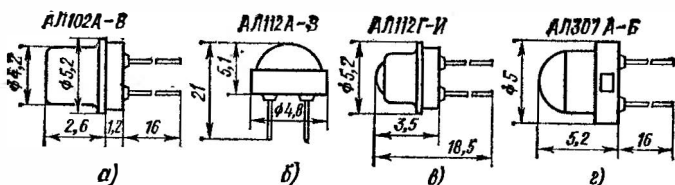


Рис. 51. Общий вид и габаритные размеры светодиодов (а—г)

Таблица 104

Параметры	Типы светодиодов			
	АЛ102А	АЛ102Б	АЛ102В	АЛ102Г
Яркость свечения, кд/м ²	5	40	50	10
Постоянное прямое напряжение, В	3,2	4,5	4,5	3
Обратное напряжение, В	6	6	6	—
Постоянный прямой ток, мА, при температуре, °С:				
50—70	10	10	20	10
от -60 до +50	10	20	20	10

яркостью L — отношением силы света светодиода к площади светящейся поверхности;

постоянным прямым напряжением $U_{пр}$ — напряжением на светодиоде при прохождении постоянного прямого тока;

максимально допустимыми постоянными прямым током $I_{пр.макс}$ и обратным напряжением $U_{обр.макс}$, при которых обеспечивается заданная надежность при длительной работе светодиода.

Фосфидогаллиевые светодиоды АЛ102 (А—Г) (рис. 51, а) применяются в качестве световых индикаторов красного (АЛ102А, Б, Г) и зеленого (АЛ102В) свечения с диапазоном рабочих температур от -60 до $+70$ °С. Электрические параметры светодиодов приведены в табл. 104.

Таблица 105

Параметры	Типы светодиодов							
	АЛ112А	АЛ112Б	АЛ112В	АЛ112Г	АЛ112Д	АЛ112Е	АЛ112Ж	АЛ112И
Яркость свечения, кд/м ² , при $I_{пр}=10$ мА	1000	600	250	350	150	1000	600	250
Постоянное прямое напряжение, В, при $I_{пр}=10$ мА и температуре 25 °С	2	2	2	2	2	2	2	2
Максимально допустимый постоянный прямой ток, мА	10	10	10	11	11	11	11	11

Алюминиймышьякгаллиевые светодиоды АЛ112 (А—И) (рис. 51, б, в) используются в качестве индикаторов красного свечения и выпускаются с диапазоном рабочих температур от -60 до $+70$ °С. Электрические параметры приведены в табл. 105.

Арсенидогаллиевые светодиоды АЛ307 (А, Б) (рис. 51, г) используются в качестве индикаторов красного свечения и выпускаются с диапазоном рабочих температур от -60 до $+70$ °С. Электрические параметры светодиодов приведены в табл. 106.

Таблица 106

Параметры	Типы светодиодов	
	АЛ307А	АЛ307Б
Сила света, мкд, при $I_{пр}=10$ мА	0,15	0,3
Постоянное прямое напряжение, В, при $I_{пр}=10$ мА	2	2
Максимально допустимый постоянный прямой ток, мА	20	20
Максимально допустимое обратное напряжение, В	2	2

§ 32. Общие сведения

Транзисторы представляют собой электропреобразовательные полупроводниковые приборы с одним или несколькими электрическими переходами, пригодные для усиления мощности сигнала и имеющие три (или более) внешних вывода. Наиболее распространенные транзисторы имеют два электронно-дырочных перехода. В двухпле-

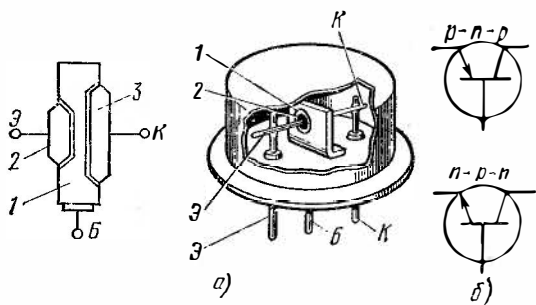


Рис. 52. Устройство биполярного транзистора (а) и его условное обозначение (б)

редных транзисторах используют два различных типа носителей заряда (электроны и дырки), поэтому их называют биполярными.

Основным элементом биполярного транзистора (рис. 52, а, б) является кристалл полупроводника, в котором с помощью примесей созданы три области с различной проводимостью. Если средняя область имеет электронную проводимость типа n , а две крайние — дырочную проводимость типа p , то структура такого транзистора обозначается $p-n-p$ в отличие от структуры $n-p-n$, при которой транзистор имеет среднюю область с дырочной, а крайние области — с электронной проводимостями.

Средняя область кристалла полупроводника 1 (рис. 52, а), служащая основой для образования электронно-дырочных переходов, называется *базой*, крайняя область 2, инжектирующая (эмиттирующая) носители заряда, — *эмиттером*, а область 3, собирающая инжектированные носители заряда, — *коллектором*. К каждой из двух областей припаяны соответственно эмиттерный Э, базовый Б и коллекторный К токоотводы, которыми транзистор включается в схему. Кристалл укрепляют на специальном кристаллодержателе и помещают в герметизированный металлический, пластмассовый или стеклянный корпус. Внешние токоотводы электродов проходят через изоляторы в дне корпуса.

Электронно-дырочный переход между эмиттером и базой называется эмиттерным, а между базой и коллектором — коллекторным. Базовая область транзистора выполняется с очень малой толщиной (от 1 до 10—20 мкм). Различна степень легирования областей. Обычно концентрация примесей в эмиттере на 2—3 порядка выше, чем в базе. Степень легирования базы и коллектора зависит от типа прибора.

Для работы транзисторов к их электродам подключают постоянные напряжения внешних источников энергии. Помимо постоянных напряжений к электродам подводят сигналы, подлежащие преобразованию. В связи с этим различают входную цепь, к которой подводят сигнал, и выходную, куда включают нагрузку, с которой снимают сигнал. В зависимости от того, какой из электродов при включении транзистора является общим для входной и выходной цепей, различают схемы с общей базой ОБ, общим эмиттером ОЭ и общим коллектором ОК.

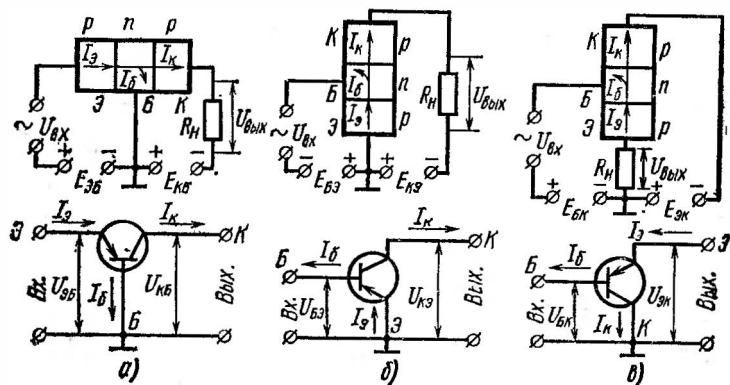


Рис. 53. Схемы включения биполярных транзисторов:

а — с ОБ, б — с ОЭ, в — с ОК

В схеме с ОБ (рис. 53, а) входной цепью является цепь эмиттера, а выходной — цепь коллектора, в схеме с ОЭ (рис. 53, б) входной — цепь базы, а выходной — цепь коллектора, в схеме с ОК (рис. 53, в) входной — цепь базы, а выходной — цепь эмиттера.

В зависимости от полярности напряжений внешних источников, подключенных к эмиттерному и коллекторному переходам, различают активный, отсечки, насыщения и инверсный режимы работы транзистора.

Активный режим используется при усилении слабых сигналов. В этом режиме напряжение внешнего источника к эмиттерному переходу включается в прямом, а к коллекторному — в обратном направлении. Эмиттер инжектирует в область базы неосновные для нее носители заряда, а коллектор производит их экстракцию (выведение) из базовой области.

В режиме **отсечки** к обоим переходам подводят обратные напряжения, при которых ток, проходящий через транзисторы, ничтожно мал.

В режиме **насыщения** оба перехода транзистора находятся под прямым напряжением; в них происходит инжекция носителей, транзистор превращается в двойной диод, ток в выходной цепи максимален при выбранном значении нагрузки и не управляется током входной цепи; транзистор полностью открыт. В режимах отсечки и

насыщения транзисторы обычно используются в схемах электронных переключателей.

В *инверсном* режиме меняются функции эмиттера и коллектора: к коллекторному переходу подключают прямое, а к эмиттерному — обратное напряжение. Однако такое включение транзистора неравноценно из-за несимметрии структуры и различия концентрации носителей в его областях.

Принцип действия транзистора в активном режиме рассмотрим с помощью схемы с ОБ (см. рис. 53, а). При включении напряжений эмиттерного $E_{эб}$ и коллекторного $E_{кб}$ источников изменяются потенциальные диаграммы переходов. Напряжение $E_{эб}$ снижает потенциальный барьер эмиттерного перехода, вследствие чего через него из эмиттерной области начнется инжекция дырок в базу, а электронов — наоборот, из базовой области в эмиттерную. Концентрация основных носителей в эмиттерной области на 2—3 порядка выше, чем в базе, поэтому инжекция дырок в базу $I_{эп}$ превышает поток электронов $I_{ен}$ из базы в эмиттер. При этом через эмиттерный переход проходит суммарный ток эмиттера $I_э = I_{эп} + I_{эн}$. Убыль дырок в эмиттере компенсируется уходом из него во внешнюю цепь такого же количества электронов.

В результате повышенной концентрации дырок в базе происходит их диффузионное перемещение от эмиттерного к коллекторному переходу. На этом пути часть дырок рекомбинирует с электронами базы и создает в цепи базы небольшой рекомбинационный ток $I_б$. Чтобы уменьшить вероятность рекомбинации дырок в базе, толщину базы ($w < 0,25$ мм) выбирают меньше их диффузионной длины дырок (для германия $L = 0,3 \div 0,5$ мм).

Транзисторы, в которых отсутствует электрическое поле в базе, а перемещение (дрейф) носителей тока происходит за счет диффузии, называют *бездрейфовыми*, транзисторы, в которых за счет неравномерной концентрации примесей в базе возникает электрическое поле и перемещение носителей тока через базу происходит под действием сил этого поля, — *дрейфовыми*.

К коллекторному переходу напряжение внешнего источника подключают в непроводящем (обратном) направлении. Электрическое поле, создаваемое этим источником, будет тормозящим для основных и ускоряющим для неосновных носителей тока. Под действием этого поля дырки, инжектированные в базу, будучи неосновными носителями тока, перемещаются из базы в коллекторную область. Избыток дырок в коллекторе компенсируется током электронов от источника $E_к$, в результате чего во внешней цепи коллектора проходит ток $I_к$.

Если транзистор включен в схеме усилителя, то к входным зажимам кроме постоянного напряжения смещения $E_э$ подключают переменное напряжение сигнала $U_{вх}$, которое нужно усилить, а к выходным зажимам кроме напряжения источника $E_к$ — нагрузку $R_н$. Прямосмещенный эмиттерный переход обладает малым сопротивлением, поэтому даже незначительные изменения потенциала в цепи эмиттера $u_э = E_э + U_{вх}$ (вследствие изменений напряжения сигнала $U_{вх}$ на входе) вызовут большие изменения тока. Изменения тока эмиттера приведут к изменению тока и напряжения в выходной (коллекторной) цепи. При соответствующем подборе нагрузки $R_н$ можно получить большое изменение выходного напряжения $U_{вых}$ и мощности, т. е. осуществить с помощью транзистора усиление сигнала за счет энергии источника $E_к$. Эффективность такого усиления сигнала

по напряжению оценивают отношением изменения выходного напряжения к вызвавшему его изменению входного напряжения, т. е. $K_n = \Delta U_{\text{вых}} / \Delta U_{\text{вх}}$.

§ 33. Характеристики и параметры

Характеристики. Статические характеристики отражают зависимость между токами и напряжениями во входных и выходных цепях транзистора. Свойства транзисторов в основном оценивают с помо-

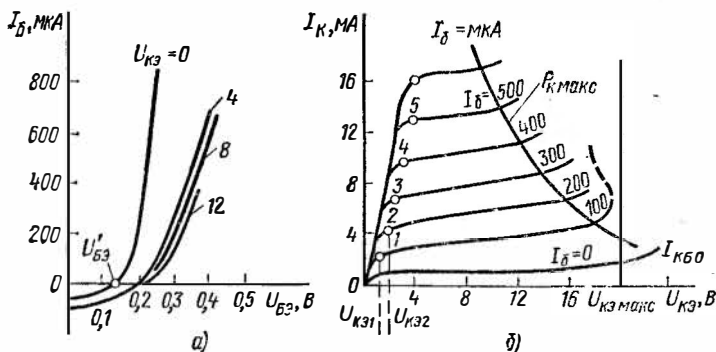


Рис. 54. Входные (а) и выходные (б) характеристики транзисторов в схеме с общей базой

щью семейства входных и выходных характеристик, снимаемых в схеме с ОБ и ОЭ.

Входные характеристики транзистора *p-n-p* в схеме с ОБ (рис. 54, а) выражают зависимость тока эмиттера I_a от его напряжения относительно базы $U_{об}$, т. е. $I_a = \varphi(U_{об})$ при $U_{кб} = \text{const}$. В активном режиме при увеличении напряжения $U_{об}$ снижается потенциальный барьер в эмиттерном переходе. При этом усиливается инжекция неосновных носителей через переход и возрастает ток эмиттера.

Выходные характеристики в схеме с ОБ (рис. 54, б) представляют зависимость тока коллектора $I_k = \varphi(U_{кб})$ при $I_a = \text{const}$. В активном режиме работы транзистора ($U_{кб} < 0$) значение тока в коллекторной цепи определяется числом инжектированных эмиттером в базу неосновных носителей заряда. При токе в эмиттере $I_a > 0$ увеличивается приток дырок в базу и их перенос к коллекторному переходу, поэтому I_k растет. Особенностью выходных характеристик в схеме с ОБ является слабая зависимость тока I_k от напряжения $U_{кб}$. Допустимая мощность $P_{к.макс}$, рассеиваемая в коллекторной цепи транзистора, показана на рисунке в виде параболы кривой.

Входные характеристики транзистора *p-n-p* в схеме с ОЭ (рис. 55, а) выражают зависимость тока базы $I_b = \varphi(U_{об})$ при $U_{ка} = \text{const}$. При увеличении внешнего напряжения $U_{об}$ уменьшается потенциальный барьер в эмиттерном переходе, возрастает инжекция дырок в базу и увеличивается концентрация дырок в базе, что вызывает рост токов I_a и I_k . Одновременно с увеличением избыточного заря-

да дырок в базе больше вероятность их рекомбинации, поэтому ток базы I_b тоже возрастает.

Выходные характеристики транзистора для схем с ОЭ (рис. 55, б) представляют зависимость тока коллектора $I_k = \varphi(U_{кв})$ при $I_b = \text{const}$. В активном режиме с подачей на базу отрицательного (относительно эмиттера) напряжения через эмиттерный переход проходит ток I_b , обусловленный инжекцией неосновных носителей в базу. Некоторая часть этих носителей рекомбинирует и создает положи-

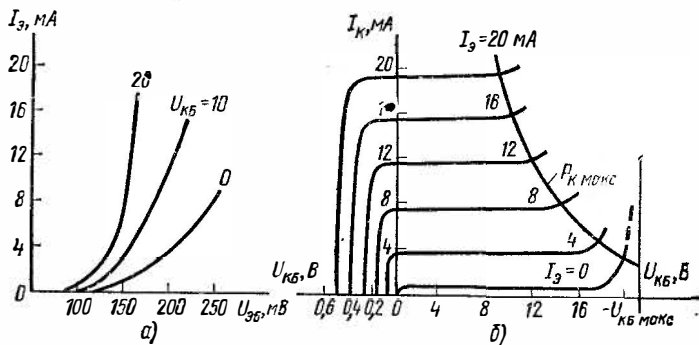


Рис. 55. Входные (а) и выходные (б) характеристики транзисторов в схеме с общим эмиттером

тельный ток базы I_b , а большая часть экстрагируется в коллекторную область, увеличивая ток I_k . В результате выходные характеристики, снятые при больших токах базы I_b , идут выше, так как им соответствуют большие значения тока коллектора. Статические характеристики используют для выбора режима работы транзисторов в усилительных, ключевых и других схемах.

Параметры. Транзисторы характеризуются следующими параметрами: постоянного тока, в режиме малого сигнала, частотными; в режиме большого сигнала и предельных режимах.

Параметрами постоянного тока, определяющими значения неуправляемых токов через $p-n$ -переходы транзисторов, являются следующие.

Обратный ток коллектора $I_{кб0}$ — ток через переход коллектор — база при разомкнутой цепи эмиттера и заданном (обычно максимально допустимом) напряжении на коллекторе $U_{кб}$.

Обратный ток эмиттера $I_{эб0}$ — ток через переход эмиттер — база при разомкнутой цепи коллектора и заданием напряжении на эмиттере.

Обратный ток коллектор — эмиттер $I_{кэ0}$ (устаревшее название начальный ток коллектора $I_{к.н}$) — ток в цепи коллектора при непосредственно замкнутой цепи эмиттер — база и заданном напряжении на коллекторе $U_{кб}$.

Обратный ток коллектор — эмиттер $I_{кэR}$ — то же, при включении между базой и эмиттером резистора с заданным сопротивлением.

Параметры в режиме малого сигнала установ-

ливают связь между изменениями токов и напряжений на входе и выходе транзистора. Характеристики транзисторов нелинейны, поэтому параметры в режиме малого сигнала значительно зависят от выбора исходного режима (выбора рабочей точки).

При малом уровне сигнала транзистор удобно рассматривать как активный линейный четырехполюсник, у которого переменные токи и напряжения малых сигналов, действующие во внешних цепях на входе $I_1 U_1$ и выходе $I_2 U_2$, 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 транзисторов 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, можно определить h -параметры.

Входное сопротивление транзистора в режиме к.з. выходной цепи $h_{11} = \Delta U_1 / \Delta I_1$ при $\Delta U_2 = 0$.

Коэффициент обратной связи по напряжению в режиме х.х. во входной цепи $h_{12} = \Delta U_1 / \Delta U_2$ при $\Delta I_1 = 0$ показывает, какая часть напряжения сигнала ΔU_2 , действующего на выходных зажимах транзистора, передается обратно во входную цепь.

Коэффициент передачи тока $h_{21} = \Delta I_2 / \Delta I_1$ при $\Delta U_2 = 0$ показывает, на какое значение изменяется выходной ток транзистора ΔI_2 при изменении входного тока на значение ΔI_1 в режиме к. з. по переменному току на выходе. Эти коэффициенты, обозначаемые для схем с ОБ $h_{21б}$, а для схем с ОЭ — $h_{21э}$, связаны между собой соотношениями: $h_{21э} = -h_{21б} / (1 + h_{21б})$; $h_{21б} = -h_{21э} / (1 + h_{21э})$.

Коэффициенты передачи тока определяют на низких (50—1000 Гц) частотах, при которых можно пренебречь реактивными проводимостями, т. е. фазовым сдвигом между токами и напряжениями на входе и выходе транзистора. На высоких частотах эти параметры становятся комплексными величинами, поэтому усилительные свойства транзисторов на них характеризуют модулем коэффициента передачи тока $|h_{21б}|$ или $|h_{21э}|$.

Выходная проводимость — отношение изменения выходного тока к вызвавшему его изменению выходного напряжения в режиме х.х. на входе, т. е. $h_{22} = \Delta I_2 / \Delta U_2$ при $\Delta I_1 = 0$.

Емкость коллекторного перехода C_k — емкость между выводами коллектора и базы при отключенном эмиттере и обратном смещении на коллекторе.

Емкость эмиттерного перехода $C_э$ — емкость между выводами эмиттера и базы при отключенном коллекторе и обратном смещении на эмиттере.

Постоянная времени цепи обратной связи τ_k на высокой частоте, определяемая как произведение омического сопротивления базы на емкость коллекторного перехода: $\tau_k = r'_б C_k$.

Коэффициент шума $K_{ш}$ — отношение полной мощности шумов в выходной цепи транзистора к той ее части, которая создается на нагрузке тепловыми шумами сопротивления источника сигнала. Для большинства транзисторов он имеет минимальное значение на частотах 1—10 кГц. Его принято измерять на частоте 1 кГц. При увеличении температуры, а также на низких и высоких частотах шумы возрастают. Минимальный шум возникает при работе транзистора с

малыми токами коллектора (0,1—0,5 мА) и с малым коллекторным напряжением (0,5—1,5 В).

Высокочастотные свойства транзисторов характеризуются следующими частотными параметрами.

Предельная частота коэффициента передачи тока $f_{h_{21б}}$ или f_{α} для схемы с ОБ и $f_{h_{21э}}$ или f_{β} — для схемы с ОЭ — это частота, на которой модуль коэффициента передачи тока уменьшается в $\sqrt{2}$ раз, т. е. до 0,7 своего значения на низкой частоте. В схеме с ОЭ $h_{21э} \leq h_{21б}$. Предельная частота непосредственно не определяет частотный предел использования транзистора, а ограничивает ту область частот, в пределах которой можно пренебречь частотной зависимостью параметров.

Граничная частота коэффициента передачи тока $f_{гр}$ — частота, на которой модуль коэффициента передачи тока транзистора, включенного по схеме с ОЭ, равен единице. Для любой частоты диапазона от 0,1 $f_{гр}$ до $f_{гр}$ модуль коэффициента передачи тока изменяется вдвое при изменении частоты в 2 раза. Модуль коэффициента передачи тока $|h_{21э}| = f_{гр}/f$. Предельная и граничная частота связаны соотношениями: $f_{h_{21э}} \approx f_{h_{21б}}/h_{21б}$; $f_{h_{21б}} \approx h_{21б}f_{h_{21э}}$; $f_{гр} \approx 0,8 f_{h_{21б}}$.

Максимальная частота генерации f_{\max} (МГц) — наибольшая частота, на которой транзистор способен генерировать колебания в схеме автогенератора при оптимальной обратной связи:

$$f_{\max} \approx 200 \sqrt{f_{гр}/r'_6 C_k} \text{ или } f_{\max} \approx 180 \sqrt{f_{h_{21б}}/r'_6 C_k},$$

где r'_6 — сопротивление базы, Ом; C_k — емкость коллектора, пФ.

Параметры в режиме большого сигнала характеризуют работу транзисторов в режимах, при которых токи и напряжения между выводами транзистора меняются в широких пределах. Эти параметры используют для оценки режима работы транзистора в мощных каскадах усилителей, автогенераторах, импульсных схемах. К параметрам в режиме большого сигнала относят следующие.

Статический коэффициент передачи тока $h_{21э}$ (или $B_{ст}$) определяется как отношение постоянного тока коллектора к току базы ($h_{21э} = I_k/I_b$) при заданном напряжении $U_{кэ}$.

Напряжение насыщения база—эмиттер $U_{бэн}$ и коллектор—эмиттер $U_{кэв}$. В режиме насыщения оба p - n -перехода транзистора находятся в проводящем состоянии. В этом режиме базовая область получает дополнительный заряд, создаваемый подвижными носителями. В режиме насыщения при включении и выключении транзистора необходимо дополнительное время для накопления и рассасывания избыточного заряда, что снижает скорость переключения.

Время рассасывания t_p — интервал времени между моментом подачи на базу транзистора запирающего импульса и моментом, когда напряжение на коллекторе достигнет уровня (0,1—0,3) U_k . Время рассасывания зависит от глубины насыщения транзистора. Глубина насыщения определяется коэффициентом насыщения $K_n = (I_b h_{21э})/I_k$. Он показывает, во сколько раз ток базы транзистора, находящегося в режиме насыщения, больше тока базы, требуемого для перевода транзистора на границу насыщения, при которой напряжение на коллекторном переходе равно нулю.

Параметры предельных режимов устанавливаются исходя из условий обеспечения надежной работы транзисторов.

Чтобы радиотехнические устройства на транзисторах работали безотказно, рабочие режимы транзисторов выбирают такими, при которых ток, напряжения и мощность не превышают 0,8 их максимально допустимых значений. К параметрам предельных режимов относятся следующие.

Максимально допустимая рассеиваемая мощность коллектора $P_{к.макс}$ (при температуре окружающей среды T_c или корпуса T_k), при которой обеспечивается сохранность транзистора. Превышение $P_{к.макс}$ ведет к перегреву и тепловому пробую транзистора. При повышении температуры среды или корпуса эта мощность должна снижаться. При заданной температуре корпуса T_k или окружающей среды T_c допустимая мощность (Вт) $P_{к.макс} = (T_{п.макс} - T_k) / R_{пк}$; $P_{к.макс} = (T_{п.макс} - T_c) / R_{пс}$, где $T_{п.макс}$ — максимально допустимая температура $p-n$ -перехода, °С; $R_{пк}$ и $R_{пс}$ — соответственно тепловое сопротивление переход — корпус и переход — окружающая среда, °С/Вт. Для транзисторов малой мощности $R_{пс}$ составляет 0,2—2 °С/Вт, у биполярных транзисторов средней и большой мощности $R_{пк} \approx 1—50$ °С/Вт.

Предельно допустимая температура коллекторного перехода $T_{к.п.макс}$, характеризующая 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.

Максимально допустимые напряжения $U_{кб.макс}$, $U_{кэ.макс}$, $U_{бэ.макс}$, определяемые электрической прочностью соответствующих переходов транзистора. Превышение этих величин приводит к росту тока и электрическому или тепловому пробую перехода. Для ряда транзисторов указывается сопротивление между базой и эмиттером $R_{бэ}$, при котором допустимо заданное напряжение $U_{кэ.макс}$ при отсутствии запирающего смещения на базе. Для малоомощных транзисторов $R_{бэ} < 10$ кОм, а для мощных $R_{бэ} \approx 100$ Ом.

Максимально допустимые значения токов $I_{к.макс}$, $I_{э.макс}$, $I_{б.макс}$ устанавливаются для того, чтобы в период эксплуатации не нарушался механизм движения носителей заряда в полупроводнике из-за 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 в таком режиме 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 непрерывного (длительного) режима, при этом указывается длительность импульса или скважность, при которых возможен такой форсированный режим.

§ 34. Классификация и обозначение транзисторов. Правила монтажа и эксплуатации

По функциональному назначению транзисторы в радиоэлектронных схемах делят: на двухпереходные биполярные (усилитель-

ные, импульсные, малошумящие, высоковольтные, фототранзисторы); полевые (униполярные) с каналом и управляющим затвором в виде *p-n*-перехода, с встроенным или индуцированным каналом и изолированным затвором. Кроме того, транзисторы различают по мощности и частоте.

По максимальной мощности $P_{к, макс}$, рассеиваемой коллектором, различают транзисторы малой, средней и большой мощности, а по частоте — на низкочастотные, среднечастотные, высокочастотные и сверхвысокочастотные.

В настоящее время действует система обозначения транзисторов, состоящая из четырех элементов. *Первый элемент* — буква или цифра, обозначающая материал (Г или 1 — германий или его соединения; К или 2 — кремний или его соединения; А или 3 — соединения галлия); *второй элемент* — буква, указывающая класс прибора (Г — биполярные транзисторы; П — полевые транзисторы); *третий элемент* — цифра, указывающая назначение и качественные свойства прибора, а также порядковый номер разработки в соответствии с табл. 107; *четвертый элемент* — буква, означающая разновидность типа (деление на параметрические группы).

Т а б л и ц а 107

Частота транзистора, МГц	Третий элемент обозначения транзисторов при мощности, Вт, рассеиваемой коллектором		
	малой (до 0,3)	средней (от 0,3 до 1,5)	большой (более 1,5)
Низкая (до 3)	101—199	401—499	701—799
Средняя (от 3 до 30)	201—299	501—599	801—899
Высокая (от 30 до 300)	301—399	601—699	901—999
Сверхвысокая (выше 300)			

Примеры обозначений: КТ324А — кремниевый маломощный высокочастотный транзистор, разновидность А; ГТ905Б — германиевый большой мощности высокочастотный транзистор, разновидность Б.

Обозначение транзисторов, разработанных до 1964 г., состоит из трех элементов. *Первый элемент* — буква (транзистор); *второй элемент* — число, указывающее назначение и качественные свойства, а также порядковый номер разработки транзистора в соответствии с табл. 108, *третий элемент* — буква, означающая разновидность типа прибора.

При монтаже транзисторов необходимо соблюдать следующие правила.

Крепление транзисторов производят за корпус. Изгиб внешних выводов выполняют не ближе 10 мм от проходного изолятора (если нет других указаний), изгиб жестких выводов мощных транзисторов запрещается.

Пайку выводов осуществляют не ближе 10 мм от корпуса прибора. При этом мощность паяльника должна быть не более 60 Вт, время пайки — не более 3 с, а температура — не выше 200 °С. В процессе монтажа необходимо исключить прохождение тока через транзистор и обеспечить надежный теплоотвод.

Частота транзистора, МГц	Второй элемент обозначения транзисторов при мощности рассеивания, Вт			
	германиевых		кремниевых	
	до 0,25 (малая)	более 0,25 (большая)	до 0,25 (малая)	более 0,25 (большая)
Низкая (до 5)	1—99	201—299	101—199	301—399
Высокая (более 5)	401—499	601—699	501—599	701—799

Транзисторы нельзя располагать вблизи тепловыделяющих элементов (сетевых трансформаторов, мощных резисторов), а также в сильных электромагнитных полях.

При эксплуатации транзисторов надо выполнять следующие правила.

Полярность напряжения внешнего источника питания, подключаемого к электродам транзистора, следует выбирать с учетом структуры транзистора и его рабочей схемы. При подключении транзистора к источнику питания первым присоединяют вывод базы, последним — вывод коллектора, а при отключении — в обратном порядке. Запрещается подавать напряжение на транзистор с отключенной базой.

Для увеличения надежности и долговечности приборов рабочие напряжения, токи, мощность и температуру необходимо выбирать меньше предельно допустимых (около 0,7 их значений). Не разрешается использовать транзисторы в совмещенных предельных режимах хотя бы по двум параметрам (например, по току и напряжению).

С целью защиты транзисторов от перенапряжений в их схемы включают стабилизирующие, демпфирующие и ограничивающие диоды.

Недопустима проверка схем на полупроводниковых приборах омметрами или другими приборами, могущими создавать перегрузки для диодов, транзисторов.

§ 35. Транзисторы малой мощности

Низкочастотные. Германиевые сплавные транзисторы $p-n-p$ МП39Б, МП40А, МП41А применяются для работы в схемах усиления НЧ и выпускаются в металлическом корпусе (рис. 56, *a-v*) со стеклянными изоляторами и гибкими выводами, массой 2,5 г, с диапазоном рабочих температур от -60 до $+70$ °С. Электрические параметры приведены в табл. 109.

Кремниевые транзисторы $p-n-p$ МП114, МП115, МП116 выпускаются в металлическом корпусе со стеклянными изоляторами и гибкими выводами (рис. 57), массой 1,7 г, с диапазоном рабочих температур от -55 до $+100$ °С. Электрические параметры приведены в табл. 110.

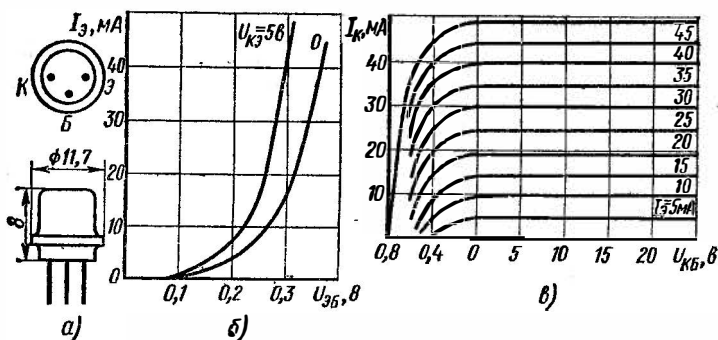


Рис. 56. Цоколевка и габаритные размеры транзисторов МП39Б, МП40А, МП41А (а) и их входные (б) и выходные (в) характеристики в схеме с общей базой

Рис. 57. Цоколевка и габаритные размеры транзисторов МП114—МП116

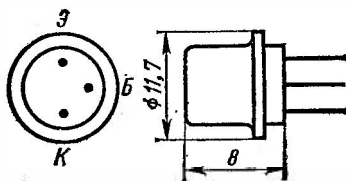


Таблица 109

Параметры	Типы транзисторов		
	МП39Б	МП40А	МП41А
Предельная частота передачи тока, МГц, при $I_Э=1$ мА и $U_{КБ}=5$ В	0,5	1	1
Коэффициент передачи тока при $U_{КБ}=-5$ В, $I_Э=1$ мА, $f=1$ кГц и температуре, °С:	20	20—40	50—100
	60	20—80	50—300
	—40	10—60	25—100
Пробивное напряжение $U_{КБ}$, В, при $f=50$ Гц	15	30	15
Наибольшее напряжения $U_{КЭ}$ и $U_{КБ}$, В, при 40 °С:			
	постоянное	15	30
импульсное	20	30	20
Коэффициент шума, дБ, при $I_Э=0,5$ мА, $U_{КБ}=1,5$ В и $f=1$ кГц	12	—	—

Обратный ток коллектора, мкА, при $U_{кб} = -5$ В и температуре, °С:	
20	15
70	300
Обратный ток эмиттера, мкА, при $U_{эб} = -5$ В	30
Наибольший постоянный ток коллектора, мА	20
Емкость коллектора, пФ, при $U_{кб} = 5$ В и $f = 500$ кГц	60
Наибольший импульсный ток коллектора, мА, при $I_{э.ср} \leq 40$ мА	150
Выходная проводимость, мкСм, при $I_{э} = 1$ мА, $U_{кб} = 5$ В и $f = 1$ кГц	3,3
Сопротивление базы, Ом, при $I_{э} = 1$ мА, $U_{кб} = 5$ В и $f = 500$ кГц	220
Мощность, рассеиваемая коллектором, мВт, при температуре, °С:	
55	150
70	75
Отрицательное напряжение $U_{эб}$, В	5

Т а б л и ц а . 110

Параметры	Типы транзисторов		
	МП114	М1115	МП116
Предельная частота передачи тока, кГц, при $U_{кб} = 5$ В и $I_{э} = 1$ мА	100	100	500
Кoeffициент передачи тока в схеме с ОЭ при $U_{кб} = 5$ В, $I_{э} = 1$ мА, $f = 1$ кГц	9	9—45	15—100
Пробивное напряжение $U_{кб}$, В, при $f = 50$ Гц	70	40	20
Напряжения $U_{кб}$ и $U_{кэ}$, В, при 70 °С	60	30	15
Напряжение $U_{эб}$ при температуре от -50 до +100 °С	10	10	10

Обратный ток коллектора, мА, при $U_{кб} = -30$ В и температуре 20 и 100 °С соответственно	10 и 400
Обратный ток эмиттера, мкА, при $U_{эб} = -10$ В и температуре 20 и 100 °С соответственно	10 и 200
Входное сопротивление, Ом, в схеме с ОБ при $U_{кб} = -50$ В, $I_{э} = 1$ мА, $f = 1$ кГц	300
Мощность, рассеиваемая коллектором, мВт, при 70 °С	150

Среднечастотные. Транзисторы p-n-p КТ203 (А, Б, В) применяются для усиления и генерирования колебаний в диапазоне до 5 МГц, для работы в схемах переключения и стабилизации и выпускаются в металлическом корпусе с гибкими выводами (рис. 58), массой 0,5 г, с диапазоном рабочих температур от -60 до +125 °С. Электрические параметры транзисторов приведены в табл. 111.

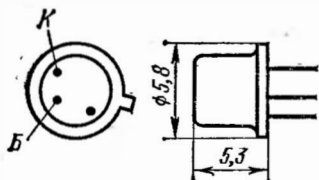


Рис. 58. Цоколевка и габаритные размеры транзисторов КТ203А—В

Таблица 111

Параметры	Типы транзисторов		
	КТ203А	КТ203Б	МТ203В
Предельная частота передачи тока в схеме с ОБ, МГц	5	5	5
Коэффициент передачи тока в режиме малого сигнала при $U_{кв}=5$ В, $I_{э}=1$ мА	9	30—100	30—200
Напряжение $U_{кв}$, В, при температуре °С:			
от -55 до +75	60	30	15
125	30	15	10
Напряжение $U_{эб}$, В	30	15	10
Входное сопротивление, Ом, в схеме с ОБ при данном $U_{кв}$ *	300	300	300

Обратный ток коллектора, мкА, при наибольшем обратном напряжении и температуре 25 и 125 °С соответственно	1 и 15
Обратный ток эмиттера, мкА, при $U_{эб}=-30$ В	10
Емкость коллекторного перехода, пФ, при $U_{кв}=5$ В и $f=10$ МГц	10
Ток коллектора, мА:	
постоянный	10
импульсный	50
Среднее значение тока эмиттера в импульсном режиме, мА	10
Мощность, рассеиваемая коллектором, мВт, при температуре до 70 °С	150

* Для транзисторов КТ203А—КТ203В напряжение $U_{кв}$ соответственно равно 50, 30 и 15 В.

Высокочастотные. Конверсионные транзисторы *p-n-p* ГТ321 (А—Е) выпускаются в металлическом корпусе с гибкими выводами (рис. 59, а), массой 2 г, с диапазоном рабочих температур от -55 до +60 °С. Электрические параметры транзисторов приведены в табл. 112.

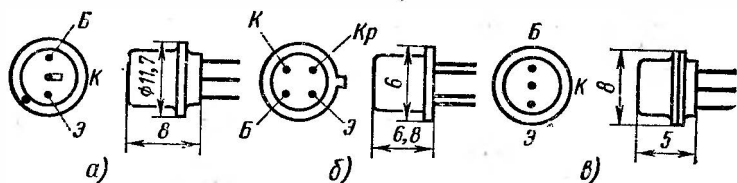


Рис. 59. Цоколевка и основные размеры транзисторов:

а — ГТ321, б — ГТ322, в — ГТ323

Таблица 112

Параметры	Типы транзисторов					
	ГТ321А	ГТ321Б	ГТ321В	ГТ321Г	ГТ321Д	ГТ321Е
Статический коэффициент передачи тока при $U_{кв}=3$ В и $I_{к}=500$ мА	20—60	40—120	80—200	20—60	40—120	80—200
Модуль коэффициента передачи тока при $I_{э}=15$ мА, $U_{к}=10$ В и $f=20$ МГц	3	3	3	3	3	3
Емкость перехода, пФ: коллекторного при $U_{кв}=-10$ В и $f=5$ МГц	80	80	80	80	80	80
эмиттерного при $U_{эб}=-0,5$ В	600	600	600	600	600	600
Постоянная времени цепи обратной связи, пс, при $U_{к}=10$ В, $I_{э}=15$ мА и $f=5$ МГц	600	600	600	600	600	600
Напряжение на коллекторе, В, при котором наступает переворот фазы базового тока при $I_{эн}=700$ мА и $T_{к} \leq 45^{\circ}\text{C}$	40	40	40	30	30	30

Обратный ток коллектора, мкА, при $U_k = -30$ В, $T_k = 20^\circ\text{C}$	100
Начальный ток коллектора, мА, при $R_b = 100$ Ом и предельном напряжении $U_{кз}$	0,8
Напряжение в режиме насыщения, В:	
$U_{кз}$ при $I_k = 700$ мА	2,5
$U_{бз}$ при $I_k = 700$ мА*	1,3
Импульсный ток коллектора, А, при $\tau_{имп} = 30$ мкс и температуре 45°C	2
Ток базы, мА	30
Импульсный ток базы, мА, при $\tau_{имп} = 30$ мкс	500
Мощность, рассеиваемая коллектором, мВт, при $T_k \leq 45^\circ\text{C}$	160
Импульсная мощность на коллекторе, Вт, при $T_k \leq 45^\circ\text{C}$	20

* При токе базы 140 мА — для транзисторов ГТ321А, ГТ321Г;
70 мА — для ГТ321Б, ГТ321Д и 35 мА — для ГТ321В, ГТ321Е.

Транзисторы р-п-р ГТ322 (А, Б, В) применяются для работы в УВЧ радиовещательных приемниках и выпускаются в металлическом корпусе с гибкими выводами (рис. 59, б), массой 0,6 г, с диапазоном рабочих температур от -40 до $+55^\circ\text{C}$. Корпус Кр транзистора электрически соединен с четвертым выводом и может быть использован в качестве экрана. Электрические параметры транзисторов приведены в табл. 113.

Таблица 113

Параметры	Типы транзисторов		
	ГТ322А	ГТ322Б	ГТ322В
Статический коэффициент передачи тока	30—100	50—120	20—120
Модуль коэффициента передачи тока на $f = 20$ МГц	4	4	2,5
Емкость коллектора, пФ, при $U_{кб} = -5$ В и $f = 10$ МГц	1,8	1,8	2,5
Постоянная времени цепи обратной связи, пс, при $f = 5$ МГц	50	100	200

Обратный ток коллектора, мкА, при $U_{кб} = -10$ В и температуре, $^\circ\text{C}$:

20	4
55	100
Входное сопротивление*, Ом, в схеме с ОБ в диапазоне частот от 50 до 1000 Гц	34
Выходная проводимость*, мксм, в схеме с ОБ в диапазоне частот от 50 до 1000 Гц	1
Коэффициент шума*, дБ, на частоте 1,6 МГц	4
Тепловое сопротивление, $^\circ\text{C}/\text{мВт}$	0,7
Ток коллектора, мА	5
Напряжение $U_{кб}$, В	-15

Напряжение $U_{кв}$, В при $R_b > 10$ кОм	10
Мощность, рассеиваемая коллектором, мВт, при $T_k \leq 25^\circ\text{C}$	50

* При $U_{кб} = -5$ В и $I_b = 1$ мА.

Транзисторы *n-p-n* ГТ323 (А, Б, В) выпускаются в металлическом корпусе с гибкими выводами (рис. 59, в), массой 2 г, с диапазоном рабочих температур -55 до $+60^\circ\text{C}$. Электрические параметры транзисторов приведены в табл. 114.

Таблица 114

Параметры	Типы транзисторов		
	ГТ323А	ГТ323Б	ГТ323В
Статический коэффициент передачи тока при $I_k = 0,5$ А и $U_{кб} = 5$ В	20—60	40—120	80—200
Время рассасывания, нс, при $I_k = 1$ А и токе базы *	100	100	150
Емкость, пФ:			
коллектора при $U_{кб} = 15$ В и $f = 5$ МГц			30
эмиттера при $U_{эб} = 0,25$ В и $f = 5$ МГц			100
Постоянная времени цепи обратной связи, пс, при $U_k = 10$ В, $I_b = 10$ мА и $f = 10$ МГц			300
Обратный ток, мкА:			
коллектора при $U_{кб} = 20$ В			30
эмиттера при $U_{эб} = 2$ В			100
Напряжение коллектора, В, при котором наступает переворот фазы базового тока при $I_b = 100$ мА . . .			10
Напряжение в режиме насыщения, В:			
$U_{кэ}$ при $I_k = 1$ А и $I_b = 100$ мА			2,5
$U_{бэ}$ при $I_k = 1$ А и $I_b = 100$ мА			3
Импульсный ток коллектора, А			1
Напряжение $U_{кб}$, В			20
Напряжение $U_{кв}$, В, при $R_b = 1$ кОм			20
Напряжение $U_{эб}$, В			2
Напряжение $U_{кэ}$, В, запертого транзистора при $U_{бэ} = 0,25 \div 2$ В			20
Мощность **, мВт, рассеиваемая коллектором, с теплоотводом, при температуре от -50 до $+50^\circ\text{C}$.			500
Импульсная мощность, Вт, при $\tau_{инп} = 0,5$ мкс . . .			5

* 100 мА — для ГТ323А, 50 мА — для ГТ323Б, 25 мА — для ГТ323В.

** При температуре корпуса $T_k = 50 \div 60^\circ\text{C}$ мощность, мВт, $P_{к \cdot \text{макс}} = 10(100 - T_k)$.

Планарные транзисторы *n-p-n* КТ312 (А, Б, В) выпускаются в металлическом корпусе с гибкими выводами (рис. 60, а), массой 1 г, с диапазоном рабочих температур от -40 до $+85^\circ\text{C}$. Их входные и выходные характеристики показаны на рис. 60, б, в, а электрические параметры приведены в табл. 115.

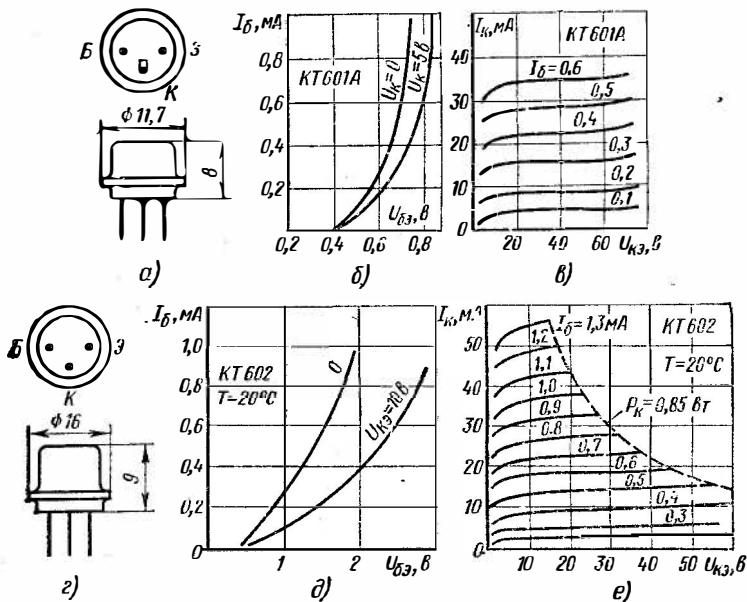


Рис. 60. Цоколевка (а, е), входные (б, д) и выходные (в, е), характеристики транзисторов КТ312 и КТ315

Таблица 115

параметры	Типы транзисторов		
	КТ312А	КТ312Б	КТ312В
Статический коэффициент передачи тока при $I_k=20$ мА, $U_k=2$ В	10—100	25—100	50—280
Модуль коэффициента передачи тока при $I_b=5$ мА, $U_k=10$ В и $f=20$ МГц	4	6	6
Максимальное напряжение, В:			
$U_{кб}$	20	35	20
$U_{кэ}$ при сопротивлении между эмиттером и базой 100 кОм	20	35	20
Постоянная времени цепи обратной связи, пс, при $I_b=5$ мА, $U_k=10$ В и $f=5$ МГц			500
Емкость, пФ:			
коллектора при $U_{кб}=10$ В и $f=10$ МГц			5

эмиттера при $U_{эб}=1$ В и $f=10$ МГц	20
Обратный ток коллектора, мкА, при $U_{кб}=15$ В (для КТ312А и КТ312В) и при $U_{кб}=30$ В (для КТ312Б)	10
Обратный ток эмиттера, мкА, при $U_{эб}=4$ В	10
Напряжение в режиме насыщения, В: $U_{кэ}$ при $I_{к}=2$ мА и $I_{б}=20$ мА	0,8
$U_{бэ}$ при $I_{б}=2$ мА и $I_{к}=20$ мА	1,1
Постоянный ток коллектора, мА	30
Импульсный ток коллектора, мА	60
Напряжение $U_{эб}$, В	4
Мощность, мВт, рассеиваемая коллектором, при $T_{к} \leq 60^{\circ}\text{C}$	225
Импульсная мощность, мВт, при $t_{имп} \leq 1$ мкс	450

Транзисторы *n-p-n* КТ315 (А—Е) выпускаются в пластмассовом корпусе (рис. 60, *г*) массой 0,18 г, с диапазоном рабочих температур от -55 до $+100^{\circ}\text{C}$. Входные и выходные характеристики этих транзисторов показаны на рис. 60, *д, е*, а их электрические параметры приведены в табл. 116.

Таблица 116

Параметры	Типы транзисторов					
	КТ315А	КТ315Б	КТ315В	КТ315Г	КТ315Д	КТ315Е
Статический коэффициент передачи тока при $U_{к}=10$ В и $I_{б}=1$ мА	20—90	50—350	20—90	50—350	20—90	50—350
Модуль коэффициента передачи тока при $U_{к}=10$ В, $I_{б}=5$ мА и $f=100$ МГц	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5

Параметры	Типы транзисторов					
	КТ315А	КТ315Б	КТ315В	КТ315Г	КТ315Д	КТ315Е
Постоянная времени цепи обратной связи, пс, при $U_{к} = 10$ В, $I_{б} = 5$ мА	500	500	500	500	1000	1000
Напряжение $U_{кн}$, В, при $R_{св} = 10$ кОм	20	15	30	25	—	—
Напряжение, В, в режиме насыщения при $I_{к} = 20$ мА и $I_{б} = 2$ мА:						
$U_{кн}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,1	0,1
$U_{бэ}$	0,1	0,1	0,1	0,1	1,5	1,5
Напряжение коллектора, В, при котором наступает переворот фазы тока $I_{б}$ при $I_{б} = 5$ мА	15	15	30	25	30	25

Обратный ток, мкА:

коллектора при $U_{гб} = 10$ В	1
эмиттера при $U_{сб} = 5$ В	30
Наибольший ток коллектора, мА	100
Общее тепловое сопротивление, °С/мВт	0,67
Емкость коллектора, пФ, при $U_{к} = 10$ В	7
Мощность, рассеиваемая коллектором, мВт	150

Транзисторы *p-n-p* КТ347 (А, Б, В) выпускаются в металлическом корпусе (рис. 61, а) массой 0,5 г, с диапазоном рабочих температур от -40 до $+85$ °С. Электрические параметры транзисторов приведены в табл. 117.

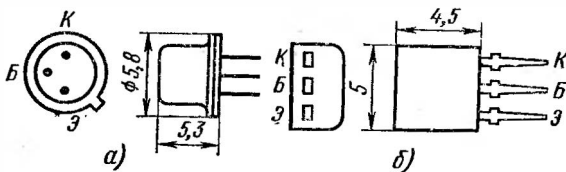


Рис. 61. Цоколевка и габаритные размеры транзисторов:
 а — КТ347 (КТ349, КТ350, КТ351), б — КТ373

Параметры	Типы транзисторов		
	КТ347А	КТ347Б	КТ347В
Предельно допустимое напряжение $U_{кэ}$, В, при $R_б \leq 10$ кОм	15	9	6
Предельно допустимое напряжение $U_{кб}$, В	15	9	6
Время рассасывания, нс, при $I_{б1} = I_{б2} = 1$ мА, $I_к = 10$ мА	25	25	40

Модуль коэффициента передачи тока на $f = 100$ МГц при $U_к = 5$ В, $I_э = 10$ мА	5
Обратный ток, мкА:	
коллектора при предельно допустимом $U_{кб}$	1
эмиттера при $U_{эб} = 4$ В	10
Начальный ток коллектора, мкА, при $R_б \leq 10$ кОм и предельно допустимом $U_{кэ}$	5
Напряжение коллектор — эмиттер в режиме насыщения, В, при $I_к = 10$ мА и $I_б = 1$ мА	0,3
Емкость эмиттера, пФ, на частоте 10 МГц при $U_{эб} = 0$	8
Напряжение $U_{эб}$, В	4
Постоянный ток коллектора, мА	50
Импульсный ток коллектора, мА	110
Мощность, мВт, рассеиваемая коллектором, при $T_с \leq 55^\circ\text{C}$	150
Тепловое сопротивление, $^\circ\text{C}/\text{мВт}$	0,5

Транзисторы *p-n-p* КТ349 (А, Б, В) выпускаются в металлическом корпусе с гибкими выводами (см. рис. 61, а), массой 0,5 г, с диапазоном рабочих температур от -40 до $+85^\circ\text{C}$. Электрические параметры транзисторов приведены ниже.

	КТЗ49А	КТЗ49Б	КТЗ49В
Статический коэффициент передачи тока при $U_K=1$ В и $I_a=10$ мА	20—80	40—160	120—300
Модуль коэффициента передачи тока при $f=100$ МГц и $I_a=10$ мА		3	
Предельная частота передачи тока, МГц		300	
Обратный ток, мкА:			
коллектора при $U_{KB}=10$ В		1	
эмиттера при $U_{эб}=4$ В		1	
Начальный ток коллектора, мкА, при $U_{кз}=4$ В, $R_б \leq 20$ кОм		1,5	
Напряжение, В, в режиме насыщения при $I_k=10$ мА и $I_б=1$ мА:			
$U_{кз}$		0,3	
$U_{эб}$		1,2	
Емкость перехода, пФ:			
коллекторного при $U_{KB}=5$ В и $f=10$ МГц		6	
эмиттерного при $U_{эб}=0$ и $f=10$ МГц		8	
Импульсный ток коллектора, мА, при $\tau_{имп} \leq 1$ мкс		40	
Напряжение U_{KB} , В		20	
Напряжение $U_{эб}$, В		4	
Напряжение $U_{кз}$, В, при $R_б \leq 10$ кОм		15	
Мощность*, мВт, рассеиваемая коллектором, при $T_c = -40 \div +30$ °С		200	

* При температуре среды выше 30 °С мощность, мВт, $P_{к.макс} = (150 - T_c) / 0,6$.

Транзисторы p-n-p КТЗ50А выпускаются в металлическом корпусе с гибкими выводами (см. рис. 61, а), массой 0,5 г, с диапазоном рабочих температур от -40 до +85 °С. Электрические параметры транзисторов приведены ниже.

Статический коэффициент передачи тока при $U_K=1$ В и $I_a=500$ мА	20—200
Модуль коэффициента передачи тока при $f=20$ МГц, $U_K=5$ В и $I_a=10$ мА	5
Емкость, пФ:	
коллектора при $U_{KB}=5$ В и $f=5 \div 10$ МГц	70
эмиттера при $U_{эб}=1$ В и $f=5 \div 10$ МГц	100

Напряжение в режиме насыщения, В, при $I_k = 500$ мА и $I_6 = 50$ мА:

$U_{кэ}$	0,5
$U_{бэ}$	1,25

Обратный ток, мкА:

коллектора при $U_{кб} = 10$ В	1
эмиттера при $U_{эб} = 4$ В	10
Импульсный ток коллектора, мА, при $\tau_{имп} \leq \leq 1$ мс	600
Напряжение $U_{кэ}$, В, при $R_6 \leq 10$ кОм	15
Напряжение $U_{кб}$, В	20
Напряжение $U_{эб}$, В	4
Мощность*, мВт, рассеиваемая коллектором, при температуре от -40 до $+30$ °С	200

* При температуре среды более 30 °С мощность, мВт, $P_{к.макс} = (150 - T_c) / 0,6$.

Транзисторы *p-n-p* К351 (А, Б) выпускаются в металлическом корпусе с гибкими выводами (см. рис. 61, а), массой 0,5 г, с диапазоном рабочих температур от -40 до $+85$ °С. Электрические параметры транзисторов приведены ниже.

	КТ351А	КТ351В
Статический коэффициент передачи тока при $U_k = 1$ В и $I_э = 300$ мА	20—80	50—200
Модуль коэффициента передачи тока при $f = 100$ МГц, $U_k = 5$ В и $I_э = 10$ мА		2
Емкость, пФ, при $f = 5 \div 10$ МГц:		
коллектора при $U_{кб} = 5$ В		15
эмиттера при $U_{эб} = 1$ В		30
Напряжение, В, в режиме насыщения при $I_k = 400$ мА и $I_6 = 50$ мА:		
$U_{кэ}$		0,6
$U_{бэ}$		1,1
Обратный ток, мкА:		
коллектора при $U_{кб} = 10$ В		1
эмиттера при $U_{эб} = 4$ В		10
Импульсный ток коллектора, мА, при $\tau_{имп} = 4$ мкс		400
Напряжение $U_{кэ}$, В, при $R_6 \leq 10$ кОм		15
Напряжение $U_{кб}$, В		20
Напряжение $U_{эб}$, В		4
Мощность*, мВт, рассеиваемая коллектором, при температуре от -40 до $+30$ °С		200

* При температуре среды более 30 °С мощность, мВт, $P_{к.макс} = (150 - T_c) / 0,6$.

Транзисторы *p-n-p* КТ373 (А — Г) выпускаются в пластмассовом корпусе (рис. 61, б) массой 0,1 г, с диапазоном рабочих температур от -40 до $+85$ °С. Электрические параметры транзисторов приведены в табл. 118.

Таблица 118

Параметры	Типы транзисторов			
	КТ373А	КТ373Б	КТ373В	КТ373Г
Статический коэффициент передачи тока при $U_{кб}=5$ В и $I_{э}=1$ мА	100—250	200—600	500—1000	50—125
Модуль коэффициента передачи тока при $I_{э}=5$ мА и $f=100$ МГц	3	3	3	3
Емкость коллектора, пФ, при $U_{кб}=5$ В	8	8	8	8
Напряжение $U_{кб}$, В	30	25	10	60
Напряжение переворота фазы тока базы при $I_{э}=5$ мА	25	20	10	25
Напряжение $U_{эб}$, В				5
Обратный ток, мкА:				
коллектора при $U_{кб}=25$ В				0,05
эмиттера при $U_{эб}=5$ В				30
Ток коллектора, мА:				
постоянный				50
импульсный				200
Предельная частота передачи тока базы, МГц				300
Мощность, рассеиваемая коллектором, мВт				150

Сверхвысокочастотные. Транзисторы *p-n-p* ГТ328 (А, Б, В) применяются для работы в каскадах АРУ радиоприемных и телевизионных устройств метрового диапазона волн и выпускаются в металлическом корпусе с гибкими выводами (рис. 62, а), массой 2 г, с диапазоном рабочих температур от -40 до $+55$ °С. Электрические параметры транзисторов приведены в табл. 119.

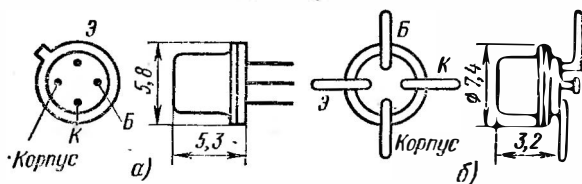


Рис. 62. Цоколевка и габаритные размеры транзисторов: а — ГТ328 (ГТ346), б — ГТ329

Параметры	Типы транзисторов		
	ГТ328А	ГТ328Б	ГТ328В
Статический коэффициент передачи тока	20—200	40—200	10—50
Предельная частота передачи тока, МГц	400	300	300
Постоянная времени цепи обратной связи, пс, при $U_{кб}=10$ В и $I_0=2$ мА	5	10	10

Обратный ток коллектора, мкА, при $U_{кб}=15$ В 10
 Предельно допустимый ток коллектора, мА 10

Пробивное напряжение, В:

$U_{кб}$ 15
 $U_{об}$ при разомкнутой цепи коллектора 0,2
 Емкость коллектора, пФ, при $U_{кб}=5$ В 1,5
 Мощность, мВт, рассеиваемая коллектором, при температуре 55 °С 45

Транзисторы *n-p-n* ГТ329 (А—Г) выпускаются в металлическом герметичном корпусе с полосковыми выводами (рис. 62, б), массой 2 г, с диапазоном рабочих температур от -50 до $+60$ °С. Электрические параметры транзисторов приведены в табл. 120.

Таблица 120

Параметры	Типы транзисторов			
	ГТ329А	ГТ329Б	ГТ329В	ГТ329Г
Статический коэффициент передачи тока базы при $U_{кб}=5$ В и $I_0=5$ мА	15—300	15—300	15—300	15—300
Модуль коэффициента передачи тока при $U_{кб}=5$ В, $I_0=5$ мА, $f=300$ МГц	4,6	5,6	3,3	2,3
Емкость, пФ:				
коллектора при $U_{кб}=5$ В и $f=30$ МГц	2	3	3	2
эмиттера при $U_{об}=0,5$ В и $f=30$ МГц	3,5	3,5	3,5	3,5

Параметры	Типы транзисторов			
	ГТ329А	ГТ329Б	ГТ329В	ГТ329Г
Обратный ток, мА:				
коллектора при $U_{кб}=10$ В	5	5	5	5
эмиттера при $U_{эб}=0,5$ В	100	100	100	100
Постоянная времени цепи обратной связи, пс, при $U_{к}=5$ В, $I_{э}=5$ мА и $f=30$ МГц	15	20	20	15
Напряжение $U_{эб}$, В, при температуре среды 60°C и $I_{э,обр}=100$ мкА	0,5	0,5	1	0,5
Напряжение $U_{кб}$, В	10	10	10	10
Напряжение $U_{кэ}$, В, при $R_{г}\leq 1$ кОм	5	5	5	5
Коэффициент шума, дБ, при $U_{к}=5$ В, $I_{э}=3$ мА и $f=400$ МГц	4	6	6	5
Мощность *, рассеиваемая коллектором, мВт	50	50	50	50

* При температуре среды $40-60^{\circ}\text{C}$ мощность, мВт, $P_{н,макс}=(80-T_c)/0,8$

Транзисторы *p-n-p* ГТ346 (А, Б) применяются для работы в селекторах телевизионных каналов дециметрового диапазона с АРУ и выпускаются в металлическом корпусе с гибкими выводами (см. рис. 62, а), массой 1 г, с диапазоном рабочих температур от -40 до $+55^{\circ}\text{C}$. Электрические параметры транзисторов приведены в табл. 121.

Таблица 121

Параметры	Типы транзисторов	
	ГТ346А	ГТ346Б
Статический коэффициент передачи тока базы при $U_{к}=10$ В и $I_{э}=2$ мА	10	10
Модуль коэффициента передачи тока при $f=100$ МГц и $I_{э}=2$ мА	7	5,5
Емкость коллектора, пФ, при $U_{кб}=5$ В и $f=10$ МГц	1,3	1,3
Обратный ток, мкА:		
коллектора при $U_{кб}=15$ В	10	10
эмиттера при $U_{эб}=0,3$ В	100	100
Постоянная времени цепи обратной связи, пс, при $U_{к}=10$ В и $I_{э}=2$ мА	3	5,5

Параметры	Типы транзисторов	
	ГТ346А	ГТ346Б
Напряжение $U_{кв}$, В, при $R_b=5$ кОм	15	15
Напряжение $U_{кб}$, В	15	15
Напряжение, $U_{об}$, В	0,3	0,3
Коэффициент шума при $I_a=2$ мА и $f=800$ МГц	8	—
Граничная частота передачи тока, МГц	700	550
Ток коллектора, мА	10	10
Мощность, рассеиваемая коллектором, мВт	40	40

Транзисторы *n-p-n* КТ325 (А, Б, В) выпускаются в металлическом корпусе с гибкими выводами (рис. 63, а) массой 2,2 г, с диапазоном рабочих температур от -60 до $+125$ °С. Электрические параметры транзисторов приведены ниже.

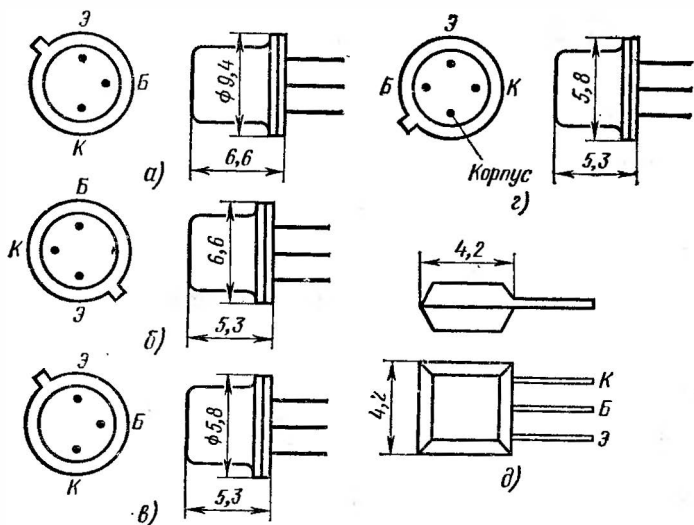


Рис. 63. Цоколевка и основные размеры транзисторов: а — КТ325, б — КТ326, в — КТ337 (КТ363), з — ГТ339, д — КТ345

	КТ325А	КТ325Б	КТ325В
Статический коэффициент передачи тока при $U_k=5$ В и $I_a=10$ мА	30—90	70—210	160—400
Модуль коэффициента передачи тока при $U_k=5$ В, $I_a=10$ мА и $f=100$ МГц	8	6	8

КТ325А

КТ325Б

КТ325В

Емкость, пФ, при $f = 10$ МГц:коллектора при $U_{кб} =$ $= 5$ В

2,5

эмиттера при $U_{эб} =$ $= 0$ В

2,5

Обратный ток, мкА:

коллектора при $U_{кб} =$ $= 15$ В

0,5

эмиттера при $U_{эб} =$ $= 4$ В

1

Ток коллектора, мА .

60

Постоянная времени

цепи обратной связи,

пс, при $U_k = 5$ В, $I_a =$ $= 10$ мА и $f = 100$ МГц

125

Напряжение $U_{кэ}$, В,при $R_b \leq 3$ кОм

15

Напряженне U_k , В,

при котором наступает

переворот фазы базово-

го тока, при $I_a = 1$ мА .

15

Пробивное напряже-

ние В:

 $U_{кб}$ при отключенном

эмиттере

15

 $U_{эб}$ при отключен-

ном коллекторе

4

Мощность, мВт, рас-

сенваемая коллектором,

при температуре, °С:

60

225

125

75

Транзисторы $p-n-p$ КТ326 (А, Б) выпускаются в металлическом корпусе с гибкими выводами (рис. 63, б), массой 1 г, с диапазоном рабочих температур от -60 до $+125$ °С. Электрические параметры транзисторов приведены ниже.

Статический коэффициент передачи тока при

 $U_k = 2$ В, $I_a = 10$ мА:

для КТ326А 20—70

для КТ326Б 45—160

Емкость, пФ:

коллектора при $U_{кб} = 5$ В и $f = 10$ МГц 5эмиттера при $U_{эб} = 0$ В и $f = 10$ МГц 4

Обратный ток, мкА:

коллектора при $U_{кб} = 20$ В 0,5эмиттера при $U_{эб} = 4$ В 0,1

Продолжение

Постоянная времени цепи обратной связи, пс,
при $U_{к} = 5$ В, $I_{э} = 10$ мА и $f = 5$ МГц 450

Напряжение, В:

$U_{кэ}$ при отключенном эмиттере 20

$U_{эб}$ при отключенном коллекторе 4

Напряжение, В, в режиме насыщения при $I_{к} = 10$ мА и $I_{б} = 1$ мА:

$U_{кэ}$ 0,3

$U_{эб}$ 1,2

Граничная частота передачи тока, МГц, при $U_{к} = 5$ В и $I_{э} = 10$ мА 400

Ток коллектора, мА 50

Мощность *, мВт, рассеиваемая коллектором, при температуре 30°C 200

* При температуре среды выше 30°C мощность, мВт, $P_{к.макс} = (150 - T_{с})/0,6$.

Транзисторы p-n-p КТ337 (А, Б, В) выпускаются в металлическом корпусе с гибкими выводами (рис. 63, в), массой 0,5 г, с диапазоном рабочих температур от -40 до $+85^{\circ}\text{C}$. Электрические параметры транзисторов приведены в табл. 122.

Т а б л и ц а 122

Параметры	Типы транзисторов		
	КТ337А	КТ337Б	КТ337В
Статический коэффициент передачи тока при $U_{к} = 0,3$ В и $I_{э} = 10$ мА	30—70	50—75	70—120
Модуль коэффициента передачи тока при $f = 100$ МГц, $U_{к} = 5$ В и $I_{э} = 10$ мА	5	6	6
Емкость, пФ, при частоте 10 МГц:			
коллектора при $U_{кэ} = 5$ В	6	6	6
эмиттера при $U_{эб} = 0$ В	8	8	8
Обратный ток, мкА:			
коллектора при $U_{кэ} = 6$ В	1	1	1
эмиттера при $U_{эб} = 4$ В	5	5	5
Время рассасывания, нс, при $I_{б1} = I_{б2} = 1$ мА, $I_{к} = 10$ мА	25	28	28

Напряжение, В, в режиме насыщения при $I_{к} = 10$ мА и $I_{б} = 1$ мА:

$U_{кэ}$ 0,2

$U_{эб}$ 1

Напряжение $U_{кэ}$, В 6

Напряжение $U_{эб}$, В 4

Напряжение $U_{кэ}$, В, при $R_{б} \leq 10$ кОм 6

Продолжение

Начальный ток коллектора, мкА, при $R_0 \leq 10$ кОм	
и $U_{кб} = 6$ В	5
Ток коллектора, мА	30
Мощность*, рассеиваемая коллектором, мВт	150
Температура перехода, °С	150

* При температуре среды более 30 °С мощность, мВт, $P_{к, макс} = -(150 - T_c) / 0.6$.

Транзисторы *п-р-п* КТ339 (А—Д) применяются для работы в выходных каскадах промежуточной частоты телевизионных приемников 1-го и 2-го классов и выпускаются в металлическом корпусе с гибкими выводами (рис. 63, з), массой 1 г, с диапазоном рабочих температур от -40 до +85 °С. Электрические параметры транзисторов приведены в табл. 123.

Таблица 123

Параметры	Типы транзисторов				
	КТ339А	КТ339Б	КТ339В	КТ339Г	КТ339Д
Статический коэффициент передачи тока при $I_b = 7$ В и $U_{кб} = 10$ В	25	15	25	40	15
Емкость коллектора, пФ	2	2	2	2	2
Обратный ток коллектора, мкА, при $U_{кб} = 40$ В (для КТ339Б оно равно 25 В)	1	1	1	1	1
Постоянная времени цепи обратной связи, пс, при $f = 5$ МГц	25	25	50	100	150
Напряжение $U_{кв}$, В	25	12	25	25	25
Напряжение $U_{кб}$, В	40	25	40	40	40
Напряжение $U_{об}$, В	4	4	4	4	4
Предельная частота передачи тока, МГц	300	200	450	250	250

Ток коллектора, мА, при температуре до 70 °С	25
Мощность*, рассеиваемая коллектором, мВт	250
Температура перехода, °С	120

* При повышенной температуре от 55 до 70 °С мощность снижается линейно до 100 мВт.

Транзисторы *n-p-n* КТ342 (А — Г) выпускаются в металлическом корпусе с гибкими выводами (см. рис. 63, в), массой 0,5 г, с диапазоном рабочих температур от -60 до $+125$ °С. Электрические параметры транзисторов приведены в табл. 124.

Таблица 124

Параметры	Типы транзисторов			
	КТ342А	КТ342Б	КТ342В	КТ342Г
Статический коэффициент передачи тока при $I_a=7$ мА и $U_K=10$ В	100—250	200—500	400—1000	50—125
Емкость коллектора, пФ, при $U_K=5$ В	8	8	8	8
Обратный ток, мкА, коллектора при напряжении коллектор — база, В:				
25 (КТ342А), 20 (КТ342Б), 15 (КТ342В) и 25 (КТ342Г)	0,5	0,5	0,5	0,5
Обратный ток эмиттера, мкА, при $U_{об}=5$ В	30	30	30	30
Напряжение $U_{кз}$, В, при $R_б \leq 10$ кОм и температуре среды, °С:				
от -60 до $+100$	30	25	10	60
125	25	20	10	45
Напряжение $U_{кз}$, В, при нулевом токе базы, $I_a=5$ мА и температуре от -60 до $+100$ °С	25	20	10	25
Напряжение, В, в режиме насыщения при $I_K=10$ мА и $I_б=1$ мА:				
коллектора	0,1	0,1	0,1	0,2
эмиттера	0,9	0,9	0,9	1,1
Граничная частота передачи тока, МГц	300	300	300	300
Ток коллектора, мА	50	50	50	50
Импульсный ток коллектора, мА	300	300	300	300
Мощность*, рассеиваемая коллектором, мВт	250	250	250	250

* При температуре среды выше 25 °С мощность, мВт, $P_{к, макс} = (150 - T_c) / 0,5$.

Транзисторы p-n-p КТ345 (А, Б, В) выпускаются в пластмассовом корпусе с гибкими выводами (рис. 63, д), массой 0,5 г, с диапазоном рабочих температур от -40 до $+85$ °С. Электрические параметры транзисторов приведены ниже.

Статический коэффициент передачи тока при $U_K=1$ В и $I_B=100$ мА для транзисторов:

КТ345А	20—60
КТ345Б	50—85
КТ345В	70—105

Модуль коэффициента передачи тока при $f=100$ МГц, $U_K=5$ В и $I_B=10$ мА 3,5

Емкость, пФ:

коллектора при $f=1 \div 10$ МГц и $U_{КБ}=5$ В	15
эмиттера при $f=5 \div 10$ МГц и $U_{ЭБ}=0$ В	30

Обратный ток, мкА:

коллектора при $U_{КБ}=20$ В	1
эмиттера при $U_{ЭБ}=4$ В	1
Напряжение $U_{КБ}$, В	20
Напряжение $U_{КЭ}$, В	20
Напряжение $U_{ЭБ}$, В	4

Напряжение, В, в режиме насыщения при $I_K=100$ мА и $I_B=10$ мА:

$U_{КЭ}$	0,14—0,3
$U_{БЭ}$	0,92—1,1

Ток коллектора, мА:

постоянный	200
импульсный	300

Мощность*, мВт, рассеиваемая коллектором:

постоянная	100
импульсная	300

Температура перехода, °С 150

Тепловое сопротивление переход — окружающая среда, °С/мВт 1,1

* При температуре среды выше 40 °С мощность, мВт, $P_{н.макс} = (150 - T_c) / 1,1$.

Транзисторы p-n-p КТ363 (А, Б) выпускаются в металлическом корпусе с гибкими выводами (см. рис. 63, в), массой 0,5 г, с диапазоном рабочих температур от -40 до $+85$ °С. Электрические параметры транзисторов приведены ниже.

	КТ363А	КТ363Б
Статический коэффициент передачи тока при $U_K=5$ В и $I_B=5$ мА	20—70	40—120
Емкость коллектора, пФ, при $U_{КБ}=5$ В и $f=10$ МГц	2	2
Модуль коэффициента передачи тока при $f=100$ МГц и $I_B=5$ мА	12	15
Граничная частота передачи тока, МГц	1200	1500

Продолжение

	КТ363А	КТ363Б
Постоянная времени цепи обратной связи, пс, при $U_{кк}=5$ В, $I_{в}=5$ мА	50	75
Время рассасывания, нс, при $I_{кк}=10$ мА и токе первой базы:		
1 мА	10	—
0,5 мА	—	5
Обратный ток, мкА:		
коллектора при $U_{кб}=15$ В	0,5	
эмиттера при $U_{эб}=4$ В	0,5	
Ток коллектора, мА:		
постоянный	30	
импульсный при $\tau_{имп}=1$ мкс и скважности более 2	50	
Напряжение, В, в режиме насыщения при $I_{кк}=10$ мА и $I_{б}=1$ мА:		
$U_{кв}$	0,35	
$U_{бэ}$	1,1	
Напряжение $U_{кб}$, В	15	
Напряжение $U_{эб}$, В	4	
Мощность *, рассеиваемая коллектором, мВт	150	

* При температуре среды выше 45 °С мощность, мВт, $P_{кк, макс} = (150 - T_c) / 0,7$.

§ 36. Транзисторы средней мощности

Низко- и среднечастотные. Транзисторы р-п-р ГТ403 (А — И, Ю) выпускаются в металлическом корпусе с гибкими выводами (рис. 64, а), массой 4 г, с диапазоном рабочих температур от -55 до +70 °С. Основные их параметры приведены ниже.

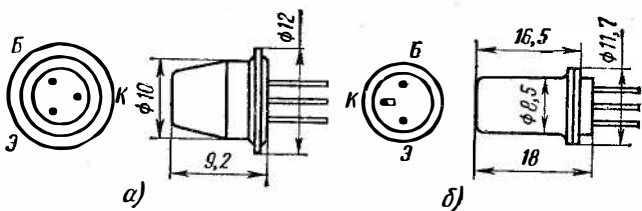


Рис. 64. Цоколевка и основные размеры транзисторов:
а — ГТ403, б — ГТ404

	ГТ403 (А—Е, Ю)	ГТ403 (Ж, И)
Статический коэффициент передачи тока при $I_K=0,45$ А	30	30
Обратный ток, мкА, при 20 °С:		
коллектора	50	70
эмиттера	50	70
Ток коллектор — эмиттер при отключенной базе, мА	5	6
Коэффициент передачи тока при $I_B=100$ мА, $U_K=5$ В и $f=50\div 300$ Гц для групп:		
ГТ403 (А, В, Ж)	20—60	
ГТ403 (Б, Г, Д)	50—150	
ГТ403 (Ю)	30—60	
Предельная частота передачи тока, кГц, в схеме с ОЭ при $I_B=100$ мА и $U_K=5$ В для групп:		
ГТ403 (А—В, Е, Ж, И, Ю)	8	
ГТ403 (Г, Д)	6	
Напряжения, В, в режиме насыщения:		
$U_{кэ}$ при $I_B=50$ мА	0,5	
$U_{бэ}$ при $I_K=0,45$ А	0,8	
Напряжения $U_{кб}$ и $U_{кэ}$, В, для групп:		
ГТ403 (А, Б, Ю)	45 и 30	
ГТ403 (В, Г, Д, Е)	60 и 45	
ГТ403 (Ж, И)	80 и 60	
Ток коллектора, А	1,25	
Ток базы, А	0,4	
Тепловое сопротивление, °С/Вт:		
с теплоотводом	15	
без теплоотвода	100	
Температура перехода, °С	85	

Примечания: 1. Напряжение $U_{эб}$ для ГТ403Д равно 30 В, а для всех остальных групп — 20 В. 2. Тепловое сопротивление транзисторов ГТ403Б и ГТ403Е с теплоотводом — 12° С/Вт.

Транзисторы *n-p-n* ГТ404 (А, Б, В, Г) применяются для работы в выходных каскадах усилителей звуковых частот и выпускаются в металлическом корпусе с гибкими выводами (рис. 64, б) двух вариантов, рассчитанных на предельную мощность 300 и 600 Вт, с маской соответственно 2 и 5 г, с диапазоном рабочих температур от —40 до +55 °С. Основные параметры транзисторов приведены ниже.

	ГТ404А	ГТ404Б	ГТ404В	ГТ404Г
Статический коэффициент передачи тока при $U_K=1$ В и $I_B=3$ мА	30—80	60—150	30—80	60—150

	ГТ404А	ГТ404Б	ГТ404В	ГТ404Г
Напряжение $U_{кз}$, В, при $R_6=200$ Ом и $T_c=55^\circ\text{C}$	25	25	40	40
Обратный ток, мкА:				
коллектора при $U_{кб}=10$ В			25	
эмиттера при $U_{эб}=10$ В			25	
Предельная частота передачи тока, МГц, в схеме ОБ			1	
Напряжение $U_{эб}$, В, при $I_k=0$ и $I_6=2$ мА			0,3	
Ток коллектора, А			0,5	
Температура перехода, $^\circ\text{C}$			85	
Общее тепловое сопротивление, $^\circ\text{C}/\text{мВт}$, для максимальной мощности, мВт:				
600			1	
300			0,15	
Тепловое сопротивление переход — корпус, $^\circ\text{C}/\text{мВт}$			0,015	
Мощность *, рассеиваемая коллектором, мВт			600 или 300	

* При температуре среды выше 25°C мощность, мВт, $P_{к.макс} = 10(85 - T_c)$.

Высоко- и сверхвысокочастотные. Транзисторы *n-p-n* КТ601А выпускаются в металлическом корпусе с гибкими выводами (рис. 65, а) массой 3 г с диапазоном рабочих температур от -40 до $+85^\circ\text{C}$. Входные и выходные характеристики транзисторов приведены на рис. 65, б, в, а их основные параметры — ниже.

Статический коэффициент передачи тока при $U_k=20$ В и $I_э=10$ мА	16
Модуль коэффициента передачи тока при $I_э=10$ мА, $U_k=20$ В и $f=20$ МГц	2
Обратный ток эмиттера, мкА, при $U_{эб}=2$ В	50
Начальный ток коллектора, мкА, при напряжении коллектор — эмиттер, В:	
50	50
100	500
Ток коллектора, мА	30
Ток базы, мА	30

Напряжение $U_{кб}$, В, при отключенном эмиттере	100
Напряжение $U_{кв}$, В	100
Напряжение $U_{эб}$, В	2
Постоянная времени цепи обратной связи, пс, при $U_{к} = 50$ В, $I_{б} = 6$ мА, $f = 5$ МГц	600
Температура перехода, °С	150
Мощность, рассеиваемая коллектором, мВт:	
с теплоотводом	500
без теплоотвода	250

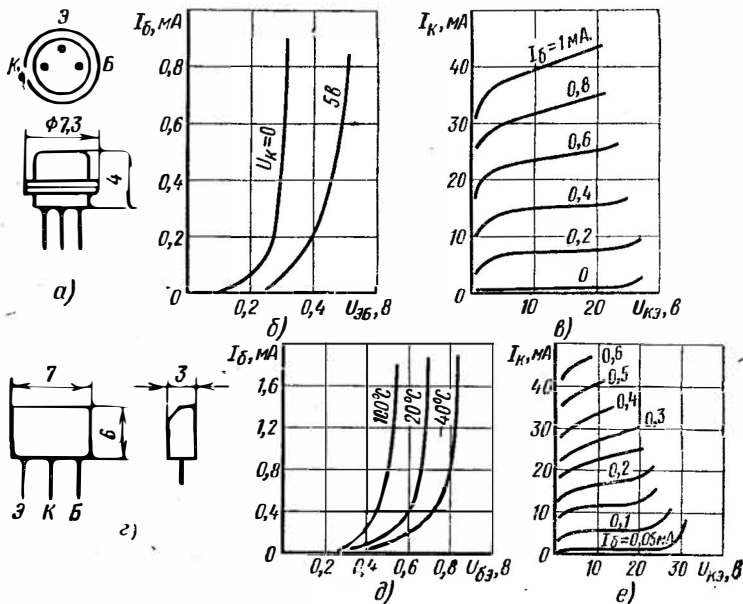


Рис. 65. Цоколевка (а, з), входные (б, д) и выходные (в, е) характеристики транзисторов КТ601 (КТ603, КТ604, КТ605, КТ608) и КТ602

Транзисторы *n-p-n* КТ602 (А, Б, В, Г) выпускаются в металлическом корпусе с гибкими выводами (рис. 65, з), массой 4,5 г, с диапазоном рабочих температур от -40 до $+85$ °С. Входные и выходные характеристики показаны на рис. 65, б, в, а основные параметры приведены ниже.

ГТ602А ГТ602Б ГТ602В ГТ602Г

Статический коэффициент передачи тока при $U_{к} = 10$ В, $I_{б} = 10$ мА	20—80	50	15—80	50
--	-------	----	-------	----

Продолжение

	ГТ602А	ГТ602Б	ГТ602В	ГТ602Г
Напряжение коллектора, В, при котором наступает переворот фазы базового тока при $I_a = 50$ мА	70	70	40	40
Напряжение $U_{кв}$, В, при $R_b \leq 1$ кОм и температуре перехода, °С:				
ниже 70	100	100	70	70
ниже 120	50	50	35	35
Емкость коллектора, пФ, при $U_{кб} = 50$ В и $f = 2$ МГц			4	
Емкость эмиттера, пФ, при $U_{об} = 0$, $f = 2$ МГц .			25	
Обратный ток эмиттера, мкА, при $U_{об} = 5$ В .			50	
Обратный ток коллектора, мкА, для групп А, Б при $U_{кб} = 120$ В, а для групп В, Г — 80 В			70	
Начальный ток коллектора, мкА, при $R_b = 10$ Ом и $U_{кв} = 100$ В для групп А и Б и $U_{кв} = 70$ В для групп В, Г .			100	
Напряжение $U_{кз}$ и $U_{об}$ в режиме насыщения, В, при $I_k = 50$ мА и $I_b = 5$ мА			3	
Постоянная времени цепи обратной связи, пс, при $I_k = 10$ В, $I_a = 10$ мА, $f = 2$ МГц			300	
Ток коллектора, мА			75	
Импульсный ток коллектора, мА			500	
Ток эмиттера, мА			80	
Модуль коэффициента передачи тока при $U_k = 10$ В, $I_a = 25$ мА, $f = 100$ МГц			1,5	
Напряжение $U_{об}$, В, при T_n от -40 до $+120$ °С			5	
Общее тепловое сопротивление, °С/Вт			150	
Температура перехода, °С			120	

Продолжение

ГТ602А ГТ602Б ГТ602В ГТ602Г

Мощность, рассеиваемая коллектором, Вт, при $T_K=20^\circ\text{C}$:

с теплоотводом 2,8
без теплоотвода 0,85

Мощность, рассеиваемая коллектором, Вт, при $T_K=85^\circ\text{C}$:

с теплоотводом 0,65
без теплоотвода 0,2

Транзисторы *n-p-n* КТ603 (А—Е) выпускаются в металлическом корпусе с гибкими выводами (см. рис. 65, а), массой 2 г, с диапазоном рабочих температур от -40 до $+85^\circ\text{C}$. Основные их параметры приведены ниже.

КТ603А КТ603Б КТ603В КТ603Г КТ603Д КТ603Е

Статический коэффициент передачи тока при $U_K=2$ В, $I_K=150$ мА . .

10—80 60 10—80 60 20—80 60—200

Модуль коэффициента передачи тока при $I_a=30$ мА, $U_K=10$ В и $f=100$ МГц . .

2 2 2 2 2 2

Емкость перехода, пФ, при $f=5$ МГц:

коллекторного при

$U_{кб}=10$ В .

15 15 15 15 15 15

эмиттерного при

$U_{эб}=0$. .

40 40 40 40 40 40

Обратный ток коллектора, мкА, при напряжении коллектор—база, указанном в скобках . . .

10 (30) 10 (30) 5 (15) 5 (15) 1 (10) 1 (10)

Напряжения $U_{кб}$ и $U_{эб}$, В, при $R_b \leq 1$ кОм и температуре среды, $^\circ\text{C}$:

от -40 до

$+70$

30 30 15 15 10 10

120

15 15 7,5 7,5 5 5

Обратный ток эмиттера, мкА	3
Постоянная времени цепи обратной связи, пс, при $U_k = 10$ В, $I_a = 30$ мА и $f = 2$ МГц	400
Напряжение, В, в режиме насыщения при $I_k = 150$ мА и $I_b = 15$ мА:	
$U_{кв}$	1
$U_{эб}$	1,5
Напряжение эмиттер — база, В	3
Время рас- сасывания, нс, при $I_k = 150$ мА и $I_b = 15$ мА	100
Ток коллек- тора, мА	300
Импульсный ток коллекто- ра, мА	600
Общее теп- ловое сопро- тивление, °С/Вт	200
Температура перехода, °С	120
Мощность, рассеиваемая коллектором, Вт, при $T_c \leq 50^\circ$ С	0,5

Транзисторы *n-p-n* КТ604 (А, Б) применяются для работы в схемах генераторов развертки и выходных каскадах усилителей и выпускаются в металлическом корпусе с гибкими выводами (см. рис. 65, а), массой 5 г, с диапазоном рабочих температур от -25 до $+100^\circ$ С. Основные их параметры приведены ниже.

Статический коэффициент передачи тока при $U_a = 200$ мА и $U_k = 40$ В для групп:

КТ604А	10—40
КТ604Б	30—120

Модуль коэффициента передачи тока при $U_k = 40$ В, $I_a = 20$ мА и $f = 20$ МГц 2

Продолжение

Ток коллектора, мА	200
Начальный ток коллектора, мкА, при $U_{кв} = 250$ В	50
Обратный ток эмиттера, мкА, при $U_{эб} = 5$ В	100
Емкость коллектора, пФ, при $U_{кб} = 40$ В и $f = 2$ МГц	7
Емкость эмиттера, пФ, при $U_{эб} = 0$ В и $f = 2$ МГц	50
Напряжение $U_{кв}$, В, при $R_б = 1$ кОм и температуре, °С:	
20	250
150	125
Напряжение $U_{кб}$, В, при температуре, °С:	
20	300
150	150
Напряжение $U_{кв}$ в режиме насыщения, В, при $I_к = 20$ мА, $I_б = 2$ мА	8
Напряжение $U_{эб}$, В, при температуре, °С:	
20	5
150	2,5
Мощность, рассеиваемая коллектором, Вт, при температуре перехода 20 °С:	
с теплоотводом	3
без теплоотвода	0,8
Общее тепловое сопротивление, °С/Вт	150
Тепловое сопротивление переход — корпус, °С/Вт	40
Температура перехода, °С	150

Транзисторы *n-p-n* КТ605 (А, В) применяют для работы в генераторах разверток устройств индикации, преобразователях напряжения, видеоусилителях и выходных каскадах усилителей и выпускают в металлокерамическом корпусе с гибкими выводами (см. рис. 65, а), массой 2 г, с диапазоном рабочих температур от -25 до $+100$ °С. Основные их параметры приведены ниже.

Статический коэффициент передачи тока при $I_в = 20$ мА и $U_к = 40$ В для групп:	
КТ605А	10—40
КТ605Б	30—120
Модуль коэффициента передачи тока при $f = 20$ МГц, $U_к = 40$ В и $I_в = 20$ мА	2
Начальный ток коллектора, мкА, при $U_{кв} = 250$ В	50
Импульсный ток коллектора, мА	200
Обратный ток эмиттера, мкА, при $U_{эб} = 5$ В	100
Емкость, пФ, при $f = 2$ МГц:	
коллектора при $U_{кб} = 40$ В	7
эмиттера при $U_{эб} = 0$ В	50

Напряжение $U_{кв}$, В, в режиме насыщения при $I_{к}=20$ мА, $I_{б}=2$ мА	8
Напряжение $U_{кв}$, В, при $R_{б}=1$ кОм и $T_{п}=-25 \div +100$ °С	250
Напряжение, В, при температуре перехода от -25 до $+100$ °С:	
коллектор — база	300
эмиттер — база	5
Мощность, мВт, рассеиваемая коллектором, при температуре, °С:	
20	400
100	170
Тепловое сопротивление, °С/Вт	300
Температура перехода, °С	150

Транзисторы *n-p-n* КТ608 (А, Б) выпускают в металлическом корпусе с гибкими выводами (см. рис. 65, а), массой 2 г, с диапазоном рабочих температур от -40 до $+85$ °С. Электрические параметры транзисторов приведены ниже.

Статический коэффициент передачи тока при $I_{э}=200$ мА, $U_{к}=50$ В и $T_{п}=25$ °С для групп:	
КТ608А	20—80
КТ608Б	40—160
Модуль коэффициента передачи тока при $f=100$ МГц и $U_{кв}=10$ В	2
Импульсный ток коллектора, мА, при скважности 10	800
Обратный ток, мкА:	
коллектора	10
эмиттера	10
Ток коллектора, мА	400
Емкость, пФ, при $f=2$ МГц:	
коллектора при $U_{кб}=10$ В	15
эмиттера при $U_{эб}=0$ В	50
Напряжение, В, в режиме насыщения при $I_{б}=80$ мА и $I_{к}=400$ мА:	
коллектор — эмиттер	1
эмиттер — база	2
Напряжение $U_{кб}$, В, при $T_{п} \leq 70$ °С	60
Напряжение $U_{кэ}$, В	60
Напряжение $U_{эб}$, В	4
Импульсные напряжения $U_{кб}$ и $U_{кэ}$, В	80
Мощность, мВт, рассеиваемая коллектором, при 20 °С	500
Время рассасывания, ис, при $I_{б}=15$ мА и $I_{к}=150$ мА	120
Температура корпуса, °С	85
Температура перехода, °С	120
Общее тепловое сопротивление, °С/Вт	200

Транзисторы *n-p-n* КТ611 (А — Г) применяют для работы в усилителях напряжения, генераторах импульсных сигналов, ключевых схемах и других радиотехнических устройствах и выпускают в металлическом корпусе с гибкими выводами (рис. 66, а), массой 5 г, с диапазоном рабочих температур от -25 до $+100^{\circ}\text{C}$. Электрические параметры транзисторов приведены ниже.

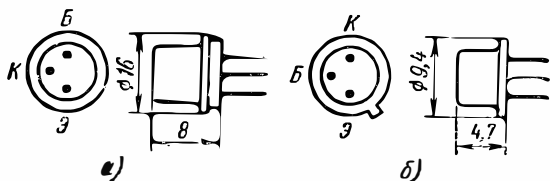


Рис. 66. Цоколевка и основные размеры транзисторов:

а — КТ611, б — КТ617 (КТ618)

	КТ611А	КТ611Б	КТ611В	КТ611Г
Статический коэффициент передачи тока при $U_K=40$ В и $I_E=20$ мА	10—40	30—120	10—40	30—120
Ток коллектора, мА	100	100	100	100
Начальный ток коллектора, мкА, при рабочем $U_{кэ}$	200	200	200	200
Напряжение $U_{кэ}$, В, при $R_E \leq 1$ кОм	180	180	150	150
Напряжение $U_{кб}$, В	200	200	180	180
Напряжение $U_{эб}$, В, в режиме насыщения при $I_E=2$ мА, $I_K=20$ мА			8	3
Напряжение $U_{эб}$, В			3	
Обратный ток эмиттера, мкА, при $U_{эб}=3$ В			100	
Емкость коллектора, пФ, при $U_{кб}=40$ В и $f=2$ МГц			5	
Граничная частота передачи тока, МГц			60	
Мощность, мВт, рассеиваемая коллектором:				
без теплоотвода*			0,8	
с теплоотводом**			3	
Постоянная времени цепи обратной связи, пс, при $U_K=20$ В и $f=2$ МГц			200	
Общее тепловое сопротивление, $^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$			150	
Тепловое сопротивление переход — корпус, $^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$			40	

Температура перехода,
°С 150

* При температуре окружающей среды $T_C = 25 \pm 100^\circ\text{C}$ мощность, Вт, $P_{K, \text{макс}} = (150 - T_C)/150$.

** При температуре корпуса $T_K = 25 \pm 100^\circ\text{C}$ мощность, Вт, $P_{K, \text{макс}} = (150 - T_K)/40$.

Транзисторы *n-p-n* КТ617А выпускают в металлическом корпусе с гибкими выводами (рис. 66, б), массой 0,84 г, с диапазоном рабочих температур от -40 до $+85^\circ\text{C}$. Электрические параметры транзисторов приведены ниже.

Статический коэффициент передачи тока при $U_K = 2$ В и $I_K = 400$ мА	30
Модуль коэффициента передачи тока при $f = 100$ МГц, $U_K = 10$ В и $I_B = 30$ мА	1,5
Постоянный ток коллектора, мА	400
Импульсный ток коллектора, мА, при скважности 10 и $\tau_{\text{имп}} \leq 80$ нс	600
Емкость, пФ, при $f = 2$ МГц:	
коллектора при $U_{KБ} = 10$ В	15
эмиттера при $U_{АБ} = 0$ В	50
Обратный ток, мкА:	
коллектора при $U_{KБ} = 30$ В	5
эмиттера при $U_{АБ} = 4$ В	15
Напряжение $U_{KБ}$, В, в режиме насыщения при $I_K = 15$ мА	0,7
Напряжение $U_{KБ}$, В	30
Напряжение $U_{KЭ}$, В	20
Напряжение $U_{АБ}$, В	4
Мощность, рассеиваемая коллектором, мВт, при температуре от -40 до $+25^\circ\text{C}$	500
Постоянная времени цепи обратной связи, пс, при $f = 5$ МГц, $U_K = 5$ В и $I_B = 5$ мА	120
Температура перехода, $^\circ\text{C}$	150
Тепловое сопротивление переход — окружающая среда, $^\circ\text{C}/\text{мВт}$	0,21

Транзисторы *n-p-n* КТ618А выпускают в металлическом герметичном корпусе с гибкими выводами (см. рис. 66, б), массой 0,84 г, с диапазоном рабочих температур от -40 до $+85^\circ\text{C}$. Электрические параметры транзисторов приведены ниже.

Статический коэффициент передачи тока при $U_K = 40$ В и $I_B = 1$ мА	30
Модуль коэффициента передачи тока при $f = 20$ МГц $U_K = 40$ В и $I_B = 20$ мА	2
Ток коллектора, мА	100
Начальный ток коллектора, мкА, при $U_{KЭ} = 250$ В	50

Емкость, пФ, при $f=2$ МГц:	
эмиттера при $U_{эб}=0$ В	50
коллектора при $U_{кб}=40$ В	7
Обратный ток эмиттера, мкА, при $U_{эб}=5$ В	100
Напряжение $U_{кб}$, В	300
Напряжение $U_{кэ}$, В	250
Напряжение $U_{эб}$, В	5
Мощность, мВт, рассеиваемая коллектором, при $T_c = -40 \div +25$ °С	500
Предельная частота передачи тока, МГц	40
Общее тепловое сопротивление, °С/мВт	0,2
Температура перехода, °С	150

§ 37. Транзисторы большой мощности

Низкочастотные. Транзисторы *p-n-p* ГТ703 (А—Д) применяют для работы в выходных каскадах УНЧ и выпускают в металлическом герметичном корпусе массой 15 г, с диапазоном рабочих температур от -40 до $+55$ °С. Электрические параметры транзисторов приведены ниже.

	ГТ703А	ГТ703Б	ГТ703В	ГТ703Г	ГТ703Д
Статический коэффициент передачи тока при $U_k=1$ В, $I_k=50$ мА	30—70	50—100	30—70	50—100	20—45
Ток коллектора, А, в диапазоне рабочей температуры			3,5		
Обратный ток эмиттера, мкА, при $U_{эб}=10$ В			50		
Предельная частота передачи тока, кГц, в схеме с ОЭ при $U_k=2$ В и $I_k=0,5$ А			10		
Обратный ток коллектора*, мкА			500		
Напряжение $U_{кэ}$, В, при $R_б=50$ Ом и $T_k=55$ °С	20	20	30	30	40
Напряжение $U_{кэ}$, В, в режиме насыщения при $I_k=3$ А			0,6		
Напряжение $U_{эб}$, В, в режиме насыщения** при $I_k=3$ А			1		

	ГТ703А	ГТ703Б	ГТ703В	ГТ703Г	ГТ703Д
Мощность, рас- сеиваемая кол- лектором, Вт:					
с теплоотво- дом*** при			15		
$T_{\text{к}} \leq 40^\circ\text{C}$. . .					
без теплоот- вода			1,6		
Тепловое со- противление пере- ход — корпус, $^\circ\text{C}/\text{Вт}$			3		
Температура пе- рехода, $^\circ\text{C}$			85		

* При напряжении коллектор — база, В, для групп ГТ703: 20 (А, Б), 30 (В, Г, Д).

** При токе базы, мА, для групп ГТ703: 150 (А, Б), 90 (Б, Г) и 225 (Д).

*** При температуре корпуса выше 40°C мощность, Вт, $P_{\text{к. макс}} = (85 - T_{\text{с}}) / 3$.

Транзисторы *n-p-n* КТ704 (А, Б, В) применяют для работы в схемах строчной развертки цветных телевизоров и выпускают в металлическом корпусе с монтажным винтом и жесткими выводами (рис. 67), массой 15,5 г. Электрические параметры приведены ниже.

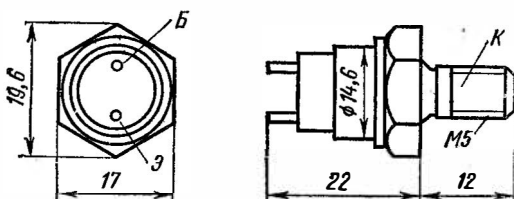


Рис. 67. Цоколевка и основные размеры транзистора КТ704

	ГТ704А	ГТ704Б	ГТ704В
Статический коэффициент передачи тока при $U_{\text{к}} =$ $= 15 \text{ В}$ и $I_{\text{а}} = 1 \text{ А}$	15	15	15
Модуль коэффициента пе- редачи тока при $f = 1 \text{ МГц}$ $U_{\text{к}} = 10 \text{ В}$ и $I_{\text{к}} = 0,1 \text{ А}$	3	3	3
Ток коллектора, А:			
постоянный при $T_{\text{к}} =$ $= +50^\circ\text{C}$		2,5	
импульсный		4	

	ГТ704А	ГТ704Б	ГТ704В
Начальный ток коллектора, мА		5	
Обратный ток эмиттера, мА, при $U_{эб}=4$ В		100	
Импульсное напряжение $U_{кз}$, В, при $R_б \leq 10$ Ом, $\tau_{мин}=10$ мс и $Q \leq 50$	1000	700	500
Напряжение, В, в режим насыщения при $I_к=2$ А и $I_б=1,5$ А:			
база — эмиттер		3	
коллектор — эмиттер		5	
Постоянное напряжение $U_{кз}$, В		200	
Напряжение $U_{эб}$, В		4	
Ток базы, А		2	
Мощность, рассеиваемая коллектором, Вт, при $T_к = +50$ °С		15	
Граничная частота передачи тока, МГц		3	
Тепловое сопротивление переход — корпус, °С/Вт		5	
Температура корпуса, °С		100	
Температура перехода, °С		125	

Среднечастотные. Транзисторы *n-p-n* КТ805 (А, Б) применяют для работы в выходных каскадах строчной развертки телевизоров, схемах зажигания автотракторных двигателей и выпускают в металлическом корпусе с жесткими выводами (рис. 68, а), массой 25 г (без накидного фланца) и 10 г, с диапазоном рабочих температур от -55 до $+100$ °С. Электрические параметры транзисторов приведены ниже.

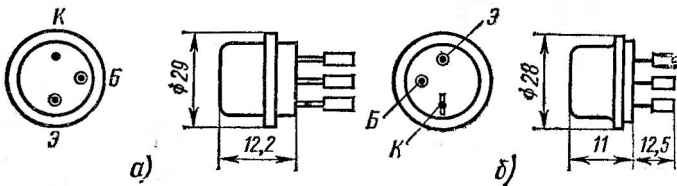


Рис. 68. Цоколевка и основные размеры транзисторов:
а — КТ805, б — ГТ806 (КТ808, КТ809)

КТ805А КТ805Б

Статический коэффициент передачи тока при $U_к=10$ В и $I_к=2$ А при $+20$ и -55 °С соответственно

15 и 5

Продолжение

	КТ805А	КТ805Б
Модуль коэффициента передачи тока при $U_{к}=10$ В, $I_{к}=1$ А и $f=10$ МГц	2	
Ток коллектора, А	5	
Импульсный ток коллектора, А, при $\tau_{имп} \leq 200$ мкс и скважности 1,5	8	
Импульсный начальный ток коллектора, мА, при $R_{б}=10$ Ом при 20 и 100 °С соответственно	60 и 70	
Обратный ток коллектора, мкА, при $U_{кб}=5$ В	100	
Ток базы, А	2	
Импульсный ток базы, А, при $\tau_{имп} \leq 20$ мкс	2,5	
Напряжения насыщения $U_{бэ}$ и $U_{кэ}$, В, при $I_{к}=5$ А и $I_{б}=0,5$ А	2,5	5
Импульсное напряжение $U_{кэ}^*$, В, при $\tau_{имп} \leq 500$ мкс с фронтом нарастания $\tau_{фн} \leq 15$ мкс, $R_{б}=10$ Ом и $T_{п} \leq 100$ °С	160	135
Напряжение $U_{бэ}$, В		5
Мощность **, Вт, рассеиваемая коллектором, при $T_{к} \leq 50$ °С		30
Температура перехода, °С		150

* В схеме строчной развертки телевизора для КТ805А импульсное напряжение $U_{кэ}$ допускается 180 В при $\tau_{имп} \leq 15$ мкс и $T_{к} \leq 70$ °С. В диапазоне температур от 100 до 150 °С $U_{кэ}$ снижается на 10 % на каждые 10 °С от значения $U_{кэ}$ при 100 °С.

** В диапазоне температур от 50 до 100 °С мощность, Вт, $P_{к, макс} = (150 - T_{к} / 3,3)$.

Транзисторы p-n-p ГТ806 (А — Д) выпускают в металлическом корпусе с жесткими выводами (рис. 68, б), массой 28 г, с диапазоном рабочих температур от -55 до +55 °С. Электрические параметры приведены ниже.

	ГТ806А	ГТ806Б	ГТ806В	ГТ806Г	ГТ806Д
Статический коэффициент передачи тока при $I_{к}=10$ А	10—100	10—100	10—100	10—100	10—100
Напряжение $U_{кэ}$, В	75	100	120	50	140
Напряжение $U_{кэ}$, В, запятого транзистора при $U_{бэ}=1$ В	75	100	120	50	140

	ГТ806А	ГТ806Б	ГТ806В	ГТ806Г	ГТ806Д
Напряжение, В, в режиме насыщения при $I_k = 15$ А, $I_b = 2$ А:					
коллектор — эмиттер . . .			0,6		
база — эмиттер			1		
Напряжение $U_{эб}$, В			1,5		
Ток коллектора в режиме насыщения, А			15		
Ток коллектора запертого транзистора, мА, при $U_{бэ} = 1$ В и предельно допустимых напряжениях $U_{кэ}$			15		
Ток базы, А			3		
Обратный ток эмиттера, мА, при $U_{эб} = 1,5$ В			8		
Предельная частота передачи тока, МГц, при $U_k = 5$ В, $I_k = 1$ А			10		
Тепловое сопротивление переход — корпус, °С/Вт			2		
Мощность, Вт, рассеиваемая коллектором, при температуре корпуса, °С:					
30			30		
55			15		
Температура перехода, °С			85		
Время переключения, мкс			5		

Транзистор *n-p-n* КТ808А выпускают в металлическом корпусе с жесткими выводами (см. рис. 68, б), массой 22 г, с диапазоном рабочих температур от -60 до $+100$ °С. Электрические параметры приведены ниже.

Статический коэффициент передачи тока при $U_K=3$ В и $I_K=6$ А	10—50
Модуль коэффициента передачи тока при $f=3,5$ МГц, $U_K=10$ В и $I_B=0,5$ А	2
Ток коллектора, А	10
Начальный ток коллектора, мА, при $U_{кз}=120$ В	3
Обратный ток эмиттера, мА, при $U_{эб}=10$ В и $I_B=0,5$ А	50
Ток базы, А	4
Емкость коллектора, пФ, при $f=1$ МГц и $U_{кз}=100$ В	500
Напряжение $U_{эб}$, В, в режиме насыщения при $I_K=6$ А и $I_B=0,6$ А	2,5
Напряжение $U_{кз}$, В, при $R_B=10$ Ом	120
Импульсное напряжение $U_{кз}$, В, при $\tau_{имп}=500$ мкс, скважности 1,5 и $T_H \leq 10^\circ\text{C}$	250
Напряжение $U_{эб}$, В	4
Тепловое сопротивление переход — корпус, $^\circ\text{C}/\text{Вт}$	2
Мощность, * рассеиваемая коллектором, Вт, при температуре корпуса ниже 50°C :	
с теплоотводом	50
без теплоотвода	5
Температура перехода, $^\circ\text{C}$	150

* При температуре корпуса более 50°C мощность, Вт, $P_{к.макс} = (150 - T_K)/2$.

Транзисторы *n-p-n* КТ809А используют для работы в выходных каскадах строчной развертки, усилителях импульсных сигналов и других радиоэлектронных устройствах, их выпускают в металлическом корпусе с жесткими выводами (см. рис. 68, б), массой 22 г, с диапазоном рабочих температур от -60 до $+125^\circ\text{C}$. Электрические параметры приведены ниже.

Статический коэффициент передачи тока при $U_K=5$ В и $I_K=2$ А	15—100
Модуль коэффициента передачи тока при $f=3,5$ МГц, $I_K=0,5$ А	1,5
Ток коллектора, А, в рабочем диапазоне температуры	3
Импульсный ток коллектора, А, при $\tau_{имп} \leq 400$ мкс	5
Начальный ток коллектора, мА, при $U_{кз}=400$ В	6
Обратный ток эмиттера, мА, при $U_{эб}=4$ В	50
Ток базы, А	1,5
Напряжение, В, в режиме насыщения при $I_K=2$ А и $I_B=0,4$ А:	
коллектор — эмиттер	1,5
база — эмиттер	2,3
Напряжение $U_{кз}$, В, при $R_B \leq 100$ Ом и температуре от -60 до $+100^\circ\text{C}$	400
Напряжение $U_{эб}$, В, в диапазоне рабочих температур	4
Граничная частота коэффициента передачи тока, МГц	5,5

Мощность *, Вт, рассеиваемая коллектором, с
 теплоотводом при $T_{\text{к}} = -60 \div +50 \text{ }^\circ\text{C}$ 40
 Температура перехода, $^\circ\text{C}$ 150

* При температуре корпуса выше $50 \text{ }^\circ\text{C}$ мощность, Вт, $P_{\text{к.макс}} = (150 - T_{\text{к}})/2,5$.

Высоко- и сверхвысокочастотные. Транзисторы *p-n-p* ГТ905 (А, Б) выпускают в металлопластмассовом или металлоглазном корпусе (рис. 69, а), массой соответственно 7 и 4,5 г (с крепежным фланцем 6 г), с диапазоном рабочих температур от -55 до $+60 \text{ }^\circ\text{C}$, Электрические параметры транзисторов приведены ниже.

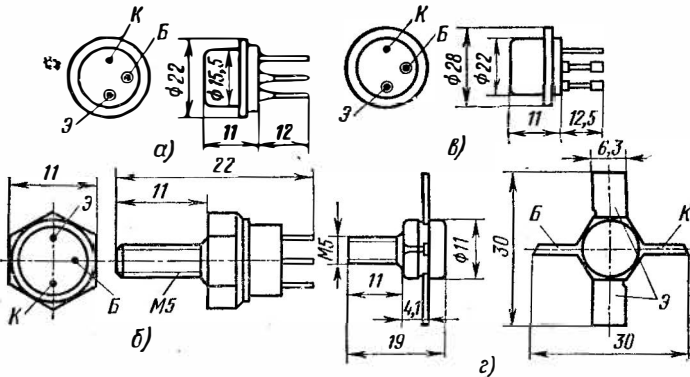


Рис. 69. Цоколевка и основные размеры транзисторов: а — ГТ905, б — КТ907, в — КТ908, г — КТ911

Статический коэффициент передачи тока при $U_{\text{к}}=10 \text{ В}$ и $I_{\text{к}}=5 \text{ А}$	35—100
Модуль коэффициента передачи тока для ГТ905Б при $U_{\text{к}}=10 \text{ В}$, $I_{\text{э}}=0,5 \text{ А}$ и $f=20 \text{ МГц}$	3
Постоянная времени цепи обратной связи, пс, при $U_{\text{кб}}=30 \text{ В}$, $I_{\text{э}}=0,03 \text{ А}$ и $f=10 \text{ МГц}$	300
Ток коллектора, А:	
постоянный	3
импульсный при $\tau_{\text{имп}}=20 \text{ мкс}$	7
Ток базы, А:	
постоянный	0,6
импульсный	1
Обратный ток, мА:	
коллектора	2
эмиттера при $U_{\text{кб}}=0,4 \text{ В}$	5
Емкость коллектора, пФ, при $U_{\text{кб}}=30 \text{ В}$ и $f=10 \text{ МГц}$	200

Напряжение, В, в режиме насыщения при $I_k = 3$ А и $I_b = 0,5$ А:	
база — эмиттер	0,7
коллектор — эмиттер	0,5
Напряжение $U_{кв}$, В, при разомкнутой цепи базы и $I_b = 3$ А	65
Напряжение $U_{кв}$, В, для транзисторов:	
ГТ905А	75
ГТ905Б	60
Напряжение $U_{кв}$, В, на запортом транзисторе для ГТ905А при $\tau_{имп} = 20$ мкс	130
Общее тепловое сопротивление, °С/Вт	50
Мощность, Вт, рассеиваемая коллектором:	
с теплоотводом при $T_k = -55 \div +30$ °С	6
без теплоотвода при $T_k = -55 \div +25$ °С	1,8
Температура перехода, °С	85

Транзисторы *n-p-n* КТ907 (А, Б) выпускают в металлокерамическом корпусе с винтом и жесткими выводами (рис. 69, б), массой 5,3 г, с диапазоном рабочих температур от -40 до $+85$ °С. Электрические параметры приведены в табл. 125.

Таблица 125

Параметры	Типы транзисторов	
	ГТ907А	ГТ907Б
Модуль коэффициента передачи тока при $U_{кв} = 28$ В, $I_k = 400$ мА и $f = 100$ МГц	3,5	3
Постоянная времени цепи обратной связи, нс, при $U_k = 10$ В	15	25
Критический ток коллектора, мА, при $U_{кв} = 10$ В и $f = 100$ МГц	1000	800
Выходная мощность, Вт, при $P_{вх} = 4$ Вт, $U_{кв} = 28$ В и $f = 400$ МГц	9	7
Емкость коллектора, пФ, при $U_{кв} = 30$ В	20	20

Начальный ток коллектора, мА, при $U_{кв} = 60$ В, $R_b = 100$ Ом и температуре среды 20 и 85 °С соответственно 3 и 6

Ток коллектора, А:

постоянный	1
импульсный	3

Обратный ток эмиттера, мкА, при $U_{бэ} = 4$ В и температуре среды 20 и 85 °С соответственно . 350 и 700

Ток базы, А	0,4
Напряжение $U_{к}$, В; при котором наступает пе- реворот фазы базового тока, при $I_{э}=200$ мА	40
Напряжение $U_{кв}$, В, при $R_{б}=100$ Ом	60
Напряжение $U_{эб}$, В	4
Импульсное напряжение $U_{кв}$, В	70
Мощность*, Вт, рассеиваемая коллектором, при $T_{к}=25^{\circ}\text{C}$	13,5
Коэффициент полезного действия при $E_{к}=28$ В и $f=400$ МГц, %	45
Температура корпуса, $^{\circ}\text{C}$	85
Температура перехода, $^{\circ}\text{C}$	120

* При температуре корпуса от 25 до 85 $^{\circ}\text{C}$ мощность, Вт, $P_{к, \text{макс}} = (120 - T_{к})/7,5$.

Транзисторы *n-p-n* КТ908 (А, Б) выпускают в металлическом корпусе с жесткими выводами (рис. 69, в), массой 22 г, с диапазоном рабочих температур от -60 до $+125^{\circ}\text{C}$. Электрические параметры транзисторов приведены ниже.

Статический коэффициент передачи тока при $U_{к} = 2$ В и $I_{к} = 10$ А	8—60
Начальный ток коллектора, мА, при $U_{кв} = 100$ В	25
Ток коллектора, А	10
Обратный ток эмиттера, мА, при $U_{эб} = 5$ В	50
Ток базы, А	5
Напряжение $U_{кв}$, В, в режиме насыщения при $I_{к} = 10$ А и $I_{б} = 2$ А	1,5
Напряжение $U_{кв}$, В, при $T_{с} = -60 \div 100^{\circ}\text{C}$ для групп:	
КТ908А при $R_{б} \leq 10$ Ом	100
КТ908Б при $R_{б} \leq 250$ Ом	60
Напряжение $U_{эб}$, В	5
Граничная частота передачи тока, МГц	30
Мощность*, Вт, рассеиваемая коллектором, при $T_{к} \leq 50^{\circ}\text{C}$	50
Температура перехода, $^{\circ}\text{C}$	150

* При температуре корпуса выше 50 $^{\circ}\text{C}$ мощность, Вт, $P_{к, \text{макс}} = (150 - T_{к})/2$.

Транзисторы *n-p-n* КТ911 (А—Г) выпускают в металлическом корпусе с плоскими выводами и монтажным винтом (рис. 69, г), массой 6 г, с диапазоном рабочих температур от -40 до $+85^{\circ}\text{C}$. Электрические параметры приведены в табл. 126.

Таблица 126

Параметры	Типы транзисторов			
	КТ911А	КТ911Б	КТ911В	КТ911Г
Модуль коэффициента передачи тока при $f=400$ МГц, $U_{к}=10$ В и $I_{к}=100$ мА	1,5—5,2	2—3,8	2,5—5,2	2—3,8

Параметры	Типы транзисторов			
	КТ911А	КТ911Б	КТ911В	КТ911Г
Постоянная времени цепи обратной связи, пс, при $f=5$ МГц, $U_K=10$ В и $I_K=30$ мА	25	25	50	100
Критический ток коллектора, мА, при $f=400$ МГц и $U_{кз}=10$ В	170	150	160	140
Выходная мощность, Вт, при $U_K=28$ В и $P_{вх}=0,4$ Вт на частоте, ГГц: 1,8 1	1	—	0,8	—
Ток коллектора, мА	400	400	400	400
Обратный ток коллектора, мкА: при $U_{кз}=55$ В при $U_{кз}=40$ В	5	5	—	—
Обратный ток эмиттера, мкА, при $U_{эб}=3$ В	2	2	2	2
Емкость коллектора, пФ, при $f=5$ МГц и $U_{кз}=28$ В	3,5—10	3,5—10	3,5—10	3,5—10
Напряжение $U_{кз}$, В, при $R_Б=100$ Ом	40	40	30	30
Напряжение $U_{кз}$, В	55	55	40	40
Напряжение $U_{эб}$, В	3	3	3	3
Мощность *, Вт, рассеиваемая коллектором при $T_K=$ $=-40 \div +25$ °С	3	3	3	3
Температура корпуса, °С	85	85	85	85
Температура перехода, °С	120	120	120	120

* При температуре корпуса 25—85° С мощность, Вт, $P_{к.макс} = (120 - T_K) / 33$

§ 38. Полевые транзисторы

В полевых или униполярных транзисторах ток переносится носителями лишь одного знака — электронами или дырками — основными для данного полупроводника. Различают полевые транзисторы с управляющим *p-n*-переходом и транзисторы с изолированным затвором с встроенным или индуцированным каналом.

Полевой транзистор с управляющим *p-n*-переходом (рис. 70) представляет собой кристалл полупроводника ПК электронной проводимости (*n*-типа) с двумя внешними токоотводами — *исток* и

и стоком C , через которые проходит ток, создаваемый основными носителями заряда. Между внешними токоотводами подключены нагрузка R_H и источник постоянного напряжения E_c . Токоотвод I , через который в кристалл входят основные носители заряда, называют истоком, а токоотвод C , через который заряды выходят во внешнюю цепь, — стоком.

В основном кристалле полупроводника создана область противоположного типа проводимости — дырочной (p -типа), которая выполняет функции управляющего электрода и называется затвором $З$. Между затвором и основным кристаллом возникает p - n -переход, а в самом кристалле создается узкий канал K (n -типа) для движения основных носителей заряда — электронов. Сечение канала зависит от напряжения на затворе. Обычно к затвору подводится постоянное обратное напряжение смещения E_3 (минус подключен к p , а плюс — к n -области). Между затвором и истоком подключают источник переменного напряжения сигнала $U_{cm} \sin \omega t$, которое требуется усилить.

При отсутствии сигнала на входе основные носители заряда — электроны под действием ускоряющего поля дрейфуют в канале от истока к стоку, создавая ток в кристалле. Этот ток определяется напряжением стока и сопротивлением канала, зависящим от его сечения.

Если одновременно с напряжением смещения E_3 в цепь затвора подается переменное напряжение сигнала, результирующий потенциал на p - n -переходе изменяется $U_a = -E_3 + U_{cm} \sin \omega t$. При этом будет изменяться ширина p - n -перехода, что вызовет изменение сечения канала, а следовательно, и его проводимости. В результате напряжение сигнала модулирует сечение канала, управляя током в канале и нагрузке. Таким образом, в полевых транзисторах с управляющим p - n -переходом под действием поля внешнего источника изменяется сечение токопроводящего канала.

Транзисторы МДП с изолированным затвором (со структурой металл — диэлектрик — полупроводник) и МОП (со структурой металл — оксид — полупроводник) имеют один или несколько затворов, электрически изолированных от токопроводящего канала, который может быть встроенным или индуцированным. В приборах со встроенным каналом K (рис. 71) основой служит пластинка слаболегированного кремния p -типа проводимости. Области стока C и истока I , обладающие проводимостью n^+ -типа, соединены встроенным каналом — узкой слаболегированной областью кремния проводимостью n -типа. Затвор $З$ представляет собой металлический слой, изолированный от канала тонким диэлектриком.

При подаче на затвор переменного напряжения сигнала происходит изменение проводимости канала и проходящего через него тока. Так, при отрицательном напряжении на затворе электроны

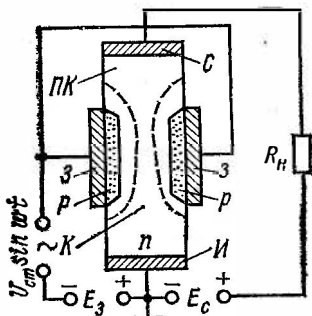


Рис. 70. Схема включения полевого транзистора

вытесняются из области канала в объем полупроводника p -типа. Канал обедняется носителями заряда и его проводимость уменьшается. При подаче на затвор положительного напряжения происходит обогащение канала электронами и его проводимость возрастает. Полевой транзистор с изолированным затвором в отличие от полевого транзистора с управляющим p - n -переходом может работать с нулевым, отрицательным или положительным смещением. Другим важным преимуществом полевых транзисторов с изолиро-

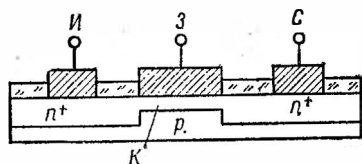


Рис. 71. Структура полевого МОП-транзистора с встроенным каналом

ванным затвором является большое (до 100 ГОм) входное сопротивление, которое определяется изолирующей прослойкой между затвором и истоком. Кроме параметров режима, присущих биполярным транзисторам, полевые транзисторы характеризуются также следующим рядом параметров постоянного тока.

Ток утечки затвора $I_{з.ут}$ — ток в цепи затвора при заданном напряжении. Полевые транзисторы с управляющим p - n -переходом обычно имеют ток $I_{з.ут}$, равный нескольким наноамперам, а с изолированным затвором — нескольким пикоамперам. Ток утечки затвора является неуправляемым током, который растет с увеличением температуры. Чем меньше этот ток, тем лучше качество транзистора.

Начальный ток стока $I_{с.нач}$ — ток в цепи стока при заданном напряжении на стоке и напряжении на затворе, равном нулю.

Напряжение отсечки $U_{зв.отс}$ — напряжение на затворе, при котором ток в цепи стока достигает заданного низкого значения (транзистор закрывается). В полевых транзисторах с индуцированным каналом ток в цепи стока появляется лишь при образовании канала при некотором пороговом напряжении на затворе $U_{пор}$.

Параметрами режима малого сигнала являются следующие.

Статическая крутизна S характеристики прямой передачи тока, определяемая как отношение изменения тока в цепи стока к вызвавшему его изменению напряжения на затворе $S = \Delta I_c / \Delta U_z$ при $U_c = \text{const}$.

Обычно $S = 0,5 \div 5$ мА/В.

Статический коэффициент усиления по напряжению $\mu = \Delta U_c / \Delta U_z \approx 25 \div 100$.

Выходное сопротивление $R_{вых} = \Delta U_c / \Delta I_c$ при $U_z = \text{const}$, которое достигает десятков или сотен килоомов.

Входное сопротивление $R_{вх} = \Delta U_z / \Delta I_z$ при $U_c = \text{const}$, которое достигает нескольких мегаомов и является преимуществом полевых транзисторов перед биполярными. В основном входное сопротивление определяется сопротивлением p - n -перехода, находящегося под постоянным обратным напряжением, при котором очень мал обратный ток затвора.

Входная емкость $C_{зв}$ и проходная $C_{сз}$ емкость — емкости между затвором и истоком и стоком и затвором (обычно несколько пикофа-

рад). Проходная емкость представляет собой часть барьерной емкости p - n -перехода (затвора).

Частотными параметрами полевых транзисторов является *граничная частота* f_r — частота, при которой коэффициент усиления по мощности усилительного каскада превышает единицу и определяется крутизной и выходной емкостью транзистора $f_r \approx S/2\pi C_{\text{эк}}$.

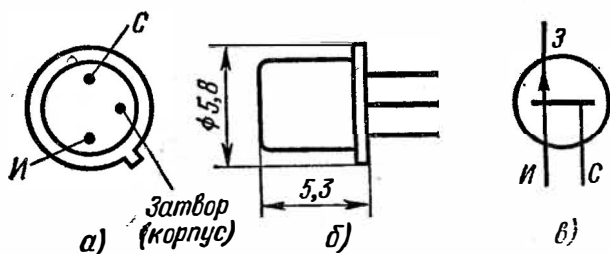


Рис. 72. Цоколевка (а), габаритные размеры (б) и условное изображение (в) полевого транзистора КПи03

Кремниевые полевые транзисторы КПи03 (Е, Ж, И, К, Л, М) имеют p - n -переход и канал p -типа и выпускаются в металлическом или пластмассовом корпусе (рис. 72, а—в) массой 1 г, с диапазоном рабочих температур от -55 до $+85$ °С. Электрические параметры транзисторов приведены в табл. 127.

Таблица 127

Параметры	Типы транзисторов					
	КПи03Е	КПи03Ж	КПи03И	КПи03К	КПи03Л	КПи03М
Ток стока, мА, при $U_{\text{си}} = 10$ В и $U_{\text{зи}} = 0$ В	0,3—2,5	0,3—3,8	0,4—4	1—5,5	2,7—10,5	3—12
Крутизна характеристики тока стока, мА/В	0,4—2,4	0,5—2,8	0,6—2,9	1—3	1,2—4,2	1,3—4,4
Напряжение отсечки, В, при $U_{\text{си}} = 10$ В, $I_{\text{с}} = 10$ мкА и $U_{\text{зи}} = 0$ В	0,4—1,5	0,5—2,2	0,8—3	1,4—4	2—6	2,8—7
Суммарное напряжение $U_{\text{сз}}$, В	15	15	15	15	17	17

Напряжение $U_{си}^*$, В	10
Ток затвора, нА, при $U_{зи}=10$ В и $U_{си}=0$ В	20
Коэффициент шума, дБ, при $U_{зи}=0$ В, $U_{си}=5$ В и $f=1$ кГц	3
Емкость, пФ, при $U_{си}=10$ В и $U_{зи}=0$ В:	
входная	20
проходная	8
Мощность рассеивания, мВт	120

* Напряжение стока — отрицательное относительно истока, на затворе — положительное.

Кремниевые полевые транзисторы КП301Б представляют собой МОП-структуры с изолированным затвором З и индуцированным каналом p -типа и выпускаются в металлическом корпусе с гибкими выводами (рис. 73, а), с диапазоном рабочих температур от -40

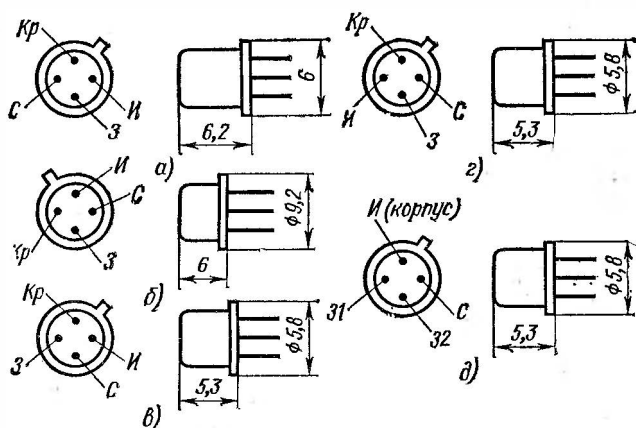


Рис. 73. Цоколевка и основные размеры кремниевых полевых транзисторов:

а — КП301Б, б — КП302, в — КП303, г — КП305, д — КП306 (КП350)

до $+70^\circ\text{C}$. Напряжение на стоке отрицательное относительно истока и подложки, на затворе — также отрицательное. Электрические параметры транзисторов приведены ниже.

Ток стока, мА	15
Начальный ток стока*, мкА	0,5
Крутизна характеристики*, мА/В, при $I_c=5$ мА и $f=50-1500$ Гц	1
Ток затвора, нА, при $U_{си}=0$ В и $U_{зи}=30$ В	0,3
Напряжение $U_{зи}$, В	30
Напряжение $U_{си}$, В	20
Проходная емкость**, пФ, при $f=10$ МГц	1

Входная и выходная емкости **, пФ, при $f = 10$ МГц	3,5
Коэффициент шума **, дБ, при $f = 100$ МГц, $R_T = 1$ кОм	9,5
Мощность *** рассеивания, мВт, при $T_c = 20^\circ\text{C}$	200
Ток порога *, мкА, при $U_{зи} = 6,5$ В	10
Пороговое напряжение *, В, при $I_c = 0,3$ мА	4,2
Коэффициент усиления по мощности **, дБ, при $f = 100$ МГц и $R_T = 1$ кОм	15

* При $U_{си} = 15$ В.

** При $U_{си} = 15$ В и $I_c = 5$ мА.

*** При температуре среды $20-55^\circ\text{C}$ мощность, мВт, $P_{\text{макс}} = 200-1,5(T_c - 20)$.

Кремниевые полевые транзисторы КП302 (А, Б, В) с $p-n$ -переходом и каналом n -типа выпускаются в металлическом корпусе с гибкими выводами (рис. 73, б), массой 1,5 г, с диапазоном рабочих температур от -70 до $+100^\circ\text{C}$. Напряжение на стоке положительное относительно истока, а на затворе — отрицательное. Электрические параметры приведены в табл. 128.

Таблица 128

Параметры	Типы транзисторов		
	КП302А	КП302Б	КП302В
Ток стока *, мА, при $U_{си} = 7$ В и $U_{зи} = 0$ В	3—24	18—43	33
Крутизна характеристики, мА/В, при $U_{си} = 7$ В, $U_{зи} = 0$ В и $f = 50 \div 1500$ Гц	5	7	—
Напряжение отсечки, В, при $U_{си} = 7$ В и $I_c = 10$ мкА	5	7	10
Ток затвора, мА, при $U_{зи} = 10$ В	10	10	10
Напряжение $U_{зи}$, В	10	10	12
Спротивление канала, Ом, при $U_{си} = 0,2$ В и $U_{зи} = 0$ В	—	150	100
Напряжение $U_{си}$, В			20
Напряжение $U_{сз}$, В			20
Емкость **, пФ, при $U_{си} = 10$ В и $f = 10$ МГц:			
проходная			8
входная			20
Ток затвора при прямом смещении, мА			6
Обратный ток перехода сток — затвор, мкА, при $U_{сз} = 20$ В			1
Мощность рассеивания ***, мВт, при $T_c = 20^\circ\text{C}$			300

* Для КП302В напряжение $U_{си} = 10$ В.

** При $I_c = 3; 18; 33$ мА соответственно для групп А, Б, В.

*** При температуре среды $20-100^\circ\text{C}$ мощность, мВт, $P_{\text{макс}} = 300-2(T_c - 20)$.

Кремниевые полевые транзисторы КП303 (А—И) выпускают с *p-n*-переходом и каналом *n*-типа в металлическом корпусе с гибкими выводами (рис. 73, в), массой 0,5 г, с диапазоном рабочих температур от -40 до $+85$ °С. Напряжение на стоке положительное относительно истока, на затворе — отрицательное. Электрические параметры транзисторов приведены в табл. 129.

Таблица 129

Параметры	Типы транзисторов			
	КП303А	КП303Б	КП303В	КП303Г
Ток стока, мА, при $U_{си} = 10$ В и $U_{зи} = 0$ В	0,5—2,5	0,5—2,5	1,5—5	3—12
Крутизна характеристики, мА/В, при $U_{си} = 10$ В, $U_{зи} = 0$ В и $f = 50 \div 1500$ Гц	1—4	1—4	2—5	3—7
Напряжение отсечки, В, при $U_{си} = 10$ В и $I_c = 10$ мкА	0,5—3	0,5—3	1—4	До 8
Ток затвора, нА, при $U_{зи} = 10$ В и $U_{си} = 0$ В	1	1	1	0,1

Продолжение

Параметры	Типы транзисторов			
	КП303Д	КП303Е	КП303Ж	КП303И
Ток стока, мА при $U_{си} = 10$ В и $U_{зи} = 0$ В	3—9	5—20	0,3—3	1,5—5
Крутизна характеристики, мА/В, при $U_{си} = 10$ В, $U_{зи} = 0$ В и $f = 50 \div 1500$ Гц	2,6	4	1—4	2—6
Напряжение отсечки, В, при $U_{си} = 10$ В и $I_c = 10$ мкА	До 8	До 8	0,3—3	0,5—2
Ток затвора, нА, при $U_{зи} = 10$ В и $U_{си} = 0$ В	1	1	5	5
Напряжение $U_{зи}$, В				30
Напряжение $U_{си}$, В				25
Напряжение $U_{сз}$, В				30
Емкость, пФ:				
входная				6
проходная				2
Ток стока, мА				20
Мощность * рассеивания, мВт, при температуре среды, °С:				
от -40 до $+25$				200
85				100

* При температуре среды от 25 до 85 °С мощность, мВт, $P_{\max} = -200 - 1,6(T_c - 25)$.

Кремниевые полевые транзисторы КП305 (А, Е, Ж, И), имеющие МОП-структуру с изолированным затвором и встроенным каналом

n-типа, выпускают в металлическом корпусе с гибкими выводами (рис. 73, г), массой 1 г, с диапазоном рабочих температур от -60 до $+125$ °С. Напряжение на стоке положительное относительно истока, на затворе — отрицательное. Электрические параметры транзисторов приведены в табл. 130.

Таблица 130

Параметры	Типы транзисторов			
	КП305Д	КП305Е	КП305Ж	КП305И
Ток стока, мА	15	15	15	15
Крутизна характеристики, мА/В, при $U_{си}=10$ В, $I_c=5$ мА и $f=1000$ Гц	5,2—10,5	4—8	5,2—10,5	4—10
Напряжение $U_{зи}$, В, при $U_{си}=10$ В и $I_c=5$ мА	0,2—2	От $-0,5$ до $+0,5$	От $-0,5$ до $+0,5$	От $-2,5$ до $-0,2$
Ток затвора, нА, при $U_{си}=0$ В, $U_{зи}=15$ В	1	0,005	1	1
Коэффициент шума при $U_{си}=15$ В, $I_c=5$ мА, $f=250$ МГц и усилении по мощности более 13 дБ	7,5	—	7,5	—
Напряжение отсечки, В, при $U_{си}=10$ В и $I_c=10$ мкА				6
Напряжение $U_{си}$, В				15
Напряжение $U_{зи}$, В				± 15
Напряжение $U_{сз}$, В				± 15
Напряжение сток — подложка				15
Емкость, пФ, при $U_{си}=10$ В, $I_c=5$ мА и $f=10$ МГц:				
входная				5
проходная				0,8
Мощность рассеивания, мВт, при температуре среды, °С:				
от -60 до $+25$				150
125				50

Таблица 131

Параметры	Типы транзисторов		
	КП306А	КП306Б	КП306В
<i>Характеристики по первому затвору</i>			
Крутизна характеристики, мА/В, при $U_{си}=15$ В, $U_{з2и}=10$ В, $I_c=5$ мА и $f=1$ кГц	3—3	3—8	3—8
Напряжение отсечки, В, при $U_{си}=15$ В, $U_{з2и}=10$ В и $I_c=10$ мА	—4	—4	6
Напряжение $U_{з1и}$, В, при $U_{си}=15$ В, $I_c=5$ мА и $U_{з2и}=10$ В	От $-0,5$ до $+0,5$	0—2	От $-3,5$ до 0

Кремниевые полевые транзисторы КР306 (А, Б, В), имеющие МОП-структуру с двумя изолированными затворами и встроенным каналом n-типа (исток и подложка соединены с корпусом), выпускают в металлическом корпусе с гибкими выводами (рис. 73, д), массой 1 г, с диапазоном рабочих температур от -60 до +125 °С. Электрические параметры приведены в табл. 131.

Ток первого затвора, мА, при $U_{з1н}=20$ В и $U_{сн}=\mathbf{U_{з2н}=0}$ В	5
Емкость, пФ, при $U_{сн}=20$ В, $I_c=5$ мА и $U_{з2н}=\mathbf{=10}$ В:	
входная	5
проходная	0,07
Коэффициент шума, дБ, при $U_{сн}=20$ В, $I_c=5$ мА, $f=100$ МГц и $U_{з2н}=10$ В	7
Входное сопротивление, кОм, на частоте 60 и 100 МГц	соответственно 12 и 5

Характеристики по второму затвору

Крутизна характеристики, мА/В	2
Ток второго затвора, нА	5
Емкость, пФ:	
входная	4
проходная	1
между первым и вторым затворами	0,01
Коэффициент шума, дБ	10

Предельные параметры режима работы

Напряжения $U_{з1н}$, $U_{з2н}$, $U_{з1с}$, $U_{з2с}$, $U_{сн}$, В	20
Напряжение $U_{з1, 2}$, В	25
Ток стока, мА	20
Мощность рассеивания, мВт, при температуре среды, °С:	
от -60 до +35°	150
125	50

Кремниевые полевые транзисторы КР350 (А, Б, В), имеющие МОП-структуру с двумя изолированными затворами и встроенным каналом n-типа, выпускают в металлическом корпусе с гибкими выводами (см. рис. 73, д), массой 1 г, с диапазоном рабочих температур от -40 до +85 °С. Напряжение на стоке положительное относительно истока, на затворах — отрицательное. Электрические параметры транзисторов приведены ниже.

Начальный ток стока, мА, при $U_{сн}=15$ В для групп:	
КР350А и КР350Б	3,5
КР350В	6
Крутизна характеристики, мА/В, при $U_{з2н}=5$ В, $U_{сн}=10$ В, $I_c=10$ мА, $f=0,05 \div 1,5$ кГц и температуре среды °С:	
от -40 до +20	6
85	4

Напряжение отсечки, В, при $U_{з2и}=6$ В, $U_{си}=15$ В и $I_c=0,1$ мА	6
Ток затвора, нА, при $U_{з1и}=-15$ В, $U_{з2и}=15$ В	5
Коэффициент шума, дБ, при $U_{з2и}=6$ В, $U_{си}=10$ В, $I_c=10$ мА и $f=400$ МГц	6
Входная и выходная емкости, ПФ, при $U_{си}=10$ В, $U_{з1и}=U_{з2и}=0$ В и $f=10$ МГц	6
Проходная емкость, пФ, при $U_{си}=10$ В, $U_{з1и}==U_{з2и}=0$ В и $f=10$ МГц	0,07
Выходная проводимость, мкСм, при $U_{си}=10$ В, $U_{з2и}=6$ В и $I_c=10$ мА	250
Рабочая частота для КП350А, МГц	250

Предельные параметры режима работы

Напряжения $U_{з1и}$, $U_{з2и}$, $U_{си}$, $U_{з2с}$, В	15
Напряжение $U_{з1с}$, В	20
Ток стока, мА	30
Мощность рассеивания, мВт, при температуре среды, °С:	
от -40 до +25	200
85	100

Глава VII. ЭЛЕКТРОННЫЕ УСИЛИТЕЛИ

§ 39. Общие сведения

Усилителями называют устройства, предназначенные для усиления электрических сигналов (колебаний) за счет источников электрического питания с помощью активных элементов — транзисторов, электронных ламп, туннельных диодов.

По виду усиливаемых электрических сигналов различают усилители гармонических и импульсных сигналов. Усилители гармонических сигналов служат для усиления периодических сигналов различной величины и формы. В процессе усиления сигналов важно сохранить их частотный спектр и амплитудные соотношения всех гармонических составляющих. К этой группе относятся микрофонные, радиовещательные, магнитофонные и другие усилители.

Усилители импульсных сигналов используют для усиления периодических и непериодических импульсных сигналов различной формы с допустимой степенью искажения их формы. Для выполнения этого требования в процессе усиления сигналов необходимо сохранить их частотный спектр, а также амплитудные и фазовые соотношения усиливаемых колебаний.

В зависимости от значений усиливаемых частот и ширины их полосы усилители бывают постоянного и переменного тока, низкой и высокой частоты, широкополосные и узкополосные (избирательные).

Усилители постоянного тока усиливают не только постоянный ток, но и медленные электрические его колебания, а усилители переменного тока — только переменную составляющую сигналов. Пер-

вые усилители используют в автоматике и телемеханике, измерительной технике и счетно-решающих устройствах, а вторые — в радиотехнических устройствах.

Усилители низкой частоты применяют для усиления колебаний звукового спектра (от 20 Гц до 20 кГц) в радиовещании, аппаратуре проводной связи и других устройствах. Для получения хорошего звучания достаточно передавать более узкую (от 50 до 10 000 Гц) полосу частот, в пределах которой можно осуществить малоискаженную передачу полезного сигнала.

Усилители высокой частоты используют для усиления радиочастот от сети килогерц и выше (например, в радиопередающих и радиоприемных устройствах для усиления модулированных колебаний).

Широкополосные и избирательные (полосовые) усилители применяют соответственно для усиления сигналов в широкой (от нескольких герц до нескольких мегагерц) и узкой полосе частот в устройствах импульсной связи, телевидения и радиолокации.

По типу усилительного элемента электронные усилители разделяют на транзисторные, диодные (на туннельных диодах) и ламповые.

Усилители на электронных лампах обеспечивают усиление сигналов в широкой полосе частот, с низким уровнем шумов и отсутствием чувствительности к температурным и климатическим изменениям. Однако лампы имеют ограниченный срок службы (до 5000—10 000 ч) и потребляют значительную энергию.

Усилители на полупроводниковых элементах, имеющие неограниченный срок службы (десять тысяч часов), безынерционны, устойчивы к вибрации, тряске, экономичны. Их недостатками являются разброс параметров однотипных транзисторов, большая температурная зависимость, относительно высокий уровень собственных шумов. Усилительные каскады на однотипных элементах различаются схемой и режимом работы усилительных элементов.

§ 40. Основные показатели

Свойства усилителей характеризуются рядом эксплуатационных и качественных показателей.

Коэффициент усиления по напряжению, току или мощности показывает, во сколько раз установившееся напряжение (ток или мощность) на выходе усилителя больше, чем на входе, и определяется как отношение напряжения (тока или мощности) на выходе усилителя к его одноименному значению на входе: $K_V = U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}}$; $K_I = I_{\text{вых}}/I_{\text{вх}}$; $K_M = P_{\text{вых}}/P_{\text{вх}}$.

Поскольку восприятие органов слуха человека подчиняется логарифмическому закону, то обычно коэффициент усиления выражают не в относительных числах, а в логарифмических единицах—децибелах: $K_V[\text{дБ}] = 20 \lg K_V$; $K_I[\text{дБ}] = 20 \lg K_I$; $K_M[\text{дБ}] = 10 \lg K_M$.

При выражении коэффициента усиления в относительных числах $K_V = 10^{K_V[\text{дБ}]/20}$; $K_I = 10^{K_I[\text{дБ}]/20}$; $K_M = 10^{K_M[\text{дБ}]/10}$.

Если усилительное устройство состоит из нескольких последовательно включенных каскадов, его общий коэффициент усиления равен произведению коэффициентов усиления отдельных каскадов $K = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot \dots \cdot K_n$. Если коэффициенты усиления каскадов выражены в логарифмических единицах, их общий коэффициент усиления равен сумме: $K[\text{дБ}] = K_{1[\text{дБ}]} + K_{2[\text{дБ}]} + \dots + K_{n[\text{дБ}]}$.

Пример. Трехкаскадный усилитель имеет коэффициент усиления первого каскада $K_1=100$, второго $K_2=4$, третьего $K_3=25$. Определить коэффициент усиления в относительных единицах и децибелах.

$$K = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 = 100 \cdot 4 \cdot 25 = 10\,000;$$

$$K_{[\text{дБ}]} = 20 \lg K_1 + 20 \lg K_2 + 20 \lg K_3 = 20 \lg 100 + 20 \lg 4 + 20 \lg 25 = 80 \text{ дБ}.$$

Номинальная выходная мощность — наибольшая мощность, отдаваемая нагрузке, при которой искажения не превышают допустимые, определяется по формуле

$$P_{\text{вых}} = I_{\text{вых}} U_{\text{вых}} = I_{\text{вых}}^2 R_B = U_{\text{вых}}^2 / R_{\text{II}}.$$

Выходная мощность усилителя зависит от напряжения на его входе. Номинальное входное напряжение $U_{\text{вх}}$, при котором усилитель низкой частоты отдает в нагрузку заданную выходную мощность, называют *чувствительностью усилителя*. Усилители напряжения обычно характеризуют номинальным выходным напряжением — эффективным напряжением на нагрузке, соответствующим номинальной выходной мощности.

Коэффициент полезного действия усилителя характеризует его экономичность и определяется как отношение полезной мощности сигнала, отдаваемой усилителем нагрузке, к общей мощности, потребляемой им от источника питания:

$$\eta = (P_{\text{вых}}/P_0) \cdot 100\%.$$

Амплитудная характеристика (рис. 74, а) усилителя представляет собой зависимость выходного напряжения сигнала от входного. При слишком большом входном напряжении амплитудная характеристика искривляется из-за перегрузки усилительных элементов. Отклонение реальной амплитудной характеристики от идеально прямой в области малых входных напряжений (или при отсутствии входного сигнала) возможно за счет напряжения собственных шумов $U_{\text{ш}}$ в выходной цепи.

Динамический диапазон усилителя — отношение (выраженное в децибелах) максимального входного напряжения сигнала к мини-

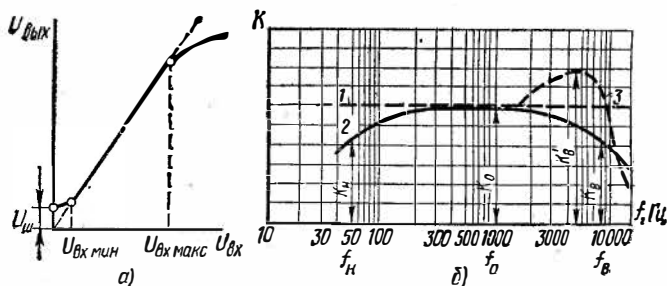


Рис. 74. Амплитудная (а) и частотная (б) характеристики усилителей

мальному $D_{дБ} = 20 \lg (U_{вх. макс} / U_{вх. мин})$. Минимальное напряжение сигнала на входе усилителя ограничивается его собственными шумами или уровнем помех, а максимальное — искажениями, которые возникают в усилителе вследствие нелинейности характеристик усилительных элементов.

Если динамический диапазон сигнала больше динамического диапазона усилителя, возникают искажения, для уменьшения которых сжимают диапазон сигнала с помощью ручной или автоматической регулировки усиления. Передача будет хорошей, если соотношение воспроизводимых мощностей составляет 10^6 , что соответствует отношению напряжений 10^3 , т. е. динамический диапазон усилителя $D = 20 \lg 10^3 = 60$ дБ.

Частотная характеристика (рис. 74, б) усилителя представляет собой зависимость его выходного напряжения или коэффициента усиления K от частоты f усиливаемых колебаний. При снятии частотной характеристики напряжение на входе усилителя поддерживается постоянным.

По частотной характеристике можно определить *частотные искажения*. Для удобства их определения строят частотную характеристику в логарифмическом масштабе. Если усилитель не вносит искажений, его частотная характеристика линейна (прямая 1). В реальных усилителях коэффициенты усиления на нижних K_n и верхних частотах (из-за влияния реактивных сопротивлений) меньше (кривая 2) или больше (кривая 3) коэффициента усиления K_0 на средних частотах.

Частотные искажения, обусловленные непостоянством коэффициента усиления по частоте, оценивают *коэффициентом частотных искажений*, определяемым как отношение коэффициента усиления на средней (обычно 1000 Гц) частоте к коэффициенту усиления на рассматриваемой частоте: $M = K_0 / K_f$.

В области спада частотной характеристики $M > 1$, а в области подъема $M < 1$. Если неравномерность частотной характеристики превышает $\pm 25\%$ ($M = 0,75 \div 1,25$), то частотные искажения становятся заметными на слух. Для оценки неравномерности частотной характеристики коэффициент M удобно выражать в децибелах: $M_{дБ} = 20 \lg M = 20 \lg K_0 / K_f = 20 \lg K_0 - 20 \lg K_f = K_{0 дБ} - K_{ф дБ}$. Положительная величина $M_{дБ}$ соответствует спаду, а отрицательная — подъему частотной характеристики, что следует учитывать при ее построении. В многокаскадных усилителях с коэффициентами частотных искажений M_1, M_2, \dots, M_n общий коэффициент $M = M_1 \cdot M_2 \times \dots \times M_n$.

Очевидно, если одни каскады имеют спад, а другие — подъем частотной характеристики, это приводит к взаимной компенсации частотных искажений и исправлению (коррекции) частотной характеристики.

Диапазон усиливаемых частот (полоса пропускания) оценивается областью частот, в пределах которой частотные искажения не превышают заданных. Обычно полоса пропускания лежит между граничными частотами f_n и f_v , на которых коэффициент усиления меньше на 3 дБ по сравнению с его значением на средних частотах.

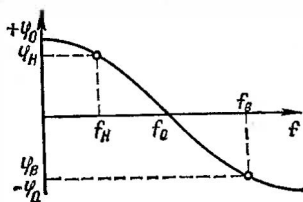
При ослаблении верхних частот звук становится глухим, басышим, а при малом усилении в области низких частот — металлическим, звенящим. Звуковые колебания, слышимые ухом человека, находятся в пределах 20—20 000 Гц. Хорошее качество звучания можно полу-

чить при воспроизведении полосы частот 50—10 000 Гц, а удовлетворительное — 100—6000 Гц. Усилители систем телефонной связи, где важна разборчивость, а не натуральность речи, выполняют с более узкой эффективно передаваемой полосой частот (300—3400 Гц).

Фазовые искажения, вносимые усилителем, оценивают по его фазовой характеристике, которая отражает различие фазовых сдвигов φ между выходным и входным напряжениями отдельных составляющих усиливаемого сигнала (рис. 75). Если коэффициент усиления усилителя одинаков для всех гармоник входного сигнала (т. е.

Рис. 75. Фазовая характеристика усилителя:

$\varphi_H, \varphi_0, \varphi_B$ — фазовые сдвиги на нижних f_H , средних f_0 и верхних f_B частотах



усилитель не создает частотных искажений) и все гармоники сложного сигнала сдвигаются усилителем на одно и то же время (т. е. угол сдвига фаз, вносимый усилителем, пропорционален частоте), форма выходного сигнала повторяет форму входного без искажений.

Нелинейные искажения проявляются в искажении формы выходного сигнала и объясняются нелинейностью входных и выходных характеристик транзисторов, электронных ламп, а также наличием в схеме других нелинейных элементов (трансформаторов, дросселей с нелинейными кривыми намагничивания материала сердечников).

Чем выше нелинейность усилителя, тем больше гармоник и комбинационных частот в выходном сигнале усилителя, влияющих на характер звучания (возникает треск, речь становится хриплой, снижается разборчивость).

Количественно нелинейность усилителя оценивают коэффициентом нелинейных искажений, определяемым как отношение действующего значения всех высших гармоник тока или напряжения, появившихся в выходном сигнале, к действующему току или напряжению первой гармоники (при активном сопротивлении нагрузки и подаче на вход усилителя синусоидального напряжения)

$$K_{\Gamma} = \sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2} / U_1.$$

Влияние гармоник выше третьего порядка на форму выходного сигнала невелико. Допустимая величина K_{Γ} зависит от назначения усилителя: для высококачественного звуковоспроизведения речи и музыки усилителем — 1—2 %, для телефонии — до 10 %.

§ 41. Обратная связь в усилителях и схемы их построения

Общие сведения. Под обратной связью (ОС) понимают связь между выходной и входной цепями усилителя. Функциональная схема усилителя с ОС, где показаны цепь прямой передачи усилителя, характеризуемая усилительным параметром K (коэффициентом усиления по напряжению $K_{\text{н}}$, току $K_{\text{т}}$ и т. д.), и цепь ОС, характеризу-

емая коэффициентом передачи цепи обратной связи β , приведена на рис. 76, а. При наличии ОС часть энергии усиленных колебаний сигнала поступает с выхода на вход усилителя. Обратная связь может специально вводиться в схему усилителя для изменения его характеристик или возникать за счет влияния выходных цепей на входные цепи (паразитная обратная связь).

Виды обратных связей. Различают положительную и отрицательную специально вводимую ОС. При положительной ОС сигнал с выхода на вход усилителя поступает в фазе с колебаниями входного

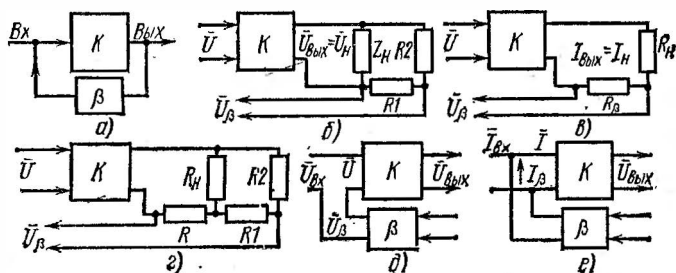


Рис. 76. Усилитель с ОС (а) и схемы обратной связи (б — по напряжению, в — по току, г — комбинированная, д — последовательная, е — параллельная)

сигнала, в результате чего коэффициент усиления усилителя возрастает. Этот вид ОС используется главным образом в автогенераторах. При отрицательной обратной связи (ООС) колебания с выхода на вход усилителя поступают в противофазе с входным сигналом, в результате чего его коэффициент усиления уменьшается. В усилителях обычно используется ООС, улучшающая их качественные показатели.

Способы осуществления отрицательной обратной связи. По способу получения сигнала ОС на выходе усилителя различают схемы с ООС: по напряжению (рис. 76, б), в которых напряжение обратной связи \bar{U}_β пропорционально напряжению на выходе усилителя $\bar{U}_{\text{вых}}$; по току (рис. 76, в), в которых напряжение обратной связи \bar{U}_β пропорционально току нагрузки; с комбинированной (рис. 76, г), в которых осуществляется комбинация обоих способов.

Напряжение обратной связи можно подать на вход усилителя либо последовательно, либо параллельно с входным сигналом. Соответственно различают последовательную (со сложением напряжений, рис. 76, д) и параллельную схемы обратной связи (со сложением токов, рис. 76, е). Цель обратной связи может охватывать весь усилитель или его часть. В усилителе может быть несколько (зависимых или независимых друг от друга) цепей обратной связи.

Влияние ОС на основные параметры усилителя. Коэффициент усиления усилителя с ОС определяем на примере схемы усилителя с последовательной обратной связью по напряжению (см. рис. 76, б).

Если с выхода на вход усилителя подается напряжение U_{β} , коэффициент (фактор) обратной связи

$$\beta = \bar{U}_{\beta} / U_{\text{вых}} \quad (1)$$

показывает, какую часть выходного напряжения составляет напряжение обратной связи. При положительной обратной связи коэффициент β может принимать значения от 0 до +1, а при отрицательной — от 0 до -1. Обычно в схемах усилителей $\beta = 0,05 \div 0,2$. Из выражения (1) следует, что напряжение обратной связи $\bar{U}_{\beta} = \pm \beta \bar{U}_{\text{вых}}$ пропорционально выходному напряжению. Результирующее напряжение на входе усилителя $\bar{U} = \bar{U}_{\text{вх}} + \bar{U}_{\beta} = \bar{U}_{\text{вх}} + (\pm \beta \bar{U}_{\text{вых}})$, откуда $\bar{U}_{\text{вх}} = \bar{U} - (\pm \beta \bar{U}_{\text{вых}})$.

Коэффициент усиления усилителя, охваченного ОС, определяется как отношение выходного напряжения к входному внешнего источника $K_{\beta} = \bar{U}_{\text{вых}} / \bar{U}_{\text{вх}} = \bar{U}_{\text{вых}} / [\bar{U} - (\pm \beta \bar{U}_{\text{вых}})]$.

Разделив числитель и знаменатель на \bar{U} , получим

$$K_{\beta} = \frac{\bar{U}_{\text{вых}} / \bar{U}}{1 - (\pm \beta \bar{U}_{\text{вых}} / \bar{U})} = \frac{K}{1 - (\pm \beta K)} \quad (2)$$

Очевидно, при положительной обратной связи $K_{\beta} = K / [1 - (\pm \beta K)] = K / (1 - \beta K)$ возрастает в $(1 - \beta K)$ раз, а при отрицательной $K_{\beta} = K / (1 + \beta K)$ — уменьшается в $(1 + \beta K)$ раз. При глубокой ООС легко получить $\beta K \gg 1$. В многокаскадном усилителе с большим коэффициентом усиления K это соотношение реализуется даже при малой величине β , поэтому [пренебрегая в формуле (2) единицей] коэффициент $K_{\beta} \approx 1/\beta$. Отсюда видно, что усиление усилителя не зависит от K , т. е. от параметров схемы усилителя и числа его каскадов, а определяется лишь коэффициентом передачи β цепи ОС. При наличии ООС коэффициент неустойчивости усиления $\epsilon = \Delta K_{\beta} / K_{\beta} = \Delta K \cdot 1 / K(1 + \beta K)$ уменьшается в $(1 + \beta K)$ раз, чем достигается стабилизация усиления независимо от причин, вызвавших эти изменения.

Входное сопротивление усилителя с ОС зависит от способа подачи напряжения обратной связи, вида обратной связи и ее глубины. Последовательная ООС по напряжению (см. рис. 76, б) и току (см. рис. 76, в) увеличивает входное сопротивление, а параллельная (по напряжению и току) — уменьшает.

Выходное сопротивление усилителя с ОС зависит от способа получения напряжения ОС, от ее вида и глубины. Последовательная (см. рис. 76, б) и параллельная ООС по напряжению уменьшает, а последовательная (см. рис. 76, в) и параллельная ООС по току увеличивает выходное сопротивление усилителя.

При последовательной ОС конечное сопротивление источника сигнала снижает глубину ОС, поэтому последовательную ОС целесообразно применять в усилителях напряжения. При параллельной ОС сопротивление источника сигнала оказывает обратное действие (при его уменьшении глубина ОС также уменьшается), поэтому параллельную ОС рекомендуется применять в усилителях тока. В усилителях с токовым выходом ОС по напряжению нецелесообразна, поскольку она уменьшает выходное сопротивление.

Отрицательная обратная связь в $(1 + \beta K)$ раз снижает сигнал гармоник, возникающий из-за нелинейных искажений. Аналогичное влияние она оказывает на напряжение помех (фон, наводка). При отсутствии фазовых искажений и относительно небольших нелинейных искажениях ($\gamma \leq 10 \div 15\%$) коэффициент нелинейных искажений усилителя с ООС уменьшается в $(1 + \beta K)$ раз. При высоком уровне нелинейных искажений ООС не способствует их уменьшению, а кроме того, может перейти в положительную за счет дополнитель-

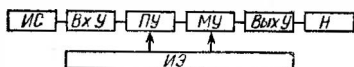
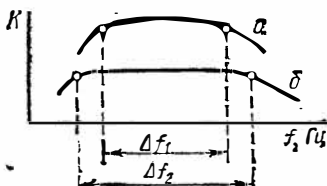


Рис. 78. Структурная схема усилителя

Рис. 77. Частотные характеристики усилителя без ООС (а) и с ООС (б)

ных фазовых сдвигов высших гармоник и тогда нелинейные искажения возрастут. Для снижения нелинейных искажений ООС обычно вводят в выходные каскады с наибольшими диапазонами выходных напряжений.

При малых фазовых сдвигах φ сигнала и независимой от частоты цепи ООС в усилителе коэффициент частотных и фазовых искажений $M_\beta \approx M(1 + \beta_0 K_0) / (1 + \beta_0 K)$; $\varphi_\beta \approx \varphi(1 + \beta_0 K)$.

Отсюда следует, что ООС уменьшает частотные и фазовые искажения примерно в $(1 + \beta_0 K_0)$ раз, поэтому частотная характеристика $K_\beta = \varphi(f)$ (против K) выравнивается (рис. 77), что способствует расширению полосы пропускания усилителя $\Delta f_2 > \Delta f_1$. При ООС по напряжению уменьшение частотных искажений (расширение полосы пропускания) достигается за счет снижения K_0 на средних частотах.

Таким образом, рассмотрена активная обратная связь, при которой коэффициент β не зависит от частоты. Если цепь ОС выполнить с реактивными элементами, можно получить частотно-зависимую обратную связь, при которой возможна коррекция частотной характеристики усилителя.

Структурная схема усилителя. По схемному построению усилители могут быть одно- и многокаскадными. Число каскадов определяется требованиями, предъявляемыми к усилителям. Структурная схема усилителя (рис. 78) состоит из входного и выходного устройств, предварительного и мощного усилителей, нагрузки и источника электропитания.

Входное устройство Вх.У служит для передачи сигнала от источника ИС во входную цепь первого усилительного элемента, обеспечивая согласование сопротивлений и уровней сигнала, симметрирование цепей, разделение цепей постоянной составляющей источника сигнала и входной цепи усилительного элемента. Входное устройство в виде симметрирующего трансформатора (рис. 79, а) превращает несимметричную входную цепь усилителя в симметричную, а в виде резистора с разделительным конденсатором (рис. 79, б) обес-

печивает разделение постоянной составляющей тока или напряжения в выходной цепи источника сигнала и во входной цепи усилительного элемента. Резистор с регулируемым сопротивлением (рис. 79, в) осуществляет регулировку уровня подводимого сигнала.

Предварительный усилитель ПУ, одно- или многокаскадный (см. рис. 78), обеспечивает усиление напряжения, тока или мощности сигнала до значения, необходимого для нормальной работы мощного усилителя.

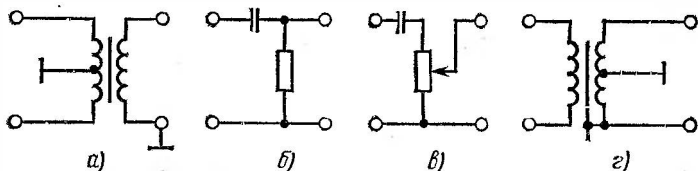


Рис. 79. Входные устройства (а — трансформаторные, б — с разделительным конденсатором, в — с регулируемым резистором) и выходное устройство с выходным трансформатором (г)

Мощный усилитель МУ предназначен для отдачи в нагрузку H требуемой мощности сигнала, что осуществляется соответствующим выбором усилительных элементов схемы и ее построением.

Выходное устройство *Вых. У* служит для передачи усиленного сигнала из выходной цепи последнего каскада в нагрузку H . Выходное устройство в виде выходного трансформатора (рис. 79, г) обеспечивает оптимальную нагрузку усилительному элементу выходного каскада или согласовывает выходное сопротивление усилителя с сопротивлением нагрузки. При работе несимметричного выходного каскада на симметричную нагрузку (например, симметричную двухпроводную фидерную линию) в выходную цепь усилителя включают симметрирующий трансформатор.

§ 42. Рабочие режимы усилительных элементов

Активными элементами усилителей являются транзисторы и электронные лампы, включаемые между входным и выходным устройствами. Энергетические и качественные показатели усилительных элементов определяются их режимом работы. Режим ламп и транзисторов выбирают по нагрузочным характеристикам, которые строят в соответствующих семействах статических характеристик.

В зависимости от выбора исходного режима работы усилительного элемента и амплитуды сигнала различают три основных рабочих режима — А, В и С. Рассмотрим их применительно к транзисторам.

В режиме А начальное положение рабочей точки на нагрузочной прямой и амплитуду входного (управляющего) тока выбирают так, чтобы рабочая точка располагалась посередине рабочего участка MN нагрузочной прямой (рис. 80, а), где изменения тока I_K прямо пропорциональны изменениям управляющего тока (тока I_B в схеме с ОБ, см. рис. 54, а, б и тока I_G в схеме с ОЭ, см. рис. 55, а, б).

В этих условиях работы нелинейные искажения будут минимальными. При усилении малых сигналов начальное положение рабочей точки выбирают так, чтобы потребление мощности от источника было минимальным, а коэффициент передачи тока наибольшим. При усилении сигналов с большой амплитудой рабочую точку O выбирают по середине рабочего участка MN при управляющем токе покоя $I_{o6} = I_{63}$ (рис. 80, б).

Для обеспечения выбранного режима работы во входной цепи задают начальный постоянный ток базы (ток покоя) $I_{o6} = I_{63}$, при этом

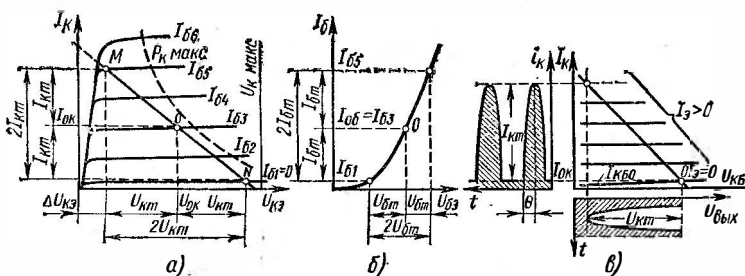


Рис. 80. Выходные (а, в) и входная (б) характеристики усилительных элементов

амплитуда тока базы не должна выходить за пределы рабочей области, т. е. превышать $I_{6m} < I_{65} - I_{63}$. По выбранной рабочей точке определяют начальные значения тока $I_{oк}$ (см. рис. 80, а) и напряжения $U_{oк}$, а также их амплитудные значения $I_{кm}$ и $U_{кm}$, по которым рассчитывают: мощность, рассеиваемую коллектором в режиме покоя $P_{oк} = I_{oк}U_{oк}$; полезную мощность в нагрузке $P_k = 1/2 I_{кm}U_{кm}$; коэффициент передачи по току $K_T = I_{кm}/I_{6m}$.

Затем по входной нагрузочной или усредненной (типовой) статической характеристике (см. рис. 80, б) находят амплитуду переменного напряжения на входе U_{6m} . Обычно для усилителей режима А по этой характеристике определяют двойную амплитуду входного тока $2I_{6m}$ и напряжения $2U_{6m}$, после чего рассчитывают: входную мощность $P_{вх} = 1/2 I_{6m}U_{6m}$; коэффициенты усиления по напряжению $K_H = U_{кm}/U_{6m}$ и мощности $K_M = P_k/P_{вх}$; входное сопротивление $r_{вх} = U_{6m}/I_{6m}$.

Нелинейность входной характеристики может вызвать искажения сигнала. Для уменьшения искажений целесообразно снизить амплитуду входного сигнала.

В режиме А ток I_K через транзистор проходит как при сигнале, так и без него, поэтому кпд усилителя мал. Режим А предпочтителен, когда нужны минимальные нелинейные искажения, а выходная мощность и кпд не имеют решающего значения. Обычно в этом режиме работают каскады усилителей напряжения и маломощные выходные каскады.

В режиме В начальное положение рабочей точки выбирают в области небольших токов коллектора, близких к $I_{к60}$ (рис. 80, в). Транзистор открыт лишь в течение половины периода, т. е. работа-

ет с отсечкой тока, угол которой $\theta = 90^\circ$. Большой ток позволяет увеличить выходную мощность. В режиме В уровень нелинейных искажений высок, поэтому этот режим используется в двухтактных схемах, компенсирующих указанный недостаток и позволяющих получить большую выходную мощность.

Промежуточное положение между режимами А и В занимает режим АВ, более экономичный, чем А, и характеризуемый меньшими нелинейными искажениями, чем В. Применяется этот режим в основном в двухтактных схемах.

В режиме С начальное смещение соответствует режиму отсечки. При отсутствии сигнала транзистор тока не пропускает и начинает работать лишь после того, как входной сигнал превышает пороговое значение, поэтому угол отсечки $\theta < 90^\circ$. Режим С используется, когда нелинейными искажениями можно пренебречь, но необходима большая выходная мощность усилителя.

§ 43. Способы обеспечения рабочего режима транзистора

Электропитание цепей коллектора обычно осуществляется от общего источника постоянного тока (гальванической батареи или выпрямителя переменного напряжения сети). Для устранения межкаскадных связей применяют развязывающие RC-фильтры. Нужный ра-

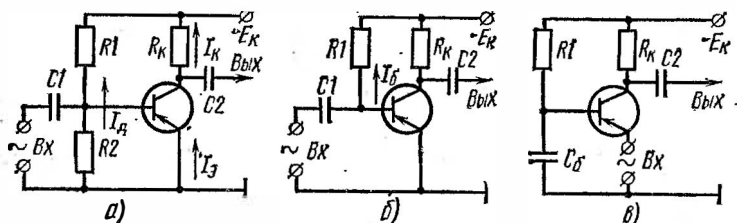


Рис. 81. Схемы подачи фиксированного смещения

а — с помощью делителя, б — через гасящий резистор, в — фиксированным током

бочий режим (рабочую точку) транзистора в усилительном каскаде устанавливают подачей на базу относительно эмиттера фиксированного напряжения смещения, которое можно получить от коллекторного источника питания через делитель напряжения или гасящее сопротивление.

Способы подачи смещения. Фиксированное смещение можно осуществлять фиксированным током или напряжением. Смещение фиксированным напряжением база — эмиттер создается от общего источника E_K делителем $R1R2$ (рис. 81, а). Ток делителя I_D создает на резисторе $R2$ падение напряжения, которое действует в проводящем направлении к эмиттерному $p-n$ -переходу. Чтобы смещение оставалось неизменным при колебаниях температуры или смене транзистора, сопротивление резистора $R2$ желательно выбрать не-

большим. Однако при этом снижается входное сопротивление усилителя. В зависимости от выходной мощности и режима работы каскада ток делителя $I_d = (2 \div 5) I_{об}$. С увеличением тока I_d возрастает потребление энергии и снижается КПД каскада. Этот способ смещения применяется в усилителях режима В при малых колебаниях температуры.

В схеме с ОЭ смещение *фиксированным током* базы от общего источника осуществляется через большое гасящее сопротивление резистора $R1$ (рис. 81, б). Начальный ток базы $I_{об} = (E_k - U_{об})/R1$. Если не учитывать напряжение $U_{об}$ из-за его незначительности ($I_{об} \approx E_k/R1$), следует, что ток базы зависит только от внешних параметров. В схеме с ОЭ ток базы $I_{об}$ характеризуется коэффициентом передачи $\beta = I_k/I_b$, который различен у однотипных транзисторов, поэтому схема с фиксированным током базы малоприспособна для серийной аппаратуры, а также чувствительна к температурным колебаниям. В схеме с ОБ режим смещения задается фиксированным током (рис. 81, в), проходящим через эмиттерный переход и резистор $R1$. Конденсатор C_6 разделяет постоянную и переменную составляющие тока. Через этот конденсатор по переменной составляющей база получает нулевой потенциал, поскольку для этой составляющей сопротивление конденсатора $X_C \ll R1$, потенциал базы близок к нулю. В приведенных схемах смещение на транзистор подается как параллельно источнику сигнала (см. рис. 81, а), так и последовательно с ним (см. рис. 81, б, в). Для отделения (по постоянному току) выхода источника сигнала от управляющего электрода транзистора в схемы включают разделительный конденсатор $C1$ (см. рис. 81, а, б).

Термостабилизация рабочей точки. Температурная стабилизация режима работы усилителя достигается введением в схему отрицательной обратной связи по току, напряжению или комбинированной. Для стабилизации рабочей точки при изменениях температурного режима работы транзистора схемы усилителей дополняют элементами эмиттерной и коллекторной стабилизации.

Эмиттерная стабилизация режима осуществляется с помощью ООС по постоянному току через эмиттерный резистор R_3 (рис. 82, а). При прохождении через резистор R_3 тока I_3 значительно уменьшается напряжение, которое действует в противофазе с фиксированным напряжением смещения, снимаемым с резистора $R2$ делителя $R1R2$. С повышением температуры возрастает ток I_3 , что вызывает увеличение тока I_b и I_k . При этом возрастает напряжение $U_{R_3} = I_3 R_3$ на резисторе R_3 , вследствие чего автоматически повышается результирующий потенциал на базе $E_{б_3} = -U_{R_2} + U_{R_3}$, что вызывает уменьшение токов I_3 , I_b и I_k . Емкость C_3 блокирует по переменному току резистор R_3 , благодаря чему устраняется падение напряжения сигнала на резисторе, исключается ООС по переменному току и сохраняется постоянство коэффициента усиления каскада.

Коллекторная стабилизация осуществляется с помощью ООС по напряжению, которая достигается подключением резистора $R1$ непосредственно к коллектору транзистора (рис. 82, б). При повышении температуры и возрастании тока I_k (от исходного значения $I_{ок}$) увеличивается падение напряжения на резисторе R_k и соответственно уменьшается (по абсолютному значению) напряжение на коллекторе $U_{к_3} = E_k - I_k R_k$ и базе, что вызывает снижение тока базы I_b , а следовательно, и тока I_k , который стремится возвратиться к своему исходному значению $I_{ок}$.

Более высокую стабильность работы обеспечивают схемы с комбинированной ООС по току и напряжению (рис. 82, в). Обычно комбинированная обратная связь вводится лишь для постоянного тока. Чтобы исключить обратную связь по переменному току, резистор R_3 (элемент ООС по току) шунтируют конденсатором C_3 большой емкости.

Термокомпенсация рабочей точки. Температурная компенсация режима предусматривает в схемах использование нелинейных эле-

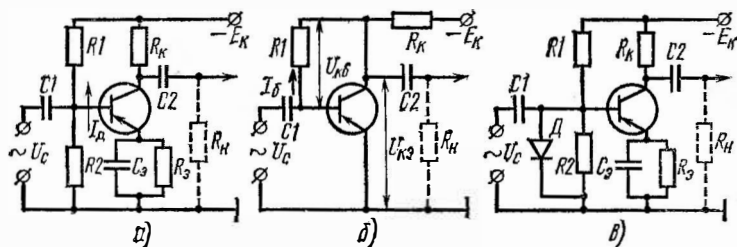


Рис. 82. Схемы температурной стабилизации режима транзистора: а — эмиттерная с помощью ООС по току, б — коллекторная с ООС по напряжению, в — комбинированная с ООС по току и напряжению

ментов, параметры которых зависят от температуры. В качестве нелинейных (температурно-зависимых) элементов служат терморезисторы, диоды, транзисторы.

В делитель, подключенный к базе (рис. 83, а), вместо резистора R_2 включают терморезистор, который при нормальной температуре имеет сопротивление, необходимое для установления начального рабочего режима. При этом через коллектор проходит требуемый ток покоя. При повышении температуры сопротивление терморезистора уменьшается, напряжение между базой и эмиттером снижается,

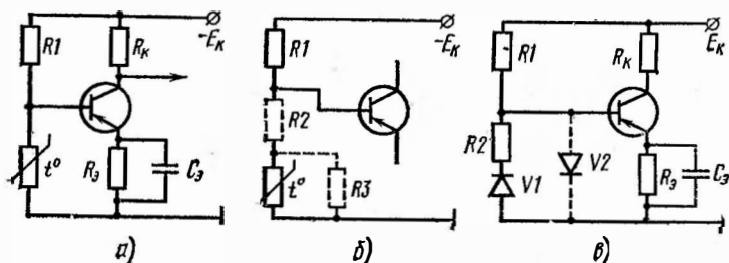


Рис. 83. Схемы температурной компенсации:

а — с терморезистором, б — с терморезистором и линейными резисторами, в — с диодом

вследствие чего ток покоя коллектора остается постоянным. Для компенсации разброса параметров транзисторов и получения требуемой характеристики термочувствительного элемента включают линейные (лучше переменные) резисторы R_2 , R_3 (рис. 83, б) последовательно с терморезистором и параллельно ему.

Терморезисторы обладают неодинаковой с транзистором температурной инерционностью. Лучшие результаты при компенсации получают при включении диода в качестве термочувствительного элемента (рис. 83, в). Температурные коэффициенты напряжения ТКН эмиттерно-базового перехода транзистора и диода, включенного в прямом направлении, одинаковы. Можно подобрать приборы с одним и тем же температурным изменением обратных токов, что обеспечит более полную компенсацию.

Диод V_2 в схеме компенсирует температурный сдвиг входной характеристики транзистора. С повышением температуры уменьшается падение напряжения на диоде в проводящем направлении, следовательно, уменьшается напряжение смещения во входной цепи транзистора. Обратный ток коллекторного перехода $I_{к.обр}$ транзистора компенсируется диодом V_2 , обратный ток которого противоположен обратному току транзистора.

§ 44. Сравнение схем включения транзисторов

Схемы включения биполярных транзисторов. Сравнительные данные свойств транзисторов в схемах с ОБ, ОК и ОЭ (см. рис. 54) приведены в табл. 132. В схеме с общей базой эмиттерный переход включен в прямом направлении, поэтому при незначительных изменениях напряжения ΔU_b сильно меняется ток ΔI_b , вследствие чего

Таблица 132

Параметры	Сравнительные показатели свойств транзисторов в схемах		
	с общей базой	с общим эмиттером	с общим коллектором
Коэффициенты:			
передачи по току	0,6—0,95	Десятки — сотни	Больше, чем в схеме с ОЭ
усиления по напряжению	Тысячи	Меньше, чем в схеме с ОБ	0,7—0,99
усиления по мощности	Менее чем в схеме с ОЭ	Большое (тысячи)	Меньше, чем в схеме с ОЭ
Сопротивление:			
входное	Малое (единицы — десятки омов)	Большое (десятки — тысячи омов)	Большое (сотни килоомов)
выходное	Большое (тысячи омов — единицы мегаомов)	Сотни омов — десятки килоомов	Единицы омов — десятки килоомов
Сдвиг фаз	0°	180°	0°

входное сопротивление транзистора $r_{вх} = \Delta U_э / \Delta I_э$ при $U_к = \text{const}$ мало (десятки омов). Коллекторный переход включен в обратном направлении, поэтому изменения напряжения на этом переходе $\Delta U_к$ незначительно влияют на изменения тока $\Delta I_к$, вследствие чего выходное сопротивление $r_{вых} = \Delta U_к / \Delta I_к$ при $I_э = \text{const}$ велико (до нескольких мегаомов). Большое различие входных и выходных сопротивлений затрудняет согласование каскадов в многокаскадных усилителях.

В схеме с ОБ входным (управляющим) является ток $I_э$, а выходным — ток $I_к$. Последний всегда меньше тока эмиттера, так как часть инжектируемых носителей заряда рекомбинирует в базе, поэтому $\alpha = \Delta I_к / \Delta I_э < 1$. Коэффициент усиления по напряжению K_n в схеме велик, поскольку изменения токов на входе $\Delta I_э$ и выходе $\Delta I_к$ почти одинаковы, а $r_{вых} \gg r_{вх}$. Коэффициент усиления по мощности также велик ($K_M = \alpha K_n \approx 1000$). Эмиттерный переход включается в проводящем направлении, поэтому изменения тока $I_э$, а следовательно, и тока $I_к$ происходят без фазового сдвига ($\varphi = 0^\circ$).

В схеме с общим эмиттером управляющим служит ток базы $I_б = I_э - I_к$. Поскольку большинство носителей зарядов, инжектируемых эмиттером, достигает коллекторной области [$I_к \approx (0,9 \div 0,99) I_э$] и лишь незначительная часть рекомбинирует в базе, ток базы мал: $I_б \approx (0,01 \div 0,1) I_э$. При этих условиях $K_{тэ} = \Delta I_к / \Delta I_б > K_{тб} = \Delta I_к / \Delta I_э$ и составляет 10—150. Усиление по напряжению примерно такое же, как и в схеме с ОБ. Благодаря высокому коэффициенту передачи тока эта схема обеспечивает большое (K_M до 10 000) усиление по мощности.

Напряженне в схеме с ОЭ на входе $U_э$ и выходе $U_к$ одного порядка, поэтому $r_{вх} = \Delta U_э / \Delta I_э$ здесь больше, чем в схеме с ОБ, и достигает десятков — тысяч омов. В этой схеме напряжение коллекторного источника $E_к$ частично приложено к эмиттерному переходу, поэтому изменения $\Delta U_к$ вызывают большие изменения тока $\Delta I_к$, вследствие чего $r_{вых} = \Delta U_к / \Delta I_к$ при $I_б = \text{const}$ меньше, чем в схеме с ОБ, что облегчает согласование каскадов в многокаскадных усилителях.

В схеме с ОЭ положительные полуволны подводимого напряжения сигнала действуют в противофазе с напряжением смещения, поэтому ток $I_э$, а следовательно, и $I_к$ уменьшаются; отрицательные полуволны сигнала действуют согласованно с напряжением смещения, и токи $I_э$ и $I_к$ возрастают. В результате напряжение сигнала, снимаемое с нагрузки в выходной цепи, будет (по отношению к общей точке схемы) противофазным с напряжением подводимого сигнала (т. е. $\varphi = 180^\circ$).

В схеме с общим коллектором входным является ток $I_б$, а выходным $I_э$. Так как во входной цепи проходит малый ток базы, входное сопротивление $r_{вх} = \Delta U_{вх} / \Delta I_{вх}$ достигает десятков килоомов. Выходное напряжение в схеме приложено к эмиттерному переходу, поэтому малые изменения этого напряжения вызывают большие изменения $I_э$, вследствие чего $r_{вых} = \Delta U_{вых} / \Delta I_{вых}$ мало (десятки омов).

Напряжение подводимого сигнала $U_{вх}$ и выходное напряжение $U_{вых}$ в схеме действуют встречно, т. е. $U_{эб} = U_{вх} - U_{вых}$. Для получения на эмиттерном переходе требуемого напряжения необходимо скомпенсировать выходное напряжение, что достигается при $U_{вх} > U_{вых}$. В этих условиях схема с ОК не дает усиления по напряжению ($K_n < 1$). Коэффициент передачи по току $K_T = \Delta I_э / \Delta I_б = \Delta I_э / (\Delta I_э - \Delta I_к) = 1/(1 - \alpha)$ здесь несколько больше, чем в схеме

с ОЭ. Отсутствие усиления по напряжению приводит к снижению усиления по мощности против схем с ОБ и ОЭ.

В схеме отрицательные полуволны подводимого напряжения сигнала $U_{вх}$ действуют встречно напряжению смещения, поэтому результирующее прямое напряжение на эмиттерном переходе и ток $I_э = I_б + I_к$ уменьшаются. При этом напряжением сигнала, снимаемое с нагрузки в цепи эмиттера, повторяет фазу напряжения подводимого сигнала, т. е. $\varphi = 0$ (эмиттерный повторитель).

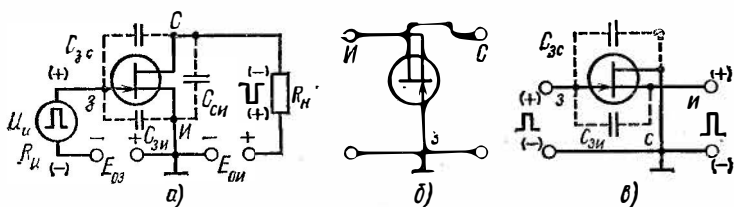


Рис. 84. Схемы включения полевого транзистора:

а — с общим истоком, б — с общим затвором, в — с общим стоком

Схемы включения полевых транзисторов. Полевые транзисторы с *p-n*-переходом включаются с общим истоком ОИ (рис. 84, а), затвором ОЗ (рис. 84, б) и стоком ОС (рис. 84, в).

Схема с ОИ является инвертирующим усилителем, способным усиливать сигналы по напряжению и току и обладает сравнительно небольшими междуэлектродными емкостями ($C_{зи} = 1 \div 20$ пФ; $C_{зс} = 0,5 \div 8$ пФ; $C_{си} < C_{зи}$). Входная емкость $C_{вх.и} = C_{зи} + C_{зс}$, проходная $C_{пр.и} = C_{зс}$, выходная $C_{вых.и} = C_{зс} + C_{си}$. Крутизна S характеристики $I_c = \varphi(U_э)$ представляет собой внешнюю проводимость прямой передачи и для транзисторов малой мощности составляет $0,3 \div 10$ мСм. Выходное сопротивление сравнительно велико (обычно многократно превышает сопротивление нагрузки), поэтому коэффициент усиления каскада $k \approx SR_н$ достигает десятков единиц. Входное сопротивление (если пренебречь областями очень низких и высоких частот) носит емкостной характер; входная емкость $C_{вх} = C_{зи} + SR_н C_{зс}$. Поскольку междуэлектродные емкости малы, на параметры схемы существенно влияют емкости монтажа $C_м = 1 \div 3$ пФ. Общая шунтирующая емкость $C_0 = C_{вх} + C_м$ определяет частоту верхнего среза $f_{в.ср} = 1/(2\pi C_0 R_н)$.

Схема с ОЗ подобно схеме с ОБ не изменяет полярности сигнала и обеспечивает его усиление по напряжению аналогично усилению сигнала в схеме с ОИ. Входное сопротивление $r_{вх} = U_{зт}/I_{вт}$ вследствие потребления от источника сигнала сравнительно большого тока $I_{ст} = I_{вт} = SU_{зт}$ оказывается незначительным. Выходное сопротивление $r_{вых} \approx r_{си}(1 + SR_н)$ из-за влияния отрицательной обратной связи по току (элементом которой является внутреннее сопротивление источника сигнала $R_н$) велико. Влияние емкостной составляющей входной проводимости мало (так как она шунтирована сравнительно большой активной проводимостью $g_{вх} = 1/r_{вх} = S$), поэтому каскад с ОЗ более широкополосен, чем схема с ОИ.

Схема с ОС не меняет фазу входного сигнала на выходе (ис-

токовый повторитель), значительно усиливает ток (но не может усиливать напряжение), обладает высоким активным входным сопротивлением, малой входной емкостью $C_{вх} = C_{ас} + C_{эи}(1-K)$, где $K = U_{см}/U_{сэм} \approx SR_H/(1+SR_H)$, и небольшим выходным сопротивлением $r \approx 1/S$ (близким к входному сопротивлению схемы с ОЭ), большой широкополосностью благодаря малой входной емкости.

Схемы составных транзисторов. Составной транзистор представляет собой комбинацию двух (и более) транзисторов, соединенных таким образом, что число внешних выводов этой комбинации

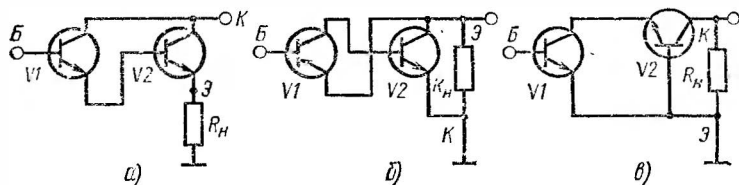


Рис. 85. Соединения составных транзисторов по схемам:

а — сдвоенного эмиттерного повторителя, *б* — усилителя на разноструктурных транзисторах, *в* — каскодной

рованной схемы равно числу выводов одиночного транзистора. Составной транзистор, выполненный по *схеме сдвоенного эмиттерного повторителя* (рис. 85, *а*), не изменяет полярности сигнала, обладает большим коэффициентом передачи тока $h_{21} = h_{21v1}h_{21v2}$, имеет большое входное и малое выходное сопротивления.

Составной транзистор *в виде усилителя* на разноструктурных (*p-p* и *n-p-n*) транзисторах (рис. 85, *б*) содержит два каскада с ОЭ с глубокой последовательной ООС по напряжению. Поскольку каждый каскад изменяет полярность сигнала, в целом схема представляет собой неинвертирующий усилитель. С выхода схемы напряженно подается на вход (эмиттер первого транзистора) в противофазе с входным сигналом, подводимым к цепи базы. Приведенный составной транзистор обладает свойствами эмиттерного повторителя. Его коэффициент усиления меньше единицы, а из-за ОС входное сопротивление велико, выходное мало. Точкой малого выходного сопротивления является коллектор транзистора *V2*, так как от него начинается цепь ОС по напряжению, поэтому вывод коллектора транзистора *V2* играет роль эмиттера составного транзистора, а вывод эмиттера *V2* — роль его коллектора. При выбранных структурах транзисторов *V1* и *V2* схема обладает свойствами *p-p*-транзистора.

Составной транзистор, выполненный по *каскадной схеме* (рис. 85, *в*), представляет собой усилитель, в котором транзистор *V1* включен по схеме с ОЭ, а *V2* — по схеме с ОБ. Схема эквивалентна одиночному транзистору, включенному по схеме с ОЭ с параметрами, близкими к параметрам транзистора *V1*. Последний обладает высоким выходным сопротивлением, что обеспечивает транзистору *V2* получение широкой полосы частот.

§ 45. Выходные каскады усилителей

Назначение выходных каскадов. Выходной каскад предназначен для отдачи в нагрузку заданной мощности сигнала при высоком кпд и минимальном уровне нелинейных и частотных искажений. Основными эксплуатационными показателями выходного каскада являются отдаваемая в нагрузку полезная мощность и кпд, качественными — уровень нелинейных искажений и полоса пропускания. Нелинейные искажения и кпд каскада зависят от выбора рабочей

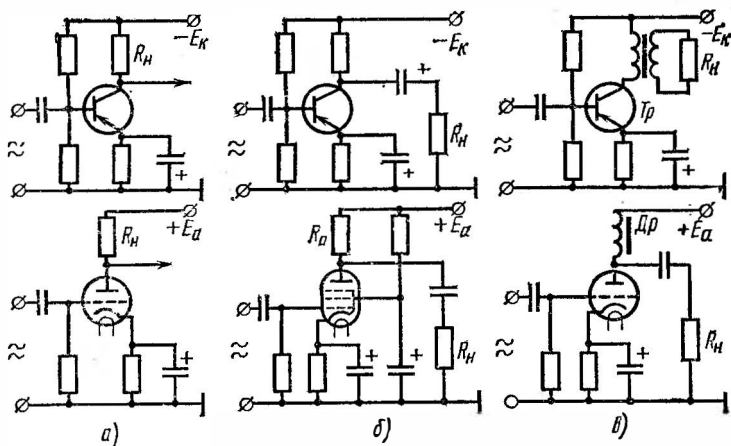


Рис. 86. Схемы включения нагрузки в выходные каскады:

а — с непосредственным подключением, б — через резисторно-емкостное устройство, в — с помощью трансформатора и дросселя

точки транзистора (электронной лампы). При большой величине сигнала нелинейные искажения в выходных каскадах на транзисторах возникают из-за нелинейности входных и выходных характеристик. При жестких требованиях к уровню нелинейных искажений выходной каскад используют в режиме А, для получения высокого кпд — в режимах АВ и В.

Способы подключения нагрузки. По способу подключения нагрузки различают выходные каскады с непосредственным включением нагрузки, резисторные, трансформаторные и дроссельные.

При непосредственном включении нагрузки в выходную цепь усилительного элемента (рис. 86, а) без выходного устройства упрощается схема усилителя, отсутствуют дополнительные потери, а также нелинейные и частотные искажения, которые вносятся выходным устройством. Недостатками непосредственного включения нагрузки являются прохождение через нагрузку постоянной составляющей тока питания и невысокий кпд схемы (около 20 % в транзисторах и 10 % в ламповых схемах усиления).

В резисторных выходных каскадах (рис. 86, б) нагрузка включа-

ется в выходную цепь через резисторно-емкостное выходное устройство. Ток питания через нагрузку не проходит, в схеме отсутствуют дорогие громоздкие детали; обеспечивается пропускание широкой полосы рабочих частот. При включении нагрузки через RC -элементы кпд схемы мал (порядка 5—6% на транзисторах и, еще меньше в ламповых каскадах), поэтому такое включение целесообразно лишь при небольшой выходной мощности.

Трансформаторные и дроссельные выходные каскады (рис. 86, в) позволяют получить в нагрузке наибольшую неискаженную мощность. При трансформаторном подключении нагрузки постоянная составляющая выходного тока не проходит через сопротивление нагрузки, поэтому уменьшается расход потребляемой мощности питания и повышается кпд. Трансформаторный каскад может обеспечить относительно высокий кпд при различных нагрузках.

Схемы выходных каскадов. Выходные каскады могут быть одноктактными или двухтактными. Одноктактные каскады используются при относительно малых выходных мощностях, двухтактные — при больших. В одноктактных схемах транзисторы работают в режиме А, в двухтактных — в режимах А, АВ или В. Наиболее экономичной является двухтактная схема выходного каскада, работающая в режиме В.

В зависимости от требований к отдаваемой мощности и уровню нелинейных искажений транзисторы в выходных каскадах могут работать с ОЭ или ОБ. Электронные лампы в выходных каскадах обычно включают с общим катодом, что позволяет осуществить возбуждение сигналов с малой амплитудой. Схема с ОЭ обеспечивает наибольшее усиление по мощности, однако в ней возрастают нелинейные искажения, а также неэкономичны по потреблению энергии цепи стабилизации режима. В схеме с ОБ транзисторы могут работать с большим напряжением на коллекторе и иметь сравнительно линейную переходную характеристику. Схема с ОБ позволяет получить меньший коэффициент нелинейных искажений и стабильный режим работы каскада при изменениях температуры, напряжения питания и замене транзистора. В схеме с ОБ велик входной ток сигнала, что требует отдачи большей мощности предварительным каскадам и заставляет выполнять их с трансформаторным выходом.

Одноктактные выходные каскады. Схемы одноктактных выходных каскадов с трансформаторным включением нагрузки с ОЭ и ОБ (рис. 87, а, б) могут быть использованы лишь в режиме А. Для уменьшения коллекторного тока, вызванного изменениями режима, в схемы введены элементы R_3 , C_3 эмиттерной стабилизации. В схеме с ОБ (см. рис. 87, б) сопротивлением эмиттерной стабилизации является активное сопротивление вторичной обмотки трансформатора $Tp1$; если его недостаточно, в цепь эмиттера дополнительно включают резистор R_3 и дунтируют по переменному току конденсатором C_3 .

Обычно оптимальное сопротивление нагрузки выходной цепи для транзисторов составляет десятки — сотни ом, для электронных ламп — единицы килоомов, а сопротивление внешней нагрузки усилителя — единицы — десятки ом (например, сопротивление звуковой катушки головки динамического громкоговорителя 3—10 Ом). Непосредственное включение низкоомного сопротивления нагрузки в выходную цепь усилительного элемента вызовет уменьшение мощности, отдаваемой усилителем в нагрузку, а также рост

нелинейных искажений. Трансформаторное включение нагрузки обеспечивает согласование фактической нагрузки усилителя с оптимальной нагрузкой выходной цепи усилительного элемента.

Однотактные выходные каскады имеют малый КПД. Использование в схеме более мощных транзисторов позволяет повышать отдаваемую неискаженную мощность. Однако КПД при этом не повышается, а наличие большого подмагничивающего тока в первичной обмотке трансформатора снижает индуктивность и тем самым

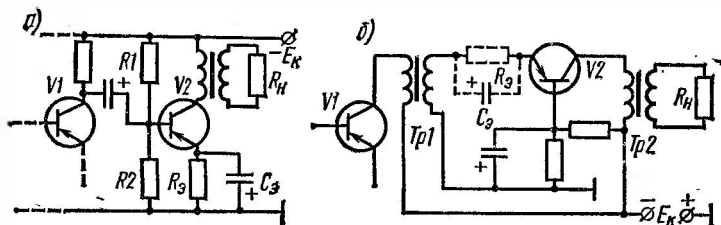


Рис. 87. Схемы однотактных выходных каскадов:
а — с ОЭ, б — с ОБ

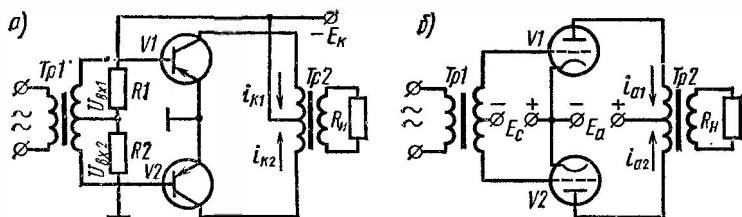


Рис. 88. Схемы двухтактных усилителей:
а — транзисторная, б — ламповая

ухудшает передачу низших частот. Лучшие показатели можно получить от выходного каскада, выполненного по двухтактной схеме.

Двухтактные выходные каскады. Двухтактные трансформаторные усилители (ДТУ) позволяют получить большую выходную мощность полезного сигнала. Выходная мощность каскада определяется типом усилительных приборов и режимом их работы; КПД зависит только от режима работы.

Схема ДТУ состоит из двух идентичных однотактных усилителей (плеч) на транзисторах (рис. 88, а) или электронных лампах (рис. 88, б), работающих в общую нагрузку. Плечи электрически симметричны (имеют одинаковые параметры усилительных элементов и режимы их питания).

При подаче на входной трансформатор $Tp1$ усилителя переменного синусоидального напряжения (см. рис. 88, а) снимают с его вторичных полуобмоток равные, но противофазные (сдвинуты

на 180°) напряжения $U_{вк1}$ и $U_{вк2}$ (рис. 89, а), которые действуют в каждом плече между базой и эмиттером транзисторов $V1$ и $V2$. Токи $i_{к1}$ и $i_{к2}$ в коллекторной цепи каждого транзистора в схеме с ОЭ противоположны по фазе управляющим напряжениям на базе (см. рис. 88, а, б), поэтому сдвиг фаз между токами $i_{к1}$ и $i_{к2}$ составит также 180° (см. рис. 89): $i_{к1} = I_{ок1} + I_{к1m} \sin \omega t$; $i_{к2} = I_{ок2} - I_{к2m} \sin \omega t$.

Через первичную обмотку выходного трансформатора $Tr2$ коллекторные токи транзисторов $V1$ и $V2$ проходят в противоположных направлениях, поэтому магнитные потоки, создаваемые ими в сердечнике трансформатора, будут иметь результирующий сдвиг по фазе 360° (на 180° они сдвинуты за счет сдвига напряжений на базах и еще на 180° из-за прохождения токов $i_{к1}$ и $i_{к2}$ в противоположных направлениях). Переменный магнитный поток в сердечнике и ток вторичной обмотки $Tr2$ (ток нагрузки) пропорциональны разности токов: $\Phi = K_{пр}(i_{к1} - i_{к2}) = K_{пр}(I_{ок1} + I_{к1m} \sin \omega t - I_{ок2} + I_{к2m} \sin \omega t)$, где $K_{пр}$ — коэффициент пропорциональности.

При идентичности плеч постоянные составляющие коллекторного тока равны $I_{ок1} = I_{ок2}$. Эти токи проходят по первичной обмотке выходного трансформатора $Tr2$ в противоположных направлениях, поэтому намагничивающие силы этих токов взаимно компенсируются вследствие чего выходной трансформатор работает без постоянного подмагничивания.

Поскольку $I_{к1m} = I_{к2m} = I_{км}$, переменный магнитный поток $\Phi = K_{пр}(I_{к1m} \sin \omega t + I_{к2m} \sin \omega t) = 2K_{пр}I_{км} \sin \omega t$.

Во вторичной обмотке выходного трансформатора под действием этого потока будет индуцироваться эдс, пропорциональная удвоенной амплитуде переменного коллекторного тока. В результате мощность, отдаваемая двухтактным усилителем, будет вдвое больше мощности, отдаваемой транзистором каждого плеча каскада.

В двухтактной схеме компенсируются четные гармоники усиленного тока. Гармоники совпадают по фазе, но проходят в противоположных направлениях по полуобмоткам трансформатора $Tr2$, вследствие чего компенсируются их магнитные потоки и уменьшаются нелинейные искажения усилителя. Уровень нелинейных искажений возрастает при несимметрии схемы (неидентичности параметров транзисторов или ламп в плечах схемы).

Двухтактные выходные каскады допускают использование режимов А, АВ и В. Наиболее часто они работают в режиме В, при котором рабочая точка выбирается в области отсечки коллекторного тока (см. рис. 80, б). В исходном состоянии в этом режиме транзисторы закрыты. При подаче даже слабого сигнала один из транзисторов открывается. Смена состояний транзисторов будет происходить через половину периода усиливаемых колебаний.

Графики физических процессов в ДТУ, работающем в режиме

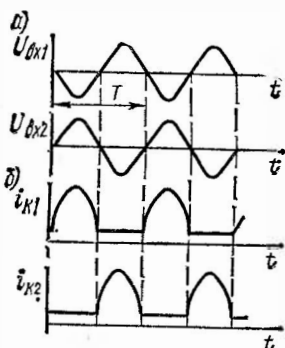


Рис. 89. Напряжение (а) и токи (б) в двухтактной схеме в режиме В.

При этом кпд может достигать 90—95 %, а мощность в нагрузке в 10—20 раз превышает мощность рассеивания на коллекторе.

К преимуществам двухтактных схем относят: уменьшение нелинейных искажений по сравнению с однотактными схемами при одинаковой полезной мощности; отсутствие подмагничивания сердечника выходного трансформатора, что облегчает его конструкцию; меньшую чувствительность к пульсациям питающего напряжения, фону вследствие компенсации магнитных потоков, возбуждаемых противофазными коллекторными токами; снижение влияния на кас-

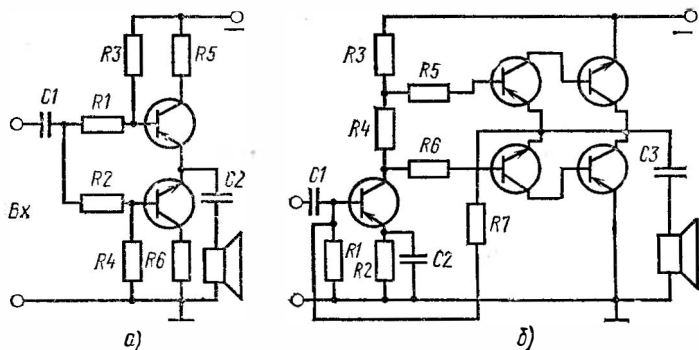


Рис. 91. Бестрансформаторные выходные каскады усилителей: а — на разноструктурных транзисторах, б — на составных транзисторах

кады предварительного усиления через источники питания из-за компенсации токов сигнала в питающих проводах, что позволяет упростить развязывающие фильтры.

Бестрансформаторные выходные каскады. Эти каскады выполняются на транзисторах с одинаковыми параметрами, но с различным типом проводимости (со структурами *p-n-p* и *n-p-n*, рис. 91, а). При этом отпадает потребность во входном трансформаторе, инвертирующем сигнал на входе каскада. В такой схеме из-за различной проводимости транзисторы будут работать поочередно при подаче на вход переменного напряжения от обычного усилительного каскада. Небольшое напряжение питания позволяет исключить и выходной трансформатор.

Бестрансформаторные каскады просты в исполнении, высокостабильны, малогабаритны, однако имеют меньший коэффициент усиления по мощности, значительные нелинейные искажения, потребляют большую мощность предоконечных каскадов. Нелинейные искажения можно скомпенсировать введением более глубокой ООС.

Схемы бестрансформаторных выходных каскадов на составных транзисторах с различным типом проводимости (рис. 91, б) обеспечивают более высокую чувствительность (за счет большего усиления по мощности) и меньше нелинейные искажения.

нижних НЧ, средних СЧ и верхних ВЧ. В области нижних частот коэффициент усиления K_n снижается (с уменьшением частоты) в основном из-за увеличения сопротивления конденсатора межкаскадной связи $C_{р1}$. Емкость этого конденсатора выбирают достаточно большой, что снизит падение напряжения на нем. Обычно низкочастотный диапазон ограничивается частотой f_n , на которой коэффициент усиления снижается до 0,7 среднечастотного значения, т. е. $K_n = 0,7K_0$. В области средних частот, составляющих основную часть рабочего диапазона усилителя, коэффициент усиления K_0

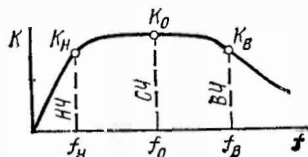


Рис. 93. Частотная характеристика резисторного каскада

практически не зависит от частоты. В области верхних частот f_v снижение усиления K_v обусловлено емкостью $C_0 \neq C_{вых} + C_m + C_{вх}$ (где $C_{вых}$ — емкость усилительного элемента каскада; C_m — емкость монтажа, $C_{вх}$ — емкость усилительного элемента следующего каскада). Эту емкость всегда стремятся свести к минимуму, чтобы ограничить через нее ток сигнала и обеспечить большой коэффициент усиления.

Расчет резисторного каскада предварительного усиления. Исходные данные: полоса усиливаемых частот $f_n \div f_v = 100 \div 4000$ Гц, коэффициент частотных искажений $M_n < 1,06$; напряжение питания $E_k = 10$ В. Каскад должен обеспечить амплитуду входного тока следующего каскада $I_{вх.тсл} = 12$ мА при его входном сопротивлении $R_{вх.сл} = 10$ Ом.

1. Выбор типа транзистора. Ток коллектора каскада, при котором обеспечивается амплитуда входного тока следующего каскада $I_{вх.тсл}$, $I_k = (1,25 \div 1,5) I_{вх.тсл} = (1,25 \div 1,5) 12 = 15 \div 18$ мА. Примем $I_k = 15$ мА. По току I_k и граничной частоте, которая должна быть $f_{с.мин} \geq 3f_v \beta_{ср} = 3f_v (\beta_{мин} + \beta_{макс}) / 2 = 3 \cdot 4000 (30 + 60) / 2 = 540\,000$ Гц = 0,54 МГц, выбираем для каскада транзистор МП41 со следующими параметрами: $I_k = 40$ мА; $U_{кз} = 15$ В; $\beta_{мин} = 30$; $\beta_{макс} = 60$; $f_{с.мин} = 1$ МГц.

2. Определение сопротивлений резисторов R_k и R_a . Эти сопротивления определяют, исходя из падения напряжения на них. Примем падение напряжения на резисторах R_k и R_a соответственно 0,4 E_k и 0,2 E_k , тогда:

$$R_k = \frac{0,4 E_k}{I_k} = \frac{0,4 \cdot 10}{15 \cdot 10^{-3}} \approx 260 \text{ Ом};$$

$$R_a = \frac{0,2 E_k}{I_k} = \frac{0,2 \cdot 10}{15 \cdot 10^{-3}} \approx 130 \text{ Ом}.$$

Выбираем резисторы МЛТ-0,25 270 Ом и МЛТ-0,25 130 Ом.

3. Напряжение между эмиттером и коллектором транзистора в рабочей точке $U_{кз0} = E_k - I_k (R_k + R_a) = 10 - 15 \cdot 10^{-3} (270 + 130) = 4$ В. При $U_{кз0} = 4$ В и $I_k = 15$ мА по статическим выходным характеристикам

кам (рис. 94, а), определяем ток базы $I_{\text{б}0}=200$ мкА в рабочей точке O' . По входной статической характеристике транзистора (рис. 94, б) $U_{\text{к}3}=5$ В для $I_{\text{б}0}=200$ мкА определяем напряжение смещения в рабочей точке $O' U_{\text{б}30}=0,22$ В.

4. Для определения входного сопротивления транзистора в точке O' проводим касательную к входной характеристике транзистора. Входное сопротивление определяется тангенсом угла наклона касательной

$$R_{\text{вх.э}} = \frac{\Delta U_{\text{б}30}}{\Delta I_{\text{б}}} = \frac{0,35 - 0,17}{0,65 \cdot 10^{-3}} = 270 \text{ Ом.}$$

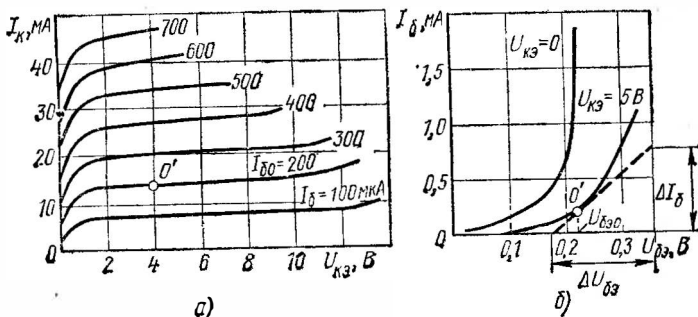


Рис. 94. Выходные (а) и входные (б) характеристики транзистора

5. Определение делителя напряжения смещения. Сопротивление резистора R_2 делителя принимают $R_2 = (5 \div 15) R_{\text{вх.э}}$. Примем $R_2 = 6 R_{\text{вх.э}} = 6 \cdot 270 = 1620$ Ом. Выбираем по ГОСТу резистор МЛТ-0,25 1,8 кОм. Ток делителя в каскадах предварительного усиления принимают $I_{\text{д}} = (3 \div 10) I_{\text{б}0} = (3 \div 10) \cdot 200 = 600 \div 2000$ мкА. Примем $I_{\text{д}} = 2$ мкА.

Сопротивление резистора R_1 делителя

$$R_1 = \frac{E_{\text{к}} - (U_{\text{б}30} + U_{\text{к}3})}{I_{\text{д}}} = \frac{E_{\text{к}} - (U_{\text{б}30} + R_2 I_{\text{к}})}{I_{\text{д}}} = \frac{10 - (0,22 + 130 \cdot 15 \cdot 10^{-3})}{2 \cdot 10^{-3}} = 3900 \text{ Ом.}$$

Выбираем по ГОСТу резистор МЛТ-0,25 3,9 кОм.

6. Расчет емкостей. Емкость конденсатора межкаскадной связи определяют, исходя из допустимых частотных искажений $M_{\text{н}}$, вносимых на низшей рабочей частоте

$$C = \frac{0,16 \cdot 10^6}{f_{\text{н}} (R_{\text{к}} + R_{\text{вх.сл}}) \sqrt{M_{\text{н}}^2 - 1}} = \frac{0,16 \cdot 10^6}{100 (270 + 10) \sqrt{1,06^2 - 1}} = 16 \text{ мкФ.}$$

Примем электролитический конденсатор емкостью 18 мкФ с $U_{\text{раб}} \geq E_K = 10$ В. Емкость конденсатора

$$C_3 = \frac{(3 \div 5) \cdot 10^6}{2\pi f_H R_3} = \frac{(3 \div 5) \cdot 10^6}{2\pi \cdot 100 \cdot 130} = 40 \div 70 \text{ мкФ.}$$

Примем электролитический конденсатор емкостью 47 мкФ с $U_{\text{раб}} \geq \Delta U_{R_3} = 0,2 E_K = 0,2 \cdot 10 = 2$ В.

Усилители с трансформаторной связью. Каскады предварительного усиления с трансформаторной связью обеспечивают лучшее согласование усилительных каскадов по сравнению с каскадами с

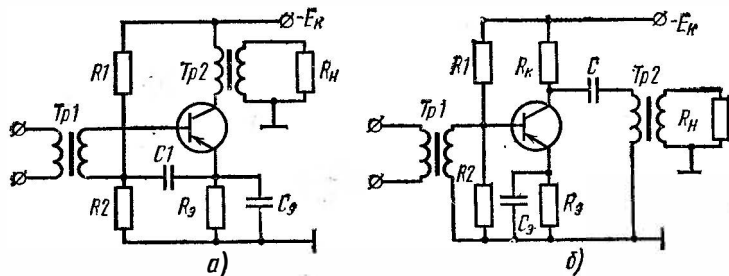


Рис. 95. Усилитель с включением транзистора:

а — последовательным, *б* — параллельным

резисторной емкостной связью и применяются в качестве инверсных для подачи сигнала на двухтактный выходной каскад. Нередко трансформатор используют в качестве входного устройства.

Схемы усилительных каскадов с последовательным и параллельным включением трансформатора показаны на рис. 95, *а*, *б*. Схема с последовательно включенным трансформатором не содержит резистора R_K в коллекторной цепи, поэтому обладает более высоким выходным сопротивлением каскада, равным выходному сопротивлению транзистора, и применяется чаще. В схеме с параллельно включенным трансформатором требуется переходной конденсатор C . Недостатком этой схемы являются дополнительные потери мощности сигнала в резисторе R_K и снижение выходного сопротивления вследствие шунтирующего действия этого резистора.

Нагрузкой трансформаторного каскада обычно служит относительно низкое входное сопротивление последующего каскада. В этом случае для межкаскадной связи используют понижающие трансформаторы с коэффициентом трансформации $n^2 = R_H / R'_H < 1$, где R'_H — сопротивление нагрузки в коллекторной цепи, приведенное к первичной обмотке. Поскольку в понижающем трансформаторе ток во вторичной обмотке в n раз больше, чем в первичной ($I_2 / I_1 = n$ или $I_2 = n I_1$), схема с трансформаторной связью позволяет получить дополнительный выигрыш в усилении по току по сравнению с усилительными каскадами с емкостной связью.

Частотная характеристика усилителя с трансформаторной связью (рис. 96) имеет снижение коэффициента усиления в области нижних и верхних частот. В области нижних частот спад коэффициента усиления каскада объясняется уменьшением индуктивного сопротивления обмоток трансформатора, вследствие чего возрастает их шунтирующее действие входной и выходной цепей каскада и снижается коэффициент усиления

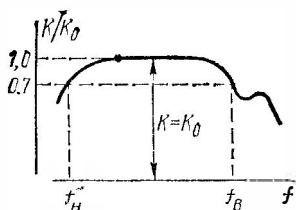


Рис. 96. Частотная характеристика усилителя с трансформаторной связью

каждого каскада. На средних частотах влиянием реактивных элементов можно пренебречь. В области верхних частот на коэффициент усиления влияют емкость коллекторного перехода C_k и индуктивность рассеивания L_S обмоток трансформатора. На некоторой частоте емкость C_k и индуктивность L_S могут вызвать резонанс напряжения, вследствие чего на этой частоте возможен подъем частотной характеристики. Иногда этим пользуются для коррекции частотной характеристики усилителя.

§ 47. Эмиттерные повторители и фазоинверсные усилители

Эмиттерные повторители ЭП (рис. 97, а) являются разновидностью усилителей на резисторах с ООС. У эмиттерного повторителя транзистор включен по схеме с ОК (коллектор заземлен по переменной составляющей тока через емкость $C_{бл}$), нагрузка R_H включена в эмиттерную цепь. Выходное напряжение $U_{вых}$, снимаемое с нагрузки R_H , совпадает по фазе с входным напряжением. Из схемы следует, что выходное напряжение вычитается из входного: $U_{вых} = U_{вх} - U_{эб}$. Каскад имеет стопроцентную последовательную ООС по напряжению.

В области средних частот при низкоомной нагрузке полное входное сопротивление ЭП в десятки раз выше, чем у обычных каскадов с ОЭ, поэтому их используют в качестве высокоомных

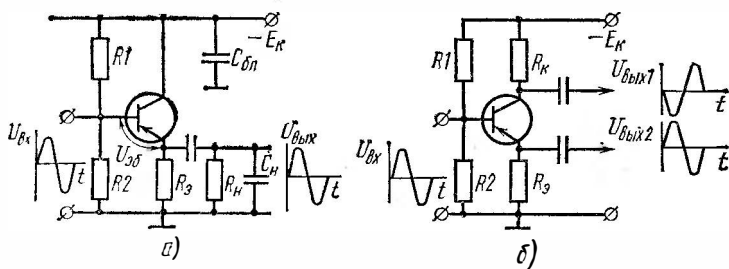


Рис. 97. Схемы эмиттерного повторителя (а) и фазоинверсного усилителя (б)

каскадов с низким уровнем шумов. Выходное сопротивление ЭП зависит от внутреннего сопротивления источника входного сигнала.

При низкоомном источнике входного сигнала и большом коэффициенте передачи β выходное сопротивление ЭП мало (порядка нескольких десятков омов). Основными показателями эмиттерного повторителя являются: коэффициент передачи по напряжению меньше единицы (порядка 0,95—0,99); усиление по току и мощности больше единицы; большое входное и малое выходное сопротивление; малые частотные искажения; большой динамический диапазон входных сигналов при низком уровне нелинейных искажений.

Эмиттерные повторители широко применяют в качестве выходного каскада при работе на низкоомную нагрузку емкостного характера; входного каскада, обладающего большим входным сопротивлением; промежуточного каскада при необходимости согласования высокого выходного сопротивления с малым входным сопротивлением.

Глубокая ООС обеспечивает высокую стабильность параметров ЭП и их меньшую зависимость от изменений температуры и напряжения питания. Эмиттерные повторители применяют в измерительной технике, устройствах автоматического регулирования и т. д.

Фазоинверсные усилители позволяют получить противофазные напряжения для возбуждения двухтактных выходных каскадов. Противофазные напряжения можно получить и от предварительного усилителя с трансформаторным выходом. Однако выходной трансформатор, имеющий вторичную обмотку с заземленной средней точкой, пропускает относительно узкую полосу частот и является громоздким и дорогостоящим элементом схемы.

Схема фазоинверсного усилителя с разделенной нагрузкой выходной цепи показана на рис. 97, б. В этом усилителе часть нагрузки включена в цепь коллектора (резистор R_k), а другая часть R_a — в цепь эмиттера. Переменный ток сигнала, проходя по резисторам $R_k = R_a$, создает на них равные, но сдвинутые по фазе на 180° напряжения $U_{вых1} = U_{вых2}$, которые могут быть использованы для управления двухтактным усилителем.

Фазоинверсный усилитель с разделенной нагрузкой не дает усиления напряжения сигнала. Развиваемое усилительным элементом (транзистором, лампой) напряжение сигнала в схеме делится пополам, поэтому выходное напряжение вдвое меньше, чем в обычном резисторном усилителе. Схема проста, обладает хорошей частотной и фазовой характеристиками.

§ 48. Усилители постоянного тока

Общие сведения. Усилители постоянного тока УПТ могут усиливать электрические колебания со спектром частот от 0 до f_v , определяемой назначением и условиями работы. По принципу действия различают усилители прямого усиления и с преобразованием. В усилителях постоянного тока с преобразованием усиливаемый постоянный ток преобразуется в переменный и усиливается с последующим выпрямлением (усиление с модуляцией и демодуляцией сигнала — МДМ).

Особенность схем УПТ прямого усиления, наличие гальванической (непосредственной) связи между выходным электродом усилительного элемента (коллектором, анодом) одного каскада и

входным электродом усилительного элемента (базой, сеткой) следующего каскада. При этом цепь связи между каскадами не содержит реактивных элементов (конденсаторов, трансформаторов), поэтому возможно прохождение сигналов любой частоты (вплоть до нулевой).

Гальваническая связь, хорошо передавая перепады потенциалов и медленные изменения токов между каскадами, затрудняет установку режима работы усилительного элемента, вызывает нестабильность работы самого усилителя. При изменениях напряжения источников питания и режимов работы усилительных элементов или их параметров возникают медленные изменения токов, которые через цепи гальванической связи передаются на вход усилителя и приводят к изменениям выходного сигнала. Эти изменения выходного сигнала неотличимы от изменений, вызванных воздействием полезного сигнала на входе усилителя.

Дрейф нуля и способы его снижения. Изменения выходного напряжения, обусловленные внутренними процессами в усилителе (нестабильностью напряжения источников питания, или параметров активных и пассивных элементов схемы, изменениями температуры окружающей среды и т. д.) и не связанные со входным напряжением, называются *дрейфом нуля* усилителя. Абсолютный дрейф нуля характеризуется максимальным изменением выходного напряжения при отсутствии сигнала на входе (при замкнутом входе) усилителя за определенный промежуток времени. Напряжение дрейфа, приведенное ко входу усилителя, равно отношению напряжения абсолютного дрейфа к коэффициенту усиления усилителя:

$$U_{др.вх} = U_{др.вых.макс} / K.$$

Значение этого напряжения ограничивает минимально различимый входной сигнал (т. е. определяет чувствительность усилителя). Для нормальной работы усилителя напряжение дрейфа не должно превышать заданного минимального напряжения усиливаемого сигнала. Если напряжение дрейфа на входе усилителя окажется того же порядка или больше напряжения сигнала, уровень искажений усилителя превысит допустимую величину, что может вызвать смещение рабочей точки усилителя вне рабочей области характеристик усилительного элемента («дрейф нуля»).

Основными способами уменьшения напряжения дрейфа являются: стабилизация напряжения или тока всех источников питания, влияющих на режим усилительного каскада; применение глубокой ООС; компенсация температурного дрейфа элементами с нелинейной зависимостью параметров от температуры; применение балансных (мостовых) схем; преобразование постоянного тока в переменный и усиление переменного тока с последующим выпрямлением.

Схемы усилителей постоянного тока. Важными задачами при построении схем УПТ являются согласование потенциалов (на входе усилителя, в точках соединения каскадов, и на выходе, при подключении нагрузки) и обеспечение стабильности работы при изменении режимов и параметров элементов схемы. Усилители постоянного тока могут быть одно- и двухтактными.

В однотактной схеме УПТ прямого усиления (рис. 98, а) напряжение сигнала с выхода одного усилительного элемента непосредственно поступает на вход следующего усилительного элемента. Одновременно с напряжением сигнала на вход следующего усилительного элемента (например, V_2) поступает напряжение питания

цепи предыдущего транзистора $V1$. Для согласования потенциала коллектора транзистора $V1$ с потенциалом базы последующего каскада на транзисторе $V2$ следует скомпенсировать коллекторное напряжение первого каскада. С этой целью в эмиттерную цепь $V2$ включают резистор $R_{э2}$, в результате чего напряжение смещения цепи базы транзистора $V2$ $U_{бэ2} = U_{кэ1} + U_{э1} - U_{э2}$. Для получения требуемого тока коллектора в транзисторе $V2$ напряжение $U_{э2}$ на резисторе $R_{э2}$ должно превышать напряжение $U_{э1}$ на резисторе $R_{э1}$. Потенциалы коллекторов последующих тран-

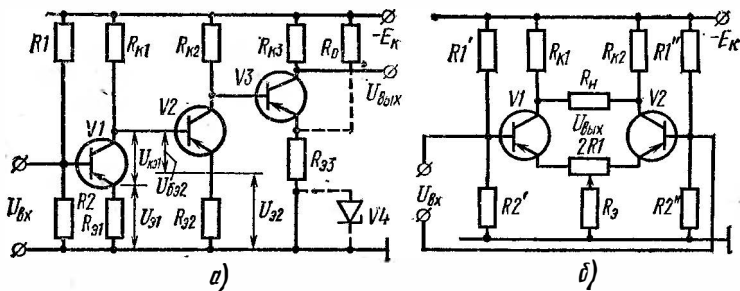


Рис. 98. Схемы усилителя постоянного тока с непосредственной связью (а) и параллельного балансного каскада (б)

зисторов должны быть высокими. Эти требования выполняются уменьшением сопротивлений R_k и увеличением $R_{э}$ последующих каскадов, т. е. выбором $R_{к3} < R_{к2} < R_{к1}$ и $R_{э3} > R_{э2} > R_{э1}$. При таком выборе резисторов R_k и $R_{э}$ снижается усиление последующих каскадов. Следует учитывать, что резисторы $R_{э1}$, $R_{э2}$ и $R_{э3}$ в схеме УПТ не только компенсируют коллекторное напряжение, поступающее на базу, но и осуществляют стабилизацию режима транзисторов за счет ООС по току. Благодаря ООС параметры усилителя (K_u , K_T , $r_{вх}$, $r_{вых}$) в меньшей степени зависят от параметров транзистора и обладают большей стабильностью при их изменениях. Сопротивление $R_{э}$ последнего каскада обычно выбирают из условий получения необходимой стабильности режима работы, а нужное смещение на базе устанавливают с помощью делителя $R_0 R_{э3}$ или стабилитрона $V4$, подключаемого к цепи эмиттера (как показано на рисунке пунктирной линией). Если эмиттерный ток транзистора меньше рабочего тока стабилитрона, в схему (для обеспечения его номинального режима) дополнительно вводят резистор R_0 .

Балансные схемы в сочетании со взаимной компенсацией, глубокой ООС и термокомпенсацией нелинейными элементами позволяют значительно увеличить стабильность УПТ. В большинстве случаев балансные схемы усилителей выполняют двухтактными. Для уменьшения дрейфа нуля применяют балансные схемы усилителей параллельного и последовательного типа.

В схеме параллельного балансного каскада (рис. 98, б) коллекторные резисторы $R_{к1}$ и $R_{к2}$ и внутренние сопротивления тран-

зисторов образуют четыре плеча моста. К одной диагонали моста между цепями коллектор — эмиттер подключается напряжение питания, а к другой (между коллекторами) — нагрузка. Входной усиливаемый сигнал прикладывается к базам обоих транзисторов. При $R_{K1} = R_{K2}$ и идентичных транзисторах плечи моста симметричны. Если сигнал на входе схемы отсутствует ($U_{вх} = 0$), разность потенциалов между коллекторами $V1$ и $V2$ также равна нулю. Если $U_{вх} \neq 0$, потенциалы на коллекторах транзисторов получают одинаковые по величине, но разные по знаку приращения ($\Delta U_{K1} = -\Delta U_{K2}$), вследствие чего в нагрузку появляется ток.

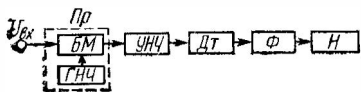


Рис. 99. Структурная схема усилителя-преобразователя

Балансные каскады параллельного типа могут быть использованы в качестве первых высокостабильных каскадов многокаскадных усилителей, а также в качестве выходных каскадов, если нужно получить симметрично изменяющееся напряжение (например, для отклоняющих пластин осциллографической трубки) или симметрично изменяющийся ток (например, для отклоняющих катушек электронно-лучевых трубок, обмоток реле). Высокая стабильность выходных данных объясняется тем, что изменения режима (температуры, напряжения источника) в симметричной схеме приводят к одинаковым изменениям потенциалов на коллекторах, поэтому выходное напряжение и ток в нагрузке не меняются.

В симметричной схеме ток через резистор R_3 можно считать не измененным ($\Delta I_{e1} = -\Delta I_{e2}$). Следовательно, обратная связь в схеме не возникает. Регулировкой сопротивления резистора связи $R1$ с отводом средней точки можно уменьшить колебания токов коллекторов. Резистор $R1$, являясь сопротивлением обратной связи, снижает усиление, однако предотвращает закрывание одного из транзисторов при малейшем разбалансе базовых потенциалов, чем расширяет динамический диапазон входных сигналов.

Балансные каскады последовательного типа на транзисторах распространения не получили, поскольку обладают большим дрейфом нуля.

Усилители постоянного тока прямого усиления обеспечивают усиление сигналов лишь в сотни микровольт и выше. Для усиления более слабых сигналов используют УПТ с преобразованием постоянного тока в переменный с последующим усилением и выпрямлением.

Структурная схема усилителя-преобразователя постоянного тока показана на рис. 99. Тип преобразователя $Пр$ определяется условиями работы УПТ. Преобразователь возбуждается генератором низкой частоты ГНЧ, напряжение которого вместе с входным напряжением сигнала $U_{вх}$ поступает на балансный модулятор БМ.

В модуляторе происходит амплитудная модуляция колебаний генератора напряжением сигнала. С выхода преобразователя модулированные колебания проходят обычный усилитель низких частот УНЧ с узкой полосой пропускания (для снижения уровня помех) и подаются на детектор ДТ. На выходе детектора из преобразованного сигнала фильтр Φ выделяет полезный сигнал, который подается в нагрузку $Н$.

§ 49. Устройство и принцип действия генераторов

Общие сведения. Электронными генераторами гармонических колебаний называют автоколебательные системы, в которых энергия источников питания постоянного тока преобразуется в энергию незатухающих электрических сигналов переменного тока требуемой частоты. Электрические сигналы, формируемые генератором, должны быть стабильными по частоте и амплитуде, синусоидальными по

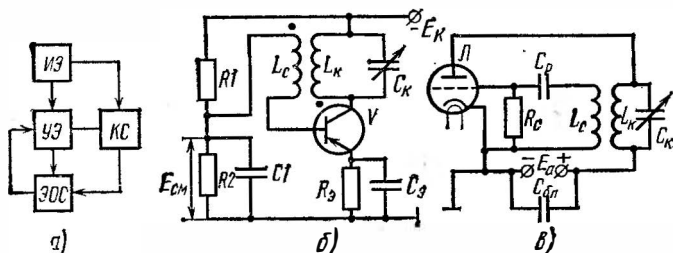


Рис. 100. Схемы автогенераторов с индуктивной обратной связью: а — функциональная, б — транзисторная, в — ламповая

форме. По принципу действия различают генераторы с самовозбуждением (автогенераторы) и с внешним (посторонним) возбуждением. Автогенераторы используют в качестве возбудителей колебаний требуемых частот, т. е. задающих генераторов. Получаемые от них колебания поступают в последующие каскады с целью усиления мощности или умножения частоты. Генераторы с внешним возбуждением являются по существу усилителями и служат для усиления мощности или умножения частоты высокочастотных колебаний.

Автогенератор представляет собой резонансный усилитель (нагрузкой служит резонансный контур) с положительной обратной связью (см. рис. 76, а), в котором выполнено условие самовозбуждения $K\beta=1$ (см. § 41). Если это условие выполняется только для одной частоты, генерируемые колебания имеют синусоидальную форму, если для многих частот, — сложную форму. Обычно это условие реализуется в генераторах релаксационных (несинусоидальных) колебаний — мультивибраторах, блокинг-генераторах и др.

Принцип действия. Функциональная схема автогенератора (рис. 100, а) состоит из колебательной системы КС (обычно контура), в которой возбуждаются требуемые незатухающие колебания; источника электрической энергии ИЭ (источника питания), благодаря которому в контуре поддерживаются незатухающие колебания; усилительного элемента УЭ (транзистора или лампы), с помощью которого регулируется подача энергии от источника в контур; элемента обратной связи ЭОС, который осуществляет подачу возбуждающего переменного напряжения из выходной цепи во входную.

По способу осуществления обратной связи различают автогенераторы с индуктивной (трансформаторной или автотрансформаторной) и емкостной ОС. Применяют также схемы двухконтурных генераторов с электронной связью и обратной связью через межуэлектродные емкости.

Схемы автогенераторов с индуктивной (трансформаторной) обратной связью показаны на рис. 100, б, в. При включении источников питания в коллекторной (анодной) цепи транзистора (лампы) возникает ток коллектора, который заряжает конденсатор ко-

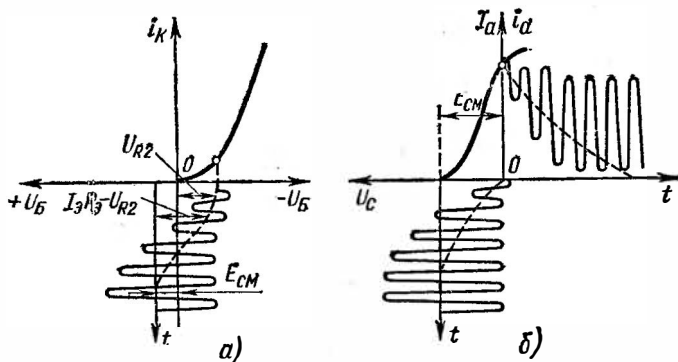


Рис. 101. Изменение токов и напряжений в транзисторной (а) и ламповой (б) схемах генератора

лебательного контура. После заряда конденсатор разряжается на катушку. В результате в контуре $L_K C_K$ возникают свободные колебания с частотой $f_0 = 1/(2\pi\sqrt{L_K C_K})$, индуктирующие в катушке связан L_C переменное напряжение той же частоты, с которой происходят колебания в контуре. Это напряжение вызывает пульсацию тока коллектора (анода). Переменная составляющая тока восполняет потери энергии в контуре, создавая на нем усиленное трансформатор переменное напряжение.

Процесс возникновения колебаний в генераторе показан на рис. 101, а, б. В начальный момент (при включении источника питания) свободные колебания в контуре имеют малую амплитуду, поэтому индуктированное этими колебаниями напряжение возбуждения на базе транзистора U_b или сетке лампы U_c невелико. После усиления сигнала усилительным элементом ток в контуре $i_k (i_a)$ возрастает, в результате чего увеличивается амплитуда напряжения возбуждения $U_b (U_c)$, а следовательно, и амплитуда тока в контуре. В установившемся режиме рост тока в контуре ограничивается сопротивлением потерь контура а также затуханием, вносимым в контур за счет прохождения тока по обмотке ОС. Незатухающие колебания в контуре автогенератора установятся лишь при выполнении фазового (баланс фаз) и амплитудного (баланс амплитуд) условий самовозбуждения генератора.

Фазовое условие сводится к тому, что в схеме генератора должна быть установлена положительная ОС между выходной и входной цепями транзистора (лампы). В этом режиме обеспечивается восполнение потерь энергии в контуре. Фазовое условие самовозбуждения выполняется, если суммарный сдвиг фаз усилительной цепи K и цепи обратной связи β (см. рис. 76) составляет $2\pi n$, где $n=0, 1, 2, \dots$. Фазовое условие удовлетворяется, если переменное напряжение на входе усилительного элемента изменяется в противофазе с переменным напряжением на контуре выходной цепи.

Обычно резонансное сопротивление параллельного контура имеет чисто активный характер. При воздействии на базу (сетку) сигнала с частотой, равной частоте резонанса, напряжение на коллекторе (аноде) будет сдвинуто по фазе на 180° (как в обычном резонансном каскаде усиления). Напряжение, индуктируемое в обмотке обратной связи L_c за счет тока I_k , проходящего через контурную катушку L_k , равно $U_\beta = \pm j\omega_0 M I_k$, где M — коэффициент взаимной индукции между катушками. Правильная фазировка колебаний достигается соответствующим включением в схему концов катушки $\odot C$, при котором $U_\beta = -j\omega_0 M I_k$.

В этом случае общий фазовый сдвиг в схеме (см. рис. 76, а) $\varphi_k + \varphi_\beta = 0$, т. е. установится положительная ОС.

Амплитудное условие самовозбуждения схемы состоит в том, что для возникновения автоколебательного режима затухание сигнала, вносимое цепью ОС, должно компенсироваться усилителем. Глубина положительной ОС должна быть такой, чтобы полностью восполнялись потери энергии в контуре. При положительной ОС коэффициент усиления (см. рис. 75) $k_\beta = K/(1-\beta K)$.

Коэффициент передачи цепи ОС, показывающий, какая часть переменного напряжения контура подается на базу (сетку) усилительного элемента в установившемся режиме работы генератора,

$$\beta = U_{\beta m} / U_{km} = I_{km} \omega_0 M / I_{km} \omega_0 L_k = M / L_k.$$

Учитывая, что усилитель с положительной ОС переходит в режим генерации при условии $k_\beta \geq 1$, коэффициент передачи цепи ОС, при котором обеспечивается самовозбуждение, $\beta \geq 1/K_{уст}$. Для транзисторной схемы коэффициент усиления на резонансной частоте в установившемся режиме

$$K_{уст} \approx \frac{h_{21э} Z_p}{R_{вх}} \approx \frac{h_{21э} Z_p}{r_б + r_э (1 + h_{21э})}$$

а для ламповой схемы

$$K_{уст} = S_H Z_p = S \frac{R_i}{R_i + Z_p} Z_p = \frac{\mu}{R_i + Z_p} Z_p,$$

где S , R_i , μ — статические параметры лампы. При удовлетворении условий баланса фаз и амплитуд в схеме автогенератора возможно установление колебательного режима.

Режимы возбуждения. Генерация колебаний зависит от выбора параметров контура и усилительного элемента, а также от начального режима работы. При выборе исходной рабочей точки на прямолинейной части характеристики получаем *мягкий режим самовозбуждения*, при котором достаточно небольшого изменения тока, чтобы развивались колебания.

Если рабочая точка выбрана в области нижнего изгиба характеристик (при большом напряжении смещения), то крутизна может оказаться недостаточной для обеспечения генерации при выбранном значении коэффициента взаимной индукции M . В этом режиме, называемом режимом жесткого самовозбуждения, возбуждение генератора возможно лишь при большой амплитуде напряжения возбуждения.

В транзисторной схеме автогенератора (см. рис. 100, б) для получения мягкого режима самовозбуждения на базу транзистора

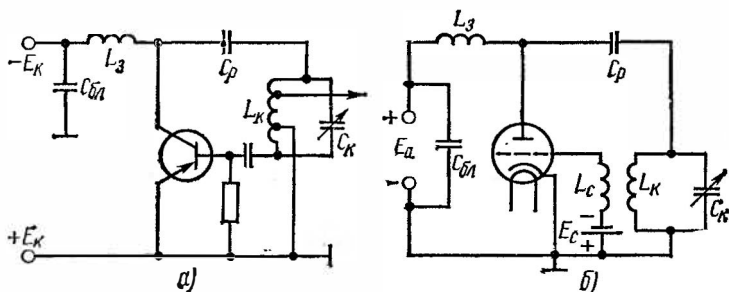


Рис. 102. Схемы автогенераторов с параллельным питанием:

а — транзисторная, б — ламповая

относительно эмиттера подают начальное напряжение смещения $E_{см} = -E_{R2}$ с делителя $R_1 R_2$. По мере нарастания амплитуды колебаний начинает преобладать падение напряжения на резисторе R_a , поэтому в установившемся режиме смещение на базе станет положительным: $E_{см} = I_a R_a - E_{R2}$. При этом генератор переходит в более экономичный жесткий колебательный режим с малыми углами отсечки коллекторного тока.

В ламповой схеме генератора (см. рис. 100, в) мягкое самовозбуждение с последующим переходом от мягкого режима к жесткому осуществляется автоматически с помощью цепи $R_c C_c$, включаемой в цепь сетки. При этом лампа L должна работать в режиме сеточных токов. В начальный момент смещение на сетке отсутствует, а крутизна велика. С ростом напряжения возбуждения появляется сеточный ток, который обеспечивает заданное смещение $E_{см} = I_{c0} R_c$.

Электропитание автогенераторов. Схемы автогенераторов (см. рис. 100, а—в) являются схемами с последовательным питанием, поскольку транзистор (лампа) и колебательный контур $L_k C_k$ по отношению к источнику E_k или E_a включены последовательно и через них проходит постоянная составляющая коллекторного (анодного) тока. В этих схемах приближение руки к контуру $L_k C_k$ (например, при настройке) влияет на его емкость, а следовательно, и частоту. Кроме того, в ламповой схеме контур относительно корпуса находится под сравнительно высоким напряжением анодного источника, что неудобно при обслуживании. Однако схема с последовательным питанием содержит меньше блокировочных элементов (конденсаторов, дросселей).

В схемах автогенераторов с параллельным питанием (рис. 102, а, б) транзистор (лампа), контур $L_k C_k$ и источник питания $E_k(E_a)$ включены параллельно. Принцип действия генератора, собранного по этой схеме, в основном аналогичен принципу действия генератора с последовательным питанием. Разделение переменного и постоянной составляющих коллекторного (анодного) тока достигается заградительными дросселями L_a и конденсаторами C_p . Переменная составляющая коллекторного (анодного) тока, для которой дроссель представляет большое, а конденсатор малое сопротивление, в основном проходит через транзистор (лампу) и контур, выполняя в нем потерю энергии. Если бы в схеме не было дросселя L_a , переменная составляющая тока, замыкаясь через источник, не поступала бы в контур и возникновение колебаний было бы невозможно. При отсутствии в схеме конденсатора C_p постоянный ток от источника $E_k(E_a)$, замыкаясь через дроссель L_a и катушку L_k , мог бы заметно возрасти и вызвать перегрузку источника и недопустимый нагрев катушек L_a и L_k .

§ 50. Рабочие режимы генераторов

Исходный режим работы электронного генератора устанавливается значением напряжения смещения, определяющего положение рабочей точки на характеристиках. Различают два основных режима работы электронных генераторов: колебаний I рода и колебаний II рода. Режим колебаний I рода получают при «малом» сигнале, когда генератор работает с углом отсечки $\theta=180^\circ$ (режим А). При «большом» сигнале генератор работает с нижней отсечкой коллекторного (анодного) тока с $\theta=90^\circ$. Импульсы тока в этом режиме относят к колебаниям II рода, а работу транзисторов (ламп) — к режиму В (при $\theta=90^\circ$) или к С (при $\theta<90^\circ$). Для генераторов с внешним возбуждением, используемым в качестве усилителей мощности, предпочтительны режимы В и С, при которых обеспечивается более высокий коэффициент усиления и КПД.

В транзисторных схемах при открытом эмиттерном переходе транзистор может находиться в активном состоянии или в насыщении. По этому признаку применяемые в генераторах режимы работы можно разделить на недонапряженный, критический и перенапряженный. Если рабочая точка в период колебаний находится в активной области А семейства коллекторных характеристик (рис. 103, а), режим работы генератора является *недонапряженным*, который характеризуется относительно малым током базы, косинусоидальной формой импульса коллекторного тока, большой мощностью рассеивания на коллекторе и малым КПД выходной цепи.

При заходе рабочей точки в период колебаний в область насыщения Н режим работы генератора становится *перенапряженным*, который характеризуется относительно большим током базы (вследствие чего в верхней части импульса коллекторного тока появляется характерный провал, рис. 103, б), высоким КПД выходной цепи, незначительным влиянием изменений нагрузки на выходное напряжение. Недостатком перенапряженного режима является рост мощностей возбуждения и их рассеивания во входной цепи, а также некоторое снижение колебательной мощности и коэффициента усиления.

Между рассмотренными предельными режимами лежит *критический* (оптимальный) режим, которому соответствует линия крити-

ческого режима, проходящая через точки резкого спада коллекторного тока (прямая 1 на рис. 103, а). В этом режиме токи базы относительно невелики и не вызывают существенных искажений формы импульса коллекторного тока, невелика и мощность возбуждения, а мощность и кпд выходной цепи близки к максимальным.

Иногда на семействе коллекторных характеристик приводится линия параметрического режима $I_k = \varphi(U_{кз})$, указывающая зависимость усилительных свойств транзистора от коллекторного тока и напряжения (прямая 2 на рис. 103, а). По ходу этой линии лежит

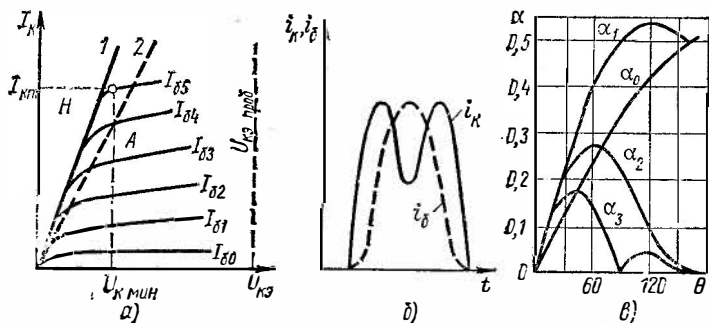


Рис. 103. Статические характеристики транзистора (а) и перенапряженного режима (б), графики коэффициентов разложения импульсных токов (в)

область граничного режима работы генератора. Слева от линии лежит область параметрического режима с резко меняющейся зависимостью параметров транзистора от режима работы, а справа — область допараметрического режима, которой присуще постоянство параметров транзистора.

При работе с нижней отсечкой коллекторный ток имеет форму периодически повторяющихся импульсов. При подаче косинусоидального возбуждающего напряжения и работе в недонапряженном режиме каждый импульс коллекторного тока представляет собой часть косинусоиды. Известно, что всякая периодическая функция может быть разложена в тригонометрический ряд Фурье. Вследствие этого последовательность периодически повторяющихся импульсов коллекторного тока можно представить в виде суммы, содержащей постоянную составляющую $I_{к0}$ (среднее значение) рассматриваемого тока и ряд переменных составляющих (гармоник) $I_{к1m}, I_{к2m}, \dots, I_{кnm}$.

Гармонический состав импульсов коллекторного тока и их амплитуды существенно зависят от угла отсечки θ и максимального значения $I_{кm}$ импульса тока. Максимальный ток $I_{кm}$ в импульсе в критическом и недонапряженном режимах определяют по семейству статических характеристик транзистора при напряжениях $U_{б \max} = E_{зб} - U_{бт}$ и $U_{к \min} = U_{кт} - E_{к}$. Компоненты коллекторного тока — постоянную составляющую $I_{к0}$, амплитуду первой $I_{к1m}$, второй $I_{к2m}$ и других гармоник — определяют по наибольшему значению коллекторного тока в импульсе $I_{кm}$ и коэффициентам разложения:

$I_{к0} = \alpha_0 I_{кн}$; $I_{к1н} = \alpha_1 I_{кн}$, ..., $I_{кп} = \alpha_n I_{кн}$, где $\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_n$ — коэффициенты разложения косинусоидального импульса тока, определяемые по специальным таблицам А. И. Берга или номограммам в зависимости от угла отсечки θ (рис. 103, в).

§ 51. Схемы автогенераторов

Кроме рассмотренных ранее схем с трансформаторной связью широко распространены трехточечные схемы с индуктивной автотрансформаторной (рис. 104, а) и емкостной (рис. 104, б) ОС, в ко-

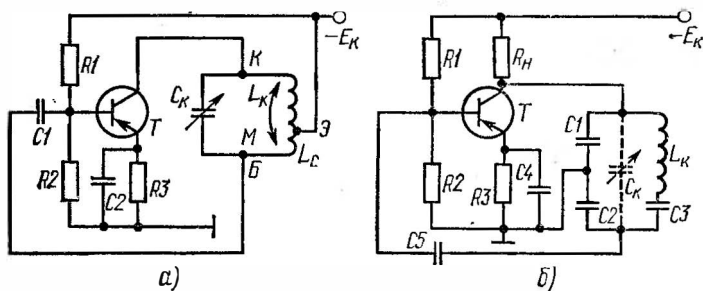


Рис. 104. Трехточечные схемы автогенераторов:

а — с индуктивной автотрансформаторной связью, б — с емкостной связью

торых колебательный контур подключается к электродам транзистора (по переменному току высокой частоты) тремя точками Э, Б, К (на рис. 104, а отвод Э от контурной катушки подключен к эмиттеру через малое внутреннее сопротивление источника E_k), а также схемы RC-генераторов. Элементы контура к электродам транзистора должны подключаться так, чтобы выполнялось фазовое условие самовозбуждения генератора.

В автотрансформаторной схеме с индуктивной ОС (см. рис. 104, а) напряжение ОС снимается с части витков L_c контурной катушки L_k , которые заключены между эмиттером и базой транзистора, и через конденсатор $C1$ подается на его базу. Мгновенные значения напряжений на катушках L_c и L_k относительно средней точки противоположны (сдвинуты по фазе на 180°) и усилительный каскад дополнительно сдвигает фазу на 180° , в результате чего в схеме устанавливается положительная ОС и обеспечивается баланс фаз. Амплитудное условие самовозбуждения удовлетворяется подбором величины ОС (числа витков катушки связи).

В схеме с емкостной ОС (рис. 104, б) резонансный колебательный контур образован конденсаторами $C1, C2$ и катушкой L_k . Напряжение ОС снимается с конденсатора $C2$. Фазовое условие самовозбуждения в схеме удовлетворяется, поскольку мгновенные значения напряжения на конденсаторах противоположны. Условие баланса амплитуд обеспечивается выбором емкости конденсатора $C2$. При ее увеличении ОС уменьшается. Настройку контура генератора удобно производить конденсатором переменной емкости C_k , вклю-

чаемым параллельно катушке контура. При включении конденсатора $C3$ в контур последовательно с катушкой L_k обеспечивается повышение стабильности частоты генератора при изменениях температуры и напряжения источника питания. Рабочий режим транзистора по постоянному току и его термостабилизация устанавливаются в приведенных схемах с помощью делителя $R1R2$ и резистора $R3$.

RC -генераторы формируют гармонические колебания низких частот. На низких частотах затруднительно использование частотно-избирательных LC -цепей вследствие значительного увеличения раз-

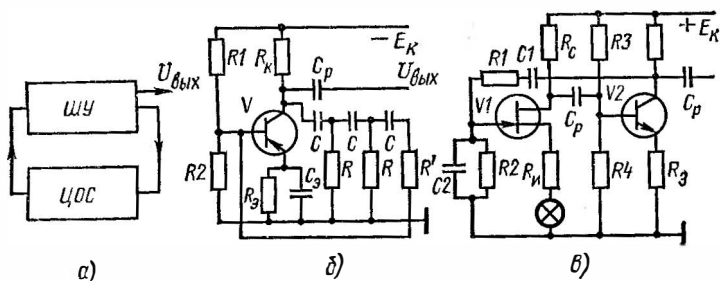


Рис. 105. Схемы генераторов:

a — структурная, $б$ — с трехзвенной фазирующей цепью, $в$ — с Г-образной фазирующей цепью; R_H, R_C — резисторы истока и стока, C_p — разделительный конденсатор

меров элементов контура, снижения его добротности, невозможности плавной перестройки контура в широком диапазоне частот. Поэтому для генераторов низких частот применяют частотно-избирательные (фазирующие) RC -цепи.

Структурная схема генератора (рис. 105, a) с частотно-избирательной RC -цепью содержит широкополосный усилитель $ШУ$ и фазирующую цепь частотно-избирательной обратной связи $ЦОС$. В качестве фазирующей цепи используют одно- или многозвенные RC -фильтры, обеспечивающие требуемый фазовый сдвиг на частоте генерируемых колебаний. Чтобы частота колебаний в генераторе в основном определялась параметрами звеньев фазирующей цепи, а их амплитуда оставалась стабильной в заданном диапазоне частот, усилитель должен иметь большой коэффициент усиления по току и обладать высоким входным и относительно малым выходным сопротивлением.

Схема RC -генератора с трехзвенной фазирующей RC -цепью показана на рис. 105, $б$. Напряжение на выходе резисторного усилителя сдвинуто по фазе на 180° относительно напряжения на входе. Чтобы получить положительную ОС в генераторе, трехзвенная фазирующая цепь должна обеспечивать дополнительный фазовый сдвиг сигнала на 180° . Фазирующая цепь вызывает затухание сигнала, поэтому для выполнения условия баланса амплитуд в схеме используют транзистор с относительно большим коэффициентом передачи тока ($h_{21э} > 45$).

Схема RC -генератора с Г-образной фазирующей цепью показана на рис. 105, $в$. Генератор представляет собой двухкаскадный широ-

кополосный резисторный усилитель с положительной ОС. Каждый из резисторных каскадов изменяет фазу колебаний на 180° , поэтому баланс фаз в схеме обеспечивается автоматически. Чтобы генератор работал на одной частоте, условие баланса фаз должно выполняться лишь на рабочей частоте генератора. Для выполнения этого условия в цепь ОС включена фазирующая Г-образная цепь с последовательно соединенными элементами $C1R1$ и параллельно соединенными $C2R2$. Цепь $C1R1$ создает положительный фазовый сдвиг, а $C2R2$ — отрицательный. На определенной частоте фазовый сдвиг сигнала будет скомпенсирован (окажется равным нулю). На этой частоте и будет осуществляться баланс фаз, т. е. наступит самовозбуждение генератора. Частота генератора $\omega = 1/\sqrt{C1R1C2R2}$, а при $R1=R2=R$ и $C1=C2=C$, $\omega = 1/RC$. Коэффициент передачи фазосдвигающей цепи $K_{ос} = 1 / \left(1 + \frac{R1}{R2} + \frac{C1}{C2} \right)$, а при $R1=R2=R$ и $C1=C2=C$ $K_{ос} = 1/3$.

Очевидно, условие баланса амплитуд в схеме выполняется лишь при коэффициенте усиления двухкаскадного усилителя $K \geq 3$.

Свойства фазосдвигающей цепи реализуются при высоком входном сопротивлении первого каскада и малом выходном сопротивлении второго каскада. Для этой цели первый каскад выполняют на полевом транзисторе. Для стабилизации амплитуды колебаний в генератор введена ОС на нелинейных элементах (терморезисторах, лампах накаливания), сопротивление которых зависит от проходящего тока. Регулирование рабочей частоты осуществляется изменением параметров двух элементов фазирующей цепи, поэтому в схеме используют вдвоенные переменные резисторы или вдвоенные конденсаторы переменной емкости.

§ 52. Стабилизация частоты генераторов

Общие сведения. Частота колебаний автогенератора определяется его режимом работы и параметрами контура. В процессе работы генератор подвергается различным воздействиям (изменениям температуры, напряжения, влиянию других усилительных каскадов), вызывающим изменение частоты. Уменьшение влияния этих факторов достигается параметрической и кварцевой стабилизациями.

Параметрическая стабилизация частоты осуществляется подбором элементов схемы (конденсаторов, катушек индуктивности, резисторов, транзисторов), параметры которых в процессе работы изменяются мало. Температурные влияния уменьшают с помощью термической герметизации контуров генераторов в специальных термостатах, с использованием конденсаторов с отрицательными ТКЕ, компенсирующих увеличение емкости других элементов схемы. Влияние колебаний питающих напряжений снижают, применяя стабилизаторы напряжения и тока. Электромагнитные влияния ослабляют, рационально размещая элементы схемы и экранируя их.

Кварцевая стабилизация, наиболее эффективный способ повышения устойчивости частоты генераторов, основана на применении в схемах кварцевых пластин с сильно выраженным пьезоэлектрическим эффектом. Если к пластине кварца приложить переменное напряжение (поместить ее в электрическое поле ВЧ), то она испытывает периодические механические деформации, т. е. сжимается и разжимается, что в свою очередь вызывает появление электрических зарядов на ее гранях. В результате в цепи (между входными зажимами)

проходит переменный ток, имеющий две составляющие. Реактивный ток I_c проходит через емкость, образованную металлическими пластинами кварцдержателя. Ток кварца I_k обусловлен наличием пьезоэффекта и зависит от частоты приложенного напряжения. Когда частота подведенного переменного напряжения совпадает с собственной частотой механических колебаний кварца, наступает резонанс, при котором амплитуда колебаний будет максимальной. При этом пьезоэлектрический ток будет наибольшим, а его фаза совпадет с фазой приложенного напряжения. Поэтому вблизи резонансных

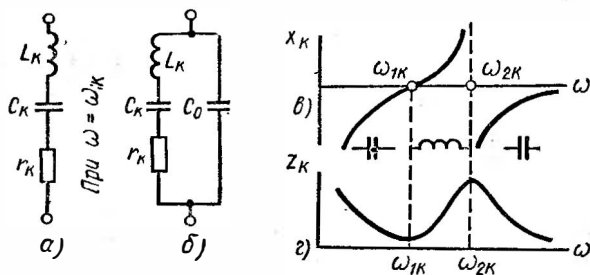


Рис 106. Эквивалентные схемы кварцевого резонатора (а, б) и графики реактивного (в) и полного (г) сопротивлений кварца

частот кварцевую пластину можно представить в виде последовательного контура с сосредоточенными постоянными L_k , C_k , r_k (рис. 106, а) и параллельно подключенной к нему статической емкости кварцдержателя C_0 (рис. 106, б). Практически емкость C_0 в сотни раз больше эквивалентной емкости кварца, поэтому собственная резонансная частота кварца как последовательного контура $\omega_{1k} = 1/\sqrt{L_k C_k}$ близка к собственной частоте эквивалентного параллельного контура $\omega_{2k} \approx 1/\sqrt{L_k(1 - C_k/C_0)}$. Поскольку $C_0 \gg C_k$, частота параллельного резонанса ω_{2k} отличается от частоты последовательного резонанса ω_{1k} незначительно. Относительный разнос частот $(\omega_{2k} - \omega_{1k})/\omega_{1k} = C_k/2C_0 \approx 0,005 \div 0,5 \%$.

На рис. 106, в, г показана зависимость реактивного x_k и полного z_k сопротивлений кварца от частоты (без учета активных потерь в нем). Из графиков следует, что при $\omega_{2k} > \omega > \omega_{1k}$ сопротивление кварца носит индуктивный, а при $\omega < \omega_{1k}$ и $\omega > \omega_{2k}$ — емкостной характер.

Стабильность частоты автоколебаний в зависимости от изменений емкости C_0 и C_k $\Delta\omega_{2k} = -\omega_{1k}(\Delta C_0/2C_0 \cdot (C_k/C_0))$ и $\Delta\omega_{2k} = \omega_{1k}(\Delta C_k/2C_0)$. Из равенств следует, что изменение емкости C_0 в C_0/C_k раз меньше влияет на частоту, чем изменение емкости C_k . Практически $C_0/C_k \approx 10^2 \div 10^4$, поэтому изменение внешней емкости схемы кварцевого автогенератора, подключенной параллельно C_0 , слабо влияет на частоту автоколебаний.

Добротность кварцевого резонатора на частоте последовательного резонанса $Q_k = \omega_{1k} L_k / r_k = \sqrt{L_k / C_k} / r_k = \rho_k / r_k$, где $\sqrt{L_k / C_k} = \rho_k$ — характеристическое сопротивление кварца.

Благодаря большой индуктивности L_K и малой емкости C_K величины R_K и Q_K достигают значений, во много раз превышающих их значения в обычных электрических контурах, что обеспечивает малое затухание и очень высокую стабильность резонансной частоты кварцевого контура.

Автоколебания в кварцевом автогенераторе возможны только на частотах, соответствующих высокому значению крутизны фазовой характеристики, т. е. вблизи частоты ω_{1K} или ω_{2K} . В обоих случаях сопротивление кварца x_K носит индуктивный характер (см. рис.

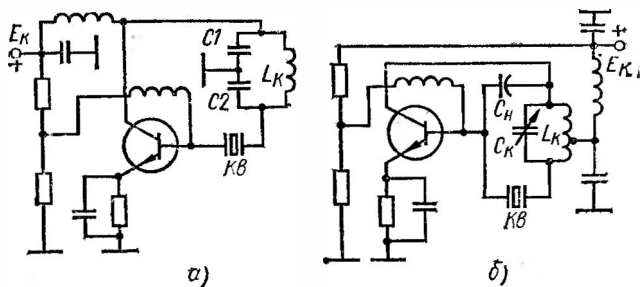


Рис. 107. Схемы транзисторных кварцевых автогенераторов:

а — с включением кварца в цепь обратной связи, *б* — мостовая

106, в). На частотах, соответствующих емкостному характеру сопротивления, кварц не возбуждается. Наибольшую добротность имеют кварцы, возбужденные на 5—7-й механических гармониках.

Основные электрические параметры кварцевого резонатора (частота последовательного ω_{1K} и параллельного ω_{2K} резонансов, добротность Q_K , температурный коэффициент частоты ТКЧ, предельно допустимая мощность рассеивания P_K) определяются геометрическими размерами, типом среза пластин и видом колебаний (на основной или механической гармонике возбуждения). Для различных видов среза собственная частота кварца, МГц, колеблется в пределах: $f_0 = 1,6/d \div 3,5/d$, где d — толщина пластины, мм. Например, для пластины x -среза и колебаний по толщине (вдоль оси x) собственная частота равна $2,836/d$.

Схемы кварцевых автогенераторов. Существует два основных типа схем кварцевых автогенераторов: осцилляторные и с затягиванием.

В **осцилляторных схемах** используется свойство кварца сохранять индуктивный характер сопротивления в узком интервале частот, лежащих между частотами последовательного ω_{1K} и параллельного ω_{2K} резонанса (см. рис. 106, в). Осцилляторные схемы собраны по типу трехточечных. В них кварц включается в такие участки схемы, сопротивление которых для выполнения фазового условия самовозбуждения должно иметь индуктивный характер.

В **схемах с затягиванием** в состав колебательной системы кроме кварца включается катушка индуктивности или дополнительный контур, поэтому в схемах возможны колебания даже при емкостном

характере сопротивления кварца, т. е. при отсутствии кварцевой стабилизации. При работе с затягиванием на частоту автоколебаний влияют параметры схемы генератора, поэтому эти схемы применяют реже осцилляторных.

Схемы, в которых осуществляется компенсация статической емкости кварца, относят к *компенсационным*. Различают схемы с возбуждением кварца на основной частоте и на механических гармониках.

В наиболее распространенных схемах транзисторных автогенераторов с включением кварца в цепь обратной связи (рис. 107, а) и мостовой (рис. 107, б) возбуждение кварца возможно на основной частоте последовательного резонанса $\omega_{1к}$ или на нечетной механической гармонике $\omega_n \approx n\omega_{1к}$. В этих схемах возникновение автоколебаний возможно лишь на частоте последовательного резонанса $\omega_{1к}$ или $n\omega_{1к}$, на которой сопротивление кварца r_k мало, вследствие чего оказывается замкнутой цепь обратной связи база — коллектор.

При отклонении частоты колебательного контура от резонансной $\omega_{1к}$ пьезокварц вносит дополнительный фазовый сдвиг, из-за чего нарушается фазовое условие самовозбуждения. Дополнительная емкость C_n в мостовой схеме (см. рис. 107, б) включена для нейтрализации статической емкости кварца, через которую возможна дополнительная паразитная связь. В схеме, показанной на рис. 107, а, компенсация этой емкости возможна с помощью параллельного подключения к кварцу индуктивности.

Глава IX. РАДИОВЕЩАТЕЛЬНЫЕ ПРИЕМНИКИ

§ 53. Основные качественные показатели приемников

В соответствии с рекомендациями Международного консультативного комитета по радио (МККР) спектр радиочастот делится на диапазоны, которые приведены в табл. 133.

Важнейшими качественными показателями являются следующие.

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—1605 кГц или 571,4—186,9 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 интервалы диапазона (25; 31; 41; 49 и 75 м), в пределах которых ведутся передачи.

Номинальная выходная мощность — наибольшая электрическая мощность сигнала, которая подводится к головке громкоговорителя приемника при заданной величине нелинейных искажений. Выходная мощность портативных транзисторных 10—150 мВт, сетевых ламповых радиовещательных приемников 0,5—10 Вт. Обычно выходная мощность достигает номинальной величины лишь в моменты действия сильных звуков.

Наименование		Границы диапазона	
радиочастот	радиоволн	радиочастот	радиоволн'
Очень низкие	Мириаметровые	3—30 кГц	100—10 км
Низкие	Километровые (длинные ДВ)	30—300 кГц	10—1 км
Средние	Гектометровые (средние СВ)	300—3000 кГц	1000—100 м
Высокие	Декаметровые (короткие КВ)	3—30 МГц	100—10 м
Очень высокие	Метровые	30—300 МГц	10—1 м
Ультравысокие	Дециметровые	300—3000 МГц	100—10 см
Сверхвысокие	Сантиметровые	3—30 ГГц	10—1 см
Крайне высокие	Миллиметровые	30—300 ГГц	10—1 мм
Гипервысокие	Децимиллимет- ровые	300—3000 ГГц	1—0,1 мм

Номинальное выходное напряжение — эффективное звуковое напряжение на громкоговорителе, соответствующее номинальной выходной мощности.

Чувствительность с антенного входа приемника характеризуется минимальной величиной эдс сигнала в антенне, при которой обеспечивается получение нормальной выходной мощности при отношении сигнал/шум не менее 20 дБ (10 раз). Для радиовещательных приемников чувствительность составляет десятки — сотни микровольт. При малом значении эдс 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 чувствительность с гнезд звукоснимателя. Она характеризуется напряжением низкой частоты, которое нужно подать на эти гнезда, т. е. на вход УНМЧ приемника, чтобы на его выходе получить номинальную выходную мощность. Для большинства приемников чувствительность со входа звукоснимателя 250 мВ.

Избирательность по соседнему каналу определяет 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 чего 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 амплитудно-модулированных АМ сигналов в диапазонах ДВ, СВ, КВ или на ± 250 кГц при приеме частотно-модулированных ЧМ сигналов в диапазоне УКВ.

Избирательность приемника изображается графиком, выражающим изменение чувствительности приемника при расстройке контуров относительно частоты приема (рис. 108). Приемник с такой кривой

избирательности имеет на резонансной частоте f_p максимальную чувствительность 25 мкВ, а при расстройке контуров ± 10 кГц от резонансной частоты чувствительность ухудшается до 1000 мкВ, т. е. в 40 раз.

Избирательность приемника по зеркальному каналу показывает, во сколько раз чувствительность приемника к сигналу на зеркальной частоте меньше чувствительности к сигналу основной частоты приема.

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 на $3465 - 3000 = 465$ кГц или от частоты принимаемого сигнала на удвоенную промежуточную частоту ($3465 - 2535 = 2 \cdot 465$ кГц), тоже может быть принята приемником и создает зеркальную помеху.

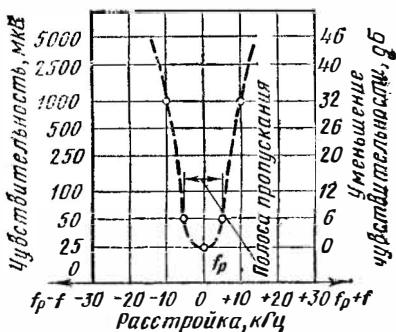


Рис. 108. Кривая избирательности приемника

Ослабление зеркальных помех осуществляется резонансными контурами входных устройств и усилителей радиочастот УРЧ, включенных до преобразователя и настраиваемых на частоту принимаемой станции.

Полоса пропускаемых частот оценивается по частотной характеристике. Отдельные каскады приемника неодинаково усиливают принимаемые частоты, что вызывает появление частотных искажений. Величину частотных искажений оценивают по частотным характеристикам, выражающим зависимость усиления от частоты.

Различают частотные характеристики усилителя низкой частоты УНЧ, высокочастотной части приемника (включающей УРЧ, преобразователь и усилитель промежуточной частоты УПЧ) и в целом всего тракта приемника. Наиболее полно характеризует приемник частотная характеристика всего тракта усиления, включая частотную характеристику головки 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. 108.

Полоса пропускания усилителя напряжения модулирующей частоты (УНМЧ) оценивается интервалом частот (рис. 109), на границах которого усиление снижается на 6 дБ (в 2 раза) от своего максимального значения на частоте 1000—2000 Гц. Чем шире полоса воспроизводимых звуковых частот и равномернее усиление в ее пределах, тем меньше частотные искажения и выше качество звучания.

Уровень фона приемника определяется как отношение напряжения фона переменного тока к номинальному выходному напряжению приемника.

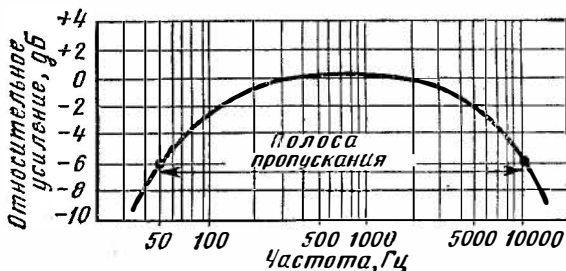


Рис. 109. Частотная характеристика УНМЧ приемника

§ 54. Классификация приемников

В зависимости от электроакустических показателей радиоприемники делят 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 (радиоолы, магнитолы, телерадиоолы и др.). Основные качественные показатели радиовещательных приемников различных классов приведены в табл. 134.

Радиовещательные приемники для удобства их эксплуатации могут иметь ряд вспомогательных устройств. Приемники высшего и I классов имеют растянутые и полурастянутые диапазоны, а также регулятор громкости с тонкокомпенсацией. Приемники высшего, I и непереносные II класса содержат внутреннюю антенну УКВ-диапазона и фиксированное положение «местный прием» в диапазонах ДВ и СВ. Приемники высшего, I и непереносные II класса имеют регулятор тембра то низшим звуковым частотам. Приемники высшего, I и II и непереносные III класса содержат регулятор тембра высших звуковых частот.

§ 55. Структурные схемы приемников

По принципу усиления принимаемого сигнала различают радиовещательные приемники прямого усиления, в которых сигнал усиливается непосредственно, и супергетеродинные, в которых усиление сигнала осуществляется на промежуточной частоте, получаемой в результате преобразования частоты принимаемого сигнала. Выбор

Таблица 134

Параметры радио- приемников	Классы				
	высший	I	II	III	IV
Диапазоны при- нимаемых час- тот: 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 ан- тенной, мкВ: ДВ и СВ	50		150	200	300
КВ			200		—
УКВ	4	10	20	30	—
Чувствительность с внутренней магнитной ан- тенной, мВ/м: ДВ	—	1	2	2,5	3
СВ	—	0,7	1	1,5	2

Параметры радио- приемников	Классы				
	высший	I	II	III	IV
Избирательность ДВ и СВ, дБ	60	46	34	26	16—20
Крутизна ската резонансной ха- рактеристики на УКВ, дБ/кГц	0,25	0,2	0,17	0,15	—
Ослабление зер- кального кана- ла, дБ:					
ДВ	60	46	40	20—26	16—20
СВ	50	26		20	20
КВ	26	14	12	—	—
УКВ	30	24		20	—
Действие авто- матической ре- гулировки усн- ления на ДВ-, СВ- и КВ-диа- пазонах, дБ:					
изменение на- пряжения на входе	60	40	26	25	26
соответству- ющее измене- ние на выходе	8	12	10	12	12
Ручная регули- ровка громко- сти, дБ	60	50		30—40	
Уровень фона, дБ:					
с антенного входа	-54	-44	-40	-30	-30
с входа уси- лителя низ- кой частоты	-60	-50	-46	-36	

Параметры радио- приемников	Классы					
	высший	I	II	III	IV	
Частотная харак- теристика при- емников на ДВ, СВ и КВ, Гц:	непереносные	40—6000	60—4000	80—4000	—	—
	мебельные	60—6000	80—4000	100—	150—	200—
	настольные	—	150—	4000	3500	3000
	переносные	—	4000	200—	300—	450—
			4000	3500	3000	
Частотная харак- теристика при- емников на УКВ, Гц:	непереносные	40—	60—	80—	—	—
	мебельные	15000	12 000	10 000	—	—
	настольные	60—	80—	100—	120—	200—
	переносные	15000	12 000	10 000	7000	6000
	—	150—	200—	300—	—	
		12 000	10 000	7000		
Потребление элек- троэнергии при- емниками, Вт:	непереносные	4	3,5	1,2	0,5	0,3
	батарейные	—	2	—	0,5	0,3
Напряжения пи- тания от сети, В:	номинальные	127 и 220				
	предельные	114—140 и 198—242				
Напряжения пи- тания от бата- рен, В:	номинальные	120 или 9	9	9 или 4,5		
	предельные	7,2 или 5,6	5,6	5,6 или 2,8		

схемы приемника зависят от его назначения и предъявляемых к нему требований. Схемы прямого усиления применяют в основном для малогабаритных транзисторных приемников (микроприемников), рассчитанных на прием мощных или близлежащих радиостанций. В других случаях применяют преимущественно приемники, собранные по супергетеродинной схеме. Качественные показатели радиовещательных приемников приведены в табл. 134.

Приемники прямого усиления (рис. 110, а) содержат: входные устройства, выделяющие сигнал, принятый антенной

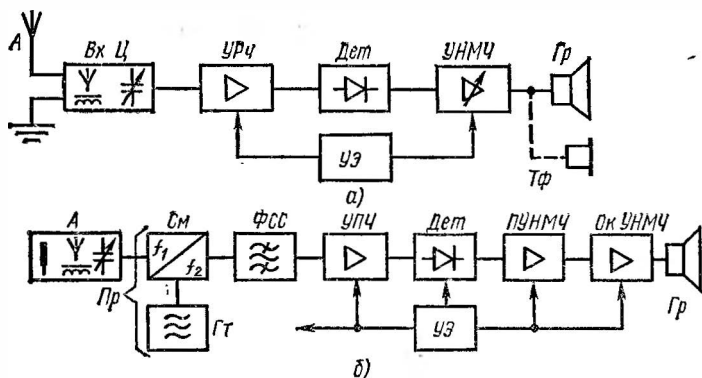


Рис. 110. Структурные схемы приемников:
а — прямого усиления, б — супергетеродинная

А; один или два каскада усиления высокой радиочастоты УРЧ; детекторный каскад Дет; двух- и трехкаскадный усилитель напряжения модулирующей частоты УНМЧ, нагруженный на громкоговоритель Гр или телефон Тф, и устройства электропитания УЭ.

В таких приемниках иногда применяют рефлексные схемы, в которых один и тот же каскад используется для усиления принятых модулированных ВЧ- и НЧ-колебаний, получаемых в результате детектирования. Приемники прямого усиления обычно работают в одном (СВ или ДВ) диапазоне. Прием сигнала в них осуществляется на встроенную в приемник малогабаритную магнитную антенну АМ. Для повышения чувствительности и избирательности детекторный каскад приемника может быть выполнен по регенеративной схеме (с положительной обратной связью).

Микроприемники прямого усиления, содержащие 2-3 каскада УРЧ и такое же количество каскадов УНМЧ (без положительной обратной связи ВЧ), обладают чувствительностью 30—60 мВ/м. Эти приемники имеют лишь по одному резонансному контуру (контур магнитной антенны), поэтому их избирательность невысока (ослабление сигнала при расстройке контура на 30 кГц может достигнуть лишь 10 дБ).

Полоса воспроизводимых частот при приеме на ушной телефон порядка 300—3000 Гц, а выходная мощность — 0,1—0,3 мВт. Электропитание может осуществляться от гальванических элементов или

двух-трех последовательно соединенных аккумуляторных или оксидно-ртутных элементов.

В супергетеродинных приемниках усиление сигналов осуществляется не на принятой, а на промежуточной частоте, получаемой в результате преобразования несущей частоты сигнала, поэтому в схеме снижаются нежелательные обратные связи и повышается устойчивость. В результате увеличения числа каскадов усиления промежуточной частоты УПЧ повышается избирательность. Супергетеродинные приемники могут быть собраны по упрощенной (без каскада УРЧ) или более сложной (с УРЧ и рядом других элементов) схеме. По сложной схеме выполняют большинство современных радиовещательных приемников.

Типовая упрощенная схема портативного (переносного) транзисторного супергетеродинного приемника для СВ- и ДВ-диапазонов (рис. 110, б) содержит: преобразователь частоты Pr (смеситель $См$ с гетеродином $Гт$, выполненные на одном транзисторе); фильтр сосредоточенной селекции ФСС; 2—3 каскада УПЧ; детектор $Дет$; 2—3 каскада УНМЧ (два каскада предварительного усиления НМЧ ПУНМЧ и окончательный обычно двухтактный каскад ОкУНМЧ); громкоговоритель $Гр$; устройства электропитания УЭ.

В большинстве транзисторных приемников с широкополосными УПЧ (обычно при $f_{пр} = 465$ кГц ширина полосы пропускания $\Delta f = 50 \div 100$ кГц) требуемая избирательность обеспечивается фильтром ФСС, включаемым между преобразователем и УПЧ или между отдельными каскадами УПЧ. Фильтр выполнен на пьезокерамических элементах в виде двух-четырех связанных между собой резонансных контуров, настроенных на несущую промежуточную частоту. Применение сосредоточенной селекции ослабляет влияние изменений температуры и напряжения источника, а также разброса параметров на избирательность, ширину и равномерность полосы пропускания приемника. Чувствительность таких приемников 1,5—3 мВ/м при уровне сигнала на 20 дБ выше уровня шумов.

Типовая схема переносного транзисторного супергетеродинного приемника с КВ-диапазоном показана на рис. 111, а. Особенностью этой схемы является исполнение преобразователя частоты Pr на двух транзисторах (на одном собран гетеродин $Гт$, а на другом — смеситель $См$), чем достигается устойчивая работа преобразователя на всех рабочих (ДВ, СВ, КВ) диапазонах. На КВ-диапазоне прием сигнала возможен на штыревую телескопическую антенну или магнитную с сердечником из феррита, при приеме КВ-передач на штыревую антенну чувствительность приемника 20—30 мкВ.

Для приема частотно-модулированных сигналов в УКВ-диапазоне приемники содержат входной УКВ-блок (рис. 111, б), состоящий из резонансного широкополосного каскада УРЧ $ЧМ$ и первого преобразователя $Pr1$ (включающего смеситель $СмЧМ$ и первый гетеродин $Гт1$). Прием сигнала на УКВ ведется на наружную дипольную антенну A или петлевой диполь, встроенный в футляр радиоприемника. Этот же внутренний диполь можно использовать как несимметричную антенну для приема в КВ-диапазоне. На выходе УКВ-блока выделяют $ЧМ$ колебания промежуточной частоты со средней частотой 6,5 или 8,4 МГц.

Амплитудно-модулированные колебания ДВ, СВ и КВ-диапазонов поступают в приемнике на второй преобразователь $Pr2$, состоящий из смесителя $СмАМ$ и второго гетеродина $Гт2$. На выходе преобразователя $Pr2$ выделяют $АМ$ колебания ПЧ обычно со сред-

ней частотой 465 кГц. При переключении приемника на прием сигналов в УКВ-диапазоне преобразовательный каскад $Pr2$ используют в качестве УПЧ ЧМ колебаний, поступающих из УКВ-тракта.

Дальнейший усилительный тракт приемника (тракт УПЧ) является общим для АМ и ЧМ колебаний ПЧ. Тракт от УПЧ до входа УНМЧ сделан комбинированным. В нем осуществляется детектирование колебаний ПЧ как с амплитудной модуляцией (детектором *Дет. АМ*), так и частотной (детектором *Дет. ЧМ*).

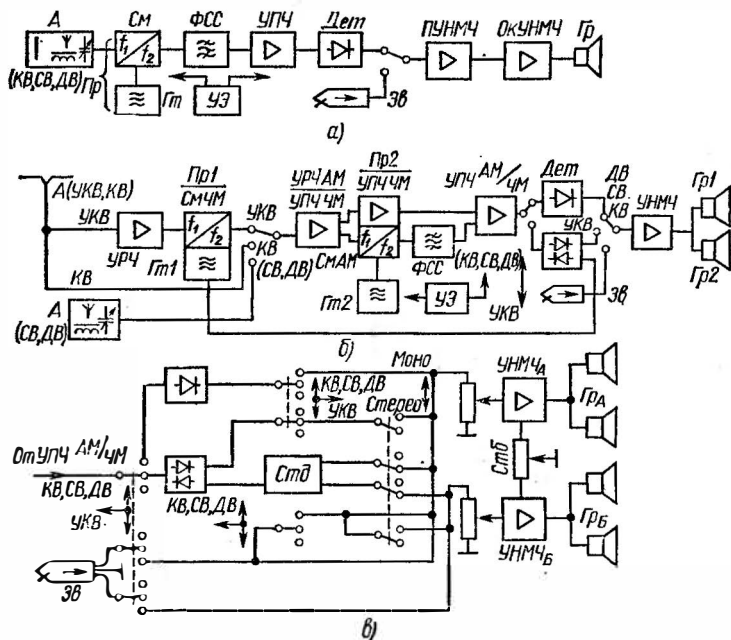


Рис. 111. Схемы супергетеродинных приемников:

а — для КВ, СВ и ДВ, б — для УКВ, КВ, СВ, ДВ, в — стереофонического

Колебания звуковых частот, получаемые на выходе детектора, поступают в тракт усиления НЧ УНМЧ. Усилители НЧ стационарных приемников должны пропускать более широкую полосу воспроизводимых звуковых частот, чем усилители переносных приемников. Например, при приеме ЧМ-сигнала полоса воспроизводимых частот может составить от 70—150 до 10 000—12 000 Гц. Такие приемники обычно нагружаются на несколько более мощных головок громкоговорителей ($Гр1, Гр2$), обладающих лучшими частотными характеристиками. УНМЧ стационарных приемников снабжают регуляторами тембра.

Стереофонические приемники после детектора содержат стереодекодер *Стд* и два одинаковых УНМЧ (рис. 111, в). Усилители на-

пряжения модулирующей частоты приемников могут быть рассчитаны на усиление сигнала с различных видов звуковоспроизводящей аппаратуры. Например, для воспроизведения грамзаписи предусматривается высокоомный вход УИМЧ, т. е. гнезда для подключения звукоснимателя *Зв*.

Если в общем футляре с приемником смонтировать электропроигрыватель пластинок, можно получить комбинированный приемник—радиолу.

Обязательным элементом супергетеродина является система автоматического регулирования усиления АРУ. Она нужна для устранения «замираний» громкости радиопередач, наблюдаемых при приеме сигналов отдаленных станций. Кроме АРУ к вспомогательным устройствам приемника, не включаемым в основной тракт приема, относят устройства индикации настройки ИИН, обычно подключаемые в схеме на выходе детектора.

§ 56. Входные устройства приемников

Входными называют устройства, связывающие вход приемника с его первым каскадом. К ним относят контуры настройки (колебательные контуры), настраиваемые на частоту принимаемого сигнала

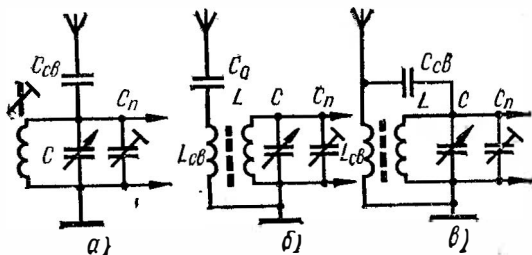


Рис. 112. Схемы связи одноконтурной входной цепи с антенной:

а — емкостная, *б* — индуктивная, *в* — индуктивно-емкостная

и выполняющие функции избирательного элемента приемника, а также элементы связи этих контуров как с антенной, так и с первым каскадом приемника.

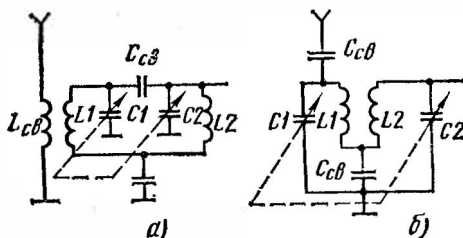
Контур настройки. Колебательные контуры входных устройств выделяют напряжение принимаемого сигнала и подают его на управляющий элемент транзистора или лампы первого каскада приемника. Различают одноконтурные (рис. 112, *а, б, в*) и многоконтурные входные цепи. В многоконтурных цепях связь между контурами может быть емкостной (рис. 113, *а*), индуктивной или индуктивно-емкостной (рис. 113, *б*).

Контур настройки определяет диапазон приемника. Коэффициент перекрытия диапазона контуром $K_n = f_{\max}/f_{\min}$, где f_{\max} и f_{\min} — соответственно максимальная и минимальная частоты диапазона, МГц.

Входные устройства повышают избирательность и ослабляют специфические для супергетеродинного приема помехи, по зеркальному каналу. Для лучшего ослабления помех настроечные контуры должны обладать высокой добротностью. Добротность входных контуров супергетеродинных приемников для СВ и ДВ при различных значениях верхней граничной частоты f_v полосы пропускания звуковых частот приведена в табл. 135.

Рис. 113. Схемы связи контуров в многоконтурных цепях:

а — емкостная, б — индуктивно-емкостная



Коротковолновый диапазон при обычном значении коэффициента перекрытия охватывает много участков, отведенных для работы радиовещательных станций, что затрудняет настройку. Для удобства настройки применяют растянутые КВ-поддиапазоны, уменьшая искусственно их коэффициент перекрытия. Растяжка достигается путем уменьшения перекрытия по емкости конденсаторов настройки. При этом шкала поддиапазона растягивается в 20—25 раз и охватывает 400—600 кГц вместо обычных 9—10 МГц.

Таблица 135

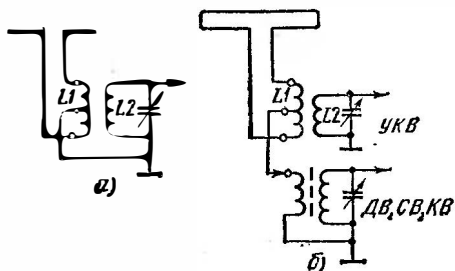
Диапазон	Число входных контуров	Добротность контуров при верхней граничной частоте f_v полосы пропускания, Гц		
		6000	4000	3000
ДВ	1	22	30	45
	2	12	20	25
СВ	1	35	50	70
	2	20	30	45

Входные цепи УКВ-диапазона. Для приема УКВ применяют симметричные вибраторы и симметричные шлейфные антенны, индуктивно связываемые с входными контурами приемника (рис. 114, а). Катушку связи $L1$ для сохранения симметрии изолируют от земли или заземляют ее среднюю точку.

В радиовещательных АМ-ЧМ приемниках обычно устраивают небольшую внутреннюю шлейфную антенну УКВ-диапазона, которая может быть использована также для приема мощных станций других диапазонов. С этой целью среднюю точку катушки связи $L1$ внутренней УКВ-антенны соединяют с катушками ДВ-, СВ- и КВ-диапазонов (рис. 114, б).

Связь входного контура с антенной. Чаще всего используются емкостная и индуктивная связи входного контура с антенной и реже индуктивно-емкостная связь.

Емкостная связь (см. рис. 112, а) проста по устройству, позволяет при относительно малой емкости конденсатора связи ($C_{св}=5 \div 30$ пФ) получить достаточное усиление и малую зависимость настройки приемника от параметров антенны. Однако при емкостной связи велика неравномерность передачи напряжения по диапазону (рис. 115, кривая 1), поэтому эту связь используют при малых значениях коэффициента перекрытия диапазона (при растяжке).



Индуктивная связь (см. рис. 112, б) осуществляется с помощью катушки связи $L_{св}$, имеющей большую индуктивность, чем катушка входного контура. Катушка связи и определяет собственную частоту антенной цепи, которую обычно выбирают меньше минимальной частоты рабочего диапазона $f_{мин}$ (см. рис. 115). При этом увеличивается передача напряжения на низших частотах и уменьшается на высших (кривая 2). Неравномерность передачи напряжения по диапазону при индуктивной связи получается относительно небольшой, поэтому ее используют часто. Конденсатор C_0 (см. рис. 112, б) служит для защиты приемника от переменного тока в случае замыкания антенны с электросетью.

Индуктивно-емкостная связь с антенной (см. рис. 112, в) обеспечивает более равномерное усиление по диапазону, чем индуктивная и емкостная. Благодаря индуктивной связи возрастает усиление на нижних частотах, благодаря емкостной — на верхних частотах диапазона, вследствие чего выравнивается характеристика усиления.

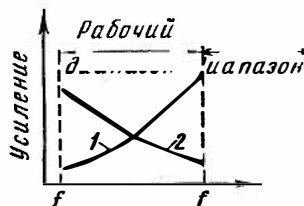


Рис. 115. Характеристики передачи напряжения по диапазону частот

Входные устройства с магнитной антенной. В современных радиовещательных приемниках часто используют входные цепи, совмещенные с магнитной антенной, которая представляет собой ферритовый стержень с намотанными на нем контурными катушками соответствующего диапазона.

На рис. 116, а, б показаны схемы контуров магнитных антенн А для приема сигналов ДВ- и СВ-диапазонов

транзисторного приемника. Катушки связи $L3$ и $L4$ входных контуров с первым каскадом приемника размещаются между контурными катушками $L1$ и $L2$ или наматываются поверх последних. Переход с одного диапазона на другой осуществляют переключением как катушек входного контура $L1$ и $L2$ с подстроечными конденсаторами $C2$ и $C3$, так и катушек связи $L3$ и $L4$. Иногда для приема в ДВ-диапазоне в контур включают последовательно две катушки индуктивности $L1$, $L3$, а при переходе на СВ катушку $L2$ замыкают накоротко контактами переключателя диапазонов.

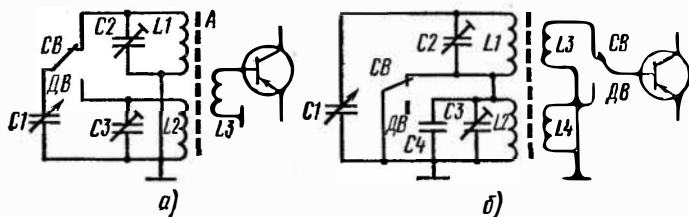


Рис. 116. Схемы включения катушек магнитной антенны в контур транзисторного приемника:

а — одной, б — двух

Пределы настройки резонансных контуров магнитных антенн супергетеродинных приемников не должны выходить за пределы стандартных радиовещательных диапазонов (для СВ 1605—525 кГц, для ДВ 408—150 кГц). При несоблюдении этого требования резонансная частота входного контура приемника может приблизиться к промежуточной частоте 465 кГц и привести к самовозбуждению в его преобразовательном каскаде.

Для каждого участка КВ-диапазона может быть применена отдельная контурная катушка. Если же магнитная антенна рассчитана для приема сигналов на относительно узких участках КВ-диапазона (например, шириной до 0,5 МГц), то в антенном контуре можно применить лишь одну катушку для всех участков. В этом случае к катушке подключают конденсаторы с такими емкостями, при которых каждый образующийся контур будет настраиваться на фиксированные средние частоты выбранного при настройке участка, например в радиовещательном диапазоне на средние частоты 70 (4,25); 49 (6,05); 41 (7,35); 31 (9,65); 25 м (11,85 МГц).

Ферритовая антенна обладает ярко выраженной направленностью. Для получения максимального сигнала антенну нужно направлять 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 переносных приемниках предусмотрена возможность подключения внешней антенны.

§ 57. Усилители радиочастот

Усилители радиочастоты УРЧ повышают избирательность по зеркальному каналу и чувствительность приемника. По схемному построению УРЧ могут быть апериодическими или резонансными.

Апериодические УРЧ увеличивают лишь отношение сигнал/шум и чувствительность приемника. Наиболее часто их применяют в транзисторных приемниках прямого усиления на ДВ- и СВ-диапазонах. В качестве нагрузки апериодических УРЧ может

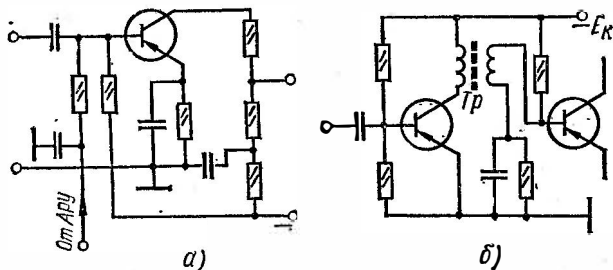


Рис. 117. Схемы апериодических каскадов усилителей радиочастоты:

а — резисторная, б — трансформаторная

служить дроссель, резистор или трансформатор. Резисторный каскад УРЧ (рис. 117, а) прост в исполнении и настройке. В трансформаторных УРЧ (рис. 117, б) облегчается согласование выхода одного каскада со входом последующего. Кроме того, трансформаторный каскад УРЧ можно легко переделать в резонансный.

Резонансные УРЧ обеспечивают усиление сигнала и повышают не только реальную чувствительность, но и избирательность по зеркальному каналу (см. § 60). Транзисторные резонансные УРЧ в диапазонах ДВ, СВ и КВ собирают по схеме с ОЭ (рис. 118), а в УКВ-диапазоне — по схеме с ОБ.

Каскады УРЧ могут содержать один или два резонансных контура. Усилитель радиочастоты с одним контуром дает меньшее усиление, но более прост в изготовлении и настройке. Схемы с индуктивной связью контуров позволяют изменять связь и получать наибольшее усиление или лучшую избирательность. Изменением связи по диапазону можно несколько компенсировать неравномерность коэффициента передачи входных цепей.

Усилители радиочастоты УКВ-диапазона выполняют по каскадным схемам. Они имеют лучшие характеристики, чем обычные УРЧ. Схема каскадного усилителя показана на рис. 119. Первый транзистор включен по схеме с ОЭ, благодаря чему достигается малая входная проводимость усилителя, а второй V_2 — по схеме с ОБ, что обеспечивает большой коэффициент устойчивого усиления. По постоянному току транзисторы включены последовательно, что вызывает необходимость увеличения напряжения источника питания.

По усилению каскадный усилитель эквивалентен однокаскадному усилителю с проводимостью прямой передачи первого транзис-

тора и нагрузкой второго. Каскодная схема используется в усилителях диапазона метровых волн. Первый каскад схемы выгодно выполнять на полевом транзисторе, обладающем низким уровнем шумов и малой активной входной проводимостью, при этом будет меньше шунтироваться избирательная система приемника, включенная на входе каскодного усилителя. Во втором каскаде предпочтительнее дрейфовый транзистор, включаемый по схеме с ОБ и обеспечи-

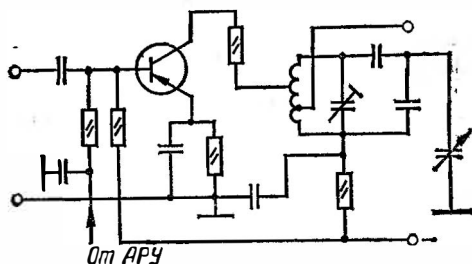


Рис. 118. Каскад усилителя радиочастоты

вающий наибольший устойчивый коэффициент усиления. При таком выполнении каскодной схемы усилителя повышается его коэффициент устойчивого усиления, существенно снижается уровень шумов, повышается избирательность тракта радиосигнала приемника, что является их преимуществом.

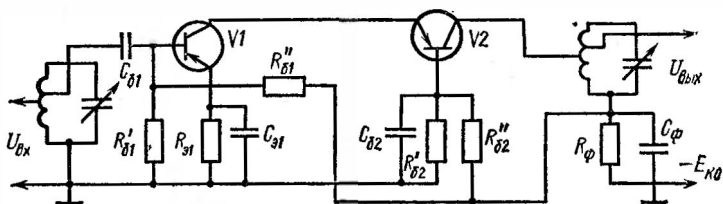


Рис. 119. Каскодная схема усилителя радиочастоты

Аналогичными преимуществами обладают каскодные схемы (низкий уровень шумов и высокий коэффициент устойчивого усиления) на электронных лампах, обычно триодах, включаемых по схеме общий катод — общая сетка.

§ 58. Преобразователи частоты

Преобразовательные каскады преобразуют высокочастотные колебания принимаемого сигнала в колебания промежуточной частоты, на которой осуществляется основное усиление сигнала. Преобразователь частоты *Пр* приемника (рис. 120) состоит из маломощного генератора (гетеродина *ГТ*), вырабатывающего вспомогательные ВЧ

колебания f_r и смесителя $СМ$, выполняющего функций нелинейного элемента. При одновременном воздействии на смеситель частот сигнала f_c и гетеродина f_r в токе смесителя кроме составляющих с частотами f_c и f_r возникнут составляющие с разностной $f_r - f_c$ и суммарной $f_r + f_c$ частотами и другие частоты высших порядков вида $m f_r \pm n f_c$, где m и n — любые целые числа. Из всех этих комбинационных частот, представляющих собой сочетания частот f_r и f_c и их гармоник, в качестве полезного колебания выделяют с помощью колебательного контура, включаемого на выходе преобразователя, промежуточную частоту $f_{np} = f_r - f_c$.

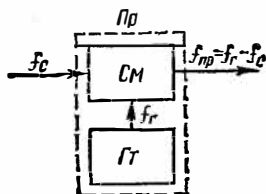


Рис. 120. Структурная схема преобразователя частоты приемника

Преобразовательные каскады на транзисторах выполняют как с совмещенным, так и с отдельным гетеродином.

Преобразователь частоты с совмещенным гетеродином (рис. 121, а) обычно применяют в простых приемниках с ДВ- и СВ-диапазонами. Контур гетеродина образован катушкой индуктивности $L3$ и конденсаторами: настройки $C2$, подстроечным $C4$ и сопрягающим $C3$.

С контуром индуктивно связана катушка $L4$ (обратной связи) гетеродина, частично включенная в эмиттерную цепь транзистора V . Импульс тока, возникающий в катушке $L4$ при включении питания, возбуждает колебания в контуре, которые через катушки $L4$, $L2$ и конденсатор $C5$ поступают на базу транзистора.

Одновременно на базу транзистора с входного контура $L1C1$ магнитной антенны AM через катушку связи $L2$ и конденсатор $C5$ поступают ВЧ-колебания принимаемого сигнала. Смешиваясь с колебаниями гетеродина, они преобразуются в колебания ПЧ, которые выделяются контуром $L6C7$, индуктивно связанным через катушку $L5$ с коллекторной цепью транзистора. С контура $L6C7$ выделенный сигнал ПЧ через фильтр $ФСС$ подается к УПЧ.

Транзистор обладает сравнительно большой проходной емкостью, что снижает устойчивость преобразователя и избирательность приемника. Для нейтрализации этой связи через проходную емкость в схему преобразователя вводят дополнительные элементы: нейтрализующий конденсатор $C8$ и сложный фильтр ПЧ (фильтр сосредоточенной селекции $ФСС$), состоящий из трех колебательных контуров $L6C7$, $L7C10$ и $L8C12$ со слабой емкостной связью, осуществляемой через конденсаторы $C9$ и $C11$.

Преобразователь частоты с отдельным гетеродином (рис. 121, б) применяют в приемниках с КВ-диапазоном. Гетеродин собран по автотрансформаторной схеме на транзисторе $V2$, включенном в схему с общей базой. Колебательный контур гетеродина, включенный в коллекторной цепи, образован катушкой $L4$ и конденсаторами настройки $C7$ — подстроечным $C9$ и сопрягающим $C8$.

На транзисторе $V1$ собран смеситель. Напряжение принятого сигнала подается на базу транзистора $V1$, а сигнал гетеродина — с катушки связи $L3$ на эмиттер. Колебания промежуточной частоты выделяются контуром $L1C2C3$ в коллекторной цепи и с катушки связи $L2$ подаются к УПЧ.

В преобразовательных каскадах применяют маломощные транзисторы, предельная частота усиления которых f_{α} превышает максимальную частоту принимаемого ВЧ сигнала по крайней мере в 2 раза. Чаще всего используют транзисторы П401—П403, П422—П423, ГТ309Г. Преимуществами таких преобразователей частоты являются независимость режимов транзисторов смесителя и гетеродина, относительная простота налаживания.

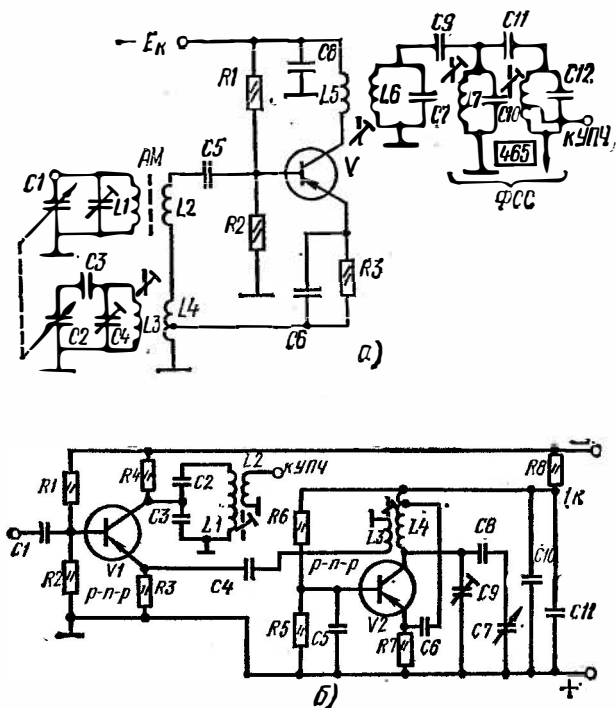


Рис. 121. Схемы преобразователя частоты с гетеродином:

а — совмещенным, б — отдельным

Типовой УКВ-блок транзисторных радиовещательных приемников рассчитан на прием ЧМ-сигналов станций, работающих в диапазоне 65,8—73 МГц. Сигнал принимается на симметричный диполь и через индуктивный элемент связи $L1$ (рис. 122) подается во входной широкополосный резонансный усилитель $L2C1C2$, постоянно настроенный на среднюю частоту УКВ диапазона. С емкостного делителя $C1C2$ входного контура ЧМ УКВ сигнал поступает в эмиттерную цепь транзистора $V1$, на котором собран каскад УРЧ. Выходной контур УРЧ $L3C4$ настраивается на

частоту принимаемого сигнала подвижным магнитным сердечником катушки $L3$. С выходного контура УРЧ усиленный сигнал через конденсатор $C5$ поступает в преобразователь.

Преобразователь частоты выполнен по совмещенной схеме смесителя и гетеродина на одном транзисторе $V2$. Настройка колебательного контура $L5C10$ гетеродина производится перемещением магнитного сердечника катушки $L5$, механически связанного с сердечником катушки $L3$. Емкостная обратная связь в гетеродине осу-

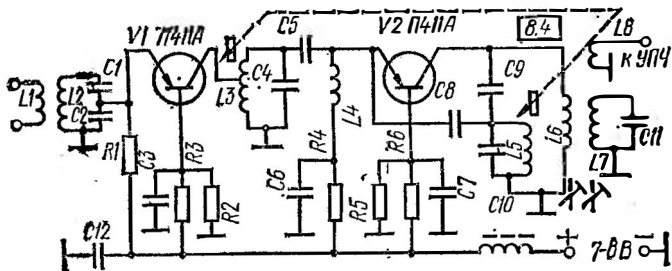


Рис. 122. Типовой УКВ-блок приемника

ществлена с помощью конденсаторов $C8$ и $C9$. Катушка $L4$ в цепи обратной связи обеспечивает компенсацию фазового сдвига, возникающего в транзисторе $V2$ на частотах УКВ-диапазона. В коллекторной цепи транзистора $V2$ включен резонансный контур $L5L6$, $C9$, $C10$, индуктивно связанный с контуром $L7C11$. Эти контуры настроены на ПЧ 8,4 МГц и образуют полосовой фильтр ПЧ. Параметры $L5C10$ невелики, поэтому их влияние на резонансную частоту контура несущественно. С помощью катушки связи $L8$ ЧМ-сигнал подается в дальнейший тракт усиления промежуточной частоты.

§ 59. Усилители промежуточной частоты

Общие сведения. Усилители промежуточной частоты УПЧ в супергетеродинном приемнике служат для усиления выходного сигнала преобразователя частоты и обеспечения избирательности по соседнему каналу. В тракте промежуточной частоты осуществляется основное усиление принимаемого сигнала. Для получения большого усиления УПЧ выполняются многокаскадными с постоянной промежуточной частотой, что позволяет применять в каскадах двух- и многоконтурные избирательные системы с малым коэффициентом прямоугольности и обеспечивать большое ослабление сигналов соседних каналов даже при небольших расстройках.

В усилителях промежуточной частоты радиовещательных приемников полоса пропускания не превышает 5—7% средней (промежуточной) частоты, поэтому каскады УПЧ относят к узкополосным.

По виду избирательных систем различают усилители: одноконтурные резонансные (в каждом каскаде по одному колебательному контуру, при этом контуры разных каскадов настроены на одну

промежуточную частоту); одноконтурные расстроенные (в пределах полосы пропускания усилителя каскады настроены на различные частоты); с двумя связанными контурами в каждом каскаде; с фильтрами сосредоточенной избирательности ФСИ (избирательная система каждого каскада содержит три и более связанных колебательных контуров) и комбинированные для приема амплитудно- и частотно-модулированных сигналов.

Рассмотрим три последних вида усилителей.

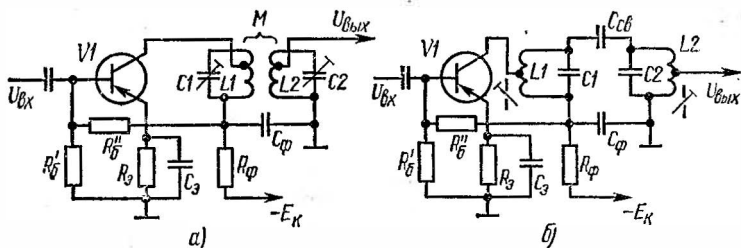


Рис. 123. Двухконтурные усилители промежуточной частоты с индуктивной (а) и емкостной (б) связью

УПЧ с двумя связанными контурами. Широко применяют УПЧ с трансформаторной (рис. 123, а) и внешнеемкостной (рис. 123, б) связью между двумя колебательными контурами C_1L_1 и C_2L_2 . Эти виды связи наиболее просты в получении требуемого коэффициента связи M . Изменяя связь между контурами, можно регулировать ширину полосы пропускания усилителя. Форма резонансной кривой двухконтурных фильтров зависит от параметра связи контуров и приближается к прямоугольнику больше, чем резонансная кривая одиночного контура. УПЧ со связанными контурами позволяют получить переменную селективность (избирательность). При наличии помех полосу пропускания можно уменьшить и повысить избирательность по соседнему каналу, улучшив прием полезного сигнала, при отсутствии помех — расширить и снизить частотные искажения, обеспечив хорошее качество воспроизведения.

УПЧ с фильтрами сосредоточенной избирательности. В приемниках дальней связи при полосе пропускания 7—9 кГц требуется ослабление при расстройке 10 кГц порядка 70—80 дБ (в 3000—10 000 раз). Такое ослабление не обеспечивает даже четырех-пятикаскадный усилитель с двумя связанными контурами L_1C_1 и L_2C_2 . Лучшее ослабление по соседнему каналу можно достичь с помощью многозвенных фильтров. Схема УПЧ с четырехзвенным фильтром с внешнеемкостной связью между колебательными контурами показана на рис. 124. Для ослабления магнитных связей между контурными катушками контуры экранированы. Фильтры, имеющие много резонансных контуров в одном каскаде, называют фильтрами сосредоточенной избирательности (селекции) ФСС в отличие от полосовых фильтров, образованных контурами, рассредоточенными в разных каскадах.

В радиовещательных приемниках с общепринятой промежуточной частотой 465 кГц и выше с узкой (7—9 кГц) полосой пропускания хорошая избирательность по зеркальному каналу обеспечивается фильтрами (рис. 125) с пьезоэлектрическими резонаторами 1—8, размеры которых выбирают такими, чтобы в них (под воздействием переменного напряжения) электромеханический резонанс наступал на промежуточной частоте приемника. На входе фильтра электрические колебания превращаются в механические, а на выходе (на обкладках резонатора 8, воспринимающего механические колебания от ре-

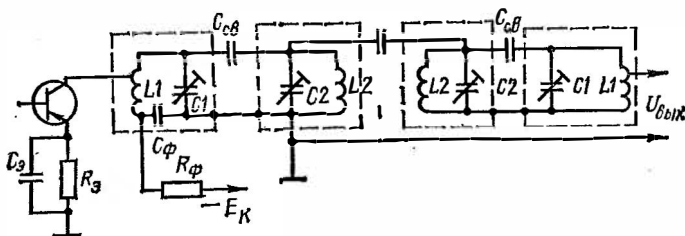


Рис. 124. Усилитель промежуточной частоты с ФСС

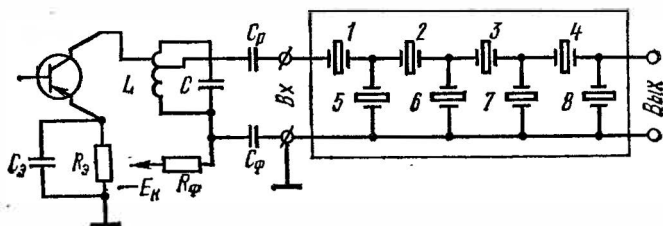


Рис. 125. Преобразователь частоты с четырехзвенным пьезо-керамическим фильтром

зонатора 4) благодаря обратному пьезоэлектрическому эффекту возникает переменная эдс.

Обычно избирательность пьезокерамических фильтров дополняют контуром LC, вводимым в коллекторную цепь транзистора. Для колебаний гетеродина контур создает ослабление в 20—25 дБ, обеспечивая вместе с ФСС ослабление в 50—60 дБ.

Комбинированные УПЧ амплитудно- и частотно-модулированных сигналов АМС — ЧМС приемника. Радиовещание с ЧМС ведется в метровом диапазоне ($f_c = 60 \div 80$ МГц). Хорошую избирательность по зеркальному каналу в супергетеродинном приемнике можно обеспечить, если $f_{пч} > (0,05 \div 0,1)f_c$, поэтому в радиовещательных приемниках ЧМ-сигналов $f_{пч}$ принимается 8,4 МГц.

При приеме АМ-сигналов в диапазонах декаметровых и более длинных волн $f_{пч}$ принимается 465 кГц, так как на более высоких трудно обеспечить нужную (7—9 кГц) полосу пропускания. В радиоприемниках, предназначенных для приема ЧМС в метровом и

АМС в декаметровом и более длинноволновых диапазонах, используют комбинированные усилители промежуточной частоты. В каждом каскаде такого УПЧ (рис. 126) последовательно включены два колебательных контура $L1C1$ и $L2C2$, настроенных соответственно на 465 кГц и 8,4 МГц. При усилении сигнала частотой 8,4 МГц сопротивление колебательных контуров, настроенных на 465 кГц, будет незначительным для токов с частотой 8,4 МГц, поэтому второй колебательный контур в этом режиме можно считать короткозамкнутым и не влияющим на работу каскада. Аналогичная развязка контуров имеет место и при усилении сигнала с частотой 465 кГц.

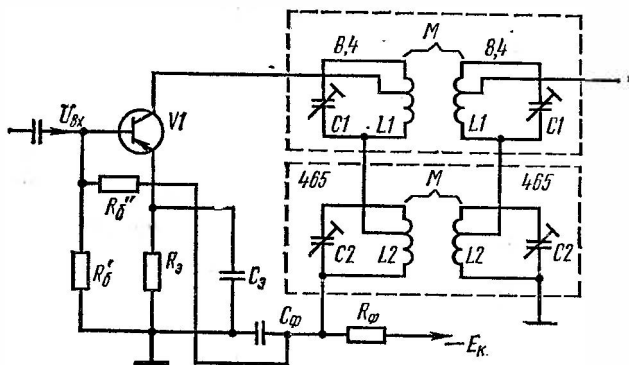


Рис. 126. Комбинированный каскад усилителя промежуточной частоты с двумя парами связанных контуров АМС—ЧМС

§ 60. Детекторы

Детекторы служат для выделения сигнала модулирующей частоты из принятого радиочастотного модулированного колебания. Различают детекторы амплитудно- и частотно-модулированных сигналов и комбинированные.

Детекторы амплитудно-модулированных сигналов АМС. Детектирование АМС, как правило, производится с помощью диодных детекторов. В схеме диодного детектора (рис. 127) источник детектируемого радиосигнала, снимаемый с контура $LC1$, диод V и нагрузочный резистор R_H включены последовательно. Среднее значение тока, проходящего через диод, зависит от амплитуды напряжения сигнала, приложенного к диоду. Чем больше амплитуда напряжения, тем больше среднее значение тока.

При изменении амплитуды

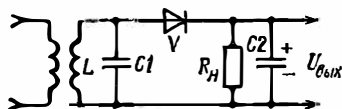


Рис. 127. Схема последовательного диодного детектора

напряжения сигнала по гармоническому закону среднее значение тока диода станет изменяться по закону, близкому к закону модуляции. Ток диода на нагрузочном резисторе R_n создаст напряжение, изменяющееся по закону модуляции. Поскольку ток диода проходит только во время положительной полуволны детектируемого сигнала и представляет собой импульсы, соответствующие по форме положительной полуволне синусоиды модулирующего сигнала, напряжение на нагрузочном резисторе примет эту же форму.

Чтобы напряжение на нагрузочном резисторе R_n детектора изменялось по закону, близкому к закону модуляции, включают па-

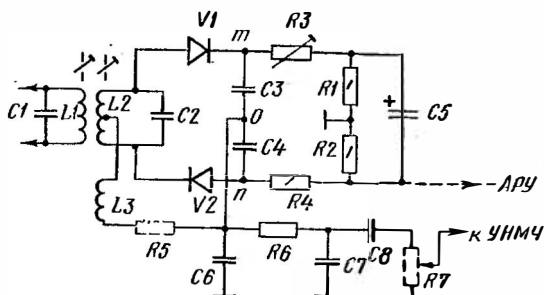


Рис. 128. Схема симметричного частотного детектора

раллельно ему конденсатор $C2$. В этом случае за полупериоды, соответствующие положительной полуволне детектируемого сигнала, ток диода будет быстро заряжать конденсатор $C2$. Напряжение на конденсаторе будет близким к амплитуде детектируемого сигнала. В отрицательные полупериоды сигнала небольшой обратный ток диода будет перезаряжать конденсатор и несколько уменьшать на нем напряжение, возникшее во время положительной полуволны сигнала. Параметры нагрузки детектора $R_n C2$ выбирают так, чтобы ее постоянная времени многократно превышала период детектируемого сигнала. В результате этого напряжение на конденсаторе, а следовательно, и на нагрузке детектора в течение отрицательной полуволны детектируемого сигнала сохранится почти постоянным, т. е. близким к амплитуде детектируемого сигнала. При медленном изменении амплитуды сигнала по закону модуляции напряжение на нагрузке детектора будет изменяться по этому же закону.

Частотные детекторы. Они предназначены для детектирования модулированных по частоте ВЧ-колебаний. Наиболее распространен из них детектор отношений или дробный детектор.

Часто применяется схема симметричного дробного детектора (рис. 128). Вначале производится преобразование ЧМ-сигнала в АМ-сигнал с помощью системы связанных контуров $L1C1$ и $L2C2$, настроенных на промежуточную частоту приемника. В основе действия схем частотных детекторов лежат фазовые соотношения между напряжениями, действующими на контурах. При резонансе эдс,

индуктируемая во вторичном контуре, совпадает по фазе с напряжением, действующим на зажимах первичного контура. Напряжения, подаваемые на диоды $V1$ и $V2$ детектора, определяются геометрической суммой напряжений, снимаемых с полуобмоток катушек $L2$ и $L3$, индуктивно связанных с первичным контуром.

При резонансе токов в контурах на частоте сигнала напряжения на диодах равны, но различны по фазе. При отклонении частоты сигнала от резонансной (в сторону увеличения или уменьшения) ме-

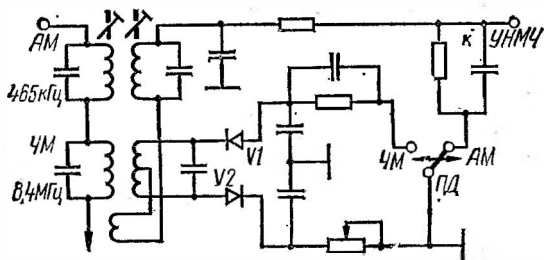


Рис. 129. Схема комбинированного АМ—ЧМ детектора

няется фаза напряжений, снимаемых с полуобмоток катушки $L2$, вследствие чего меняются напряжения на диодах $V1$ и $V2$. 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 $V1$ и $V2$, проводящих ток в течение одного полупериода. Нагрузочные резисторы $R1$ и $R2$ диодов заблокированы конденсатором $C5$ большой емкости, вследствие чего возрастает постоянная времени цепи нагрузки и медленно изменяется напряжение на резисторах.

В такой схеме большие изменения амплитуды сигнала вызывают резкие изменения тока через диоды, заряжающего конденсатор $C5$, в результате чего 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.

Напряжения, протектированные диодами и изменяющиеся по закону модулирующей частоты, выделяются на конденсаторах $C3$ и $C4$. Поскольку увеличение напряжения на одном из конденсаторов сопровождается таким же уменьшением напряжения на другом конденсаторе, суммарное напряжение между точками $m-n$ не меняется. Модулирующее напряжение сигнала снимается со средней точки соединения конденсаторов (точка O) и подается в тракт УНМЧ.

Остальные элементы схемы выполняют вспомогательные функции. Конденсатор $C6$ включен для сглаживания высокочастотной составляющей. Резистор $R5$, иногда вводимый в схему дробного де-

тектора, ограничивает импульсы тока через диоды, что ослабляет влияние импульсных помех. Цепь $R6C7$ служит для выравнивания частотной характеристики тракта приема в области высших звуковых частот. Резисторы $R3$ и $R4$ служат для симметрирования схемы.

Комбинированные АМ — ЧМ-детекторы. В приемниках, предназначенных для приема АМ — ЧМ-сигналов, могут применяться отдельные детекторы для АМ- и ЧМ-трактов или комбинированные АМ—ЧМ-детекторы. При приеме ЧМ-сигналов в схеме комбинированного АМ—ЧМ-детектора (рис. 129) транзисторного приемника переключатель диапазонов $ПД$ ставят в положение $ЧМ$, и схема работает как симметричный дробный детектор. При приеме АМ сигналов $ПД$ ставят в положение $АМ$, включается диод $V2$ и работает по схеме амплитудного диодного детектора.

§ 61. Вспомогательные устройства высокочастотного тракта приемника

Регулировка усиления. Для обеспечения постоянного уровня выходного сигнала в приемниках используют регуляторы усиления и громкости. Различают ручные и автоматические регулировки усиления (АРУ).

Регулировку усиления можно осуществить изменением проводимости прямой передачи транзистора (крутизны лампы), меняя смещение на его базе (сетке лампы). С этой целью выпрямляют выходное напряжение тракта промежуточной частоты и подают его в качестве добавочного смещения на базу (сетку) электронных приборов регулируемых каскадов. При увеличении амплитуды входного сигнала возрастает напряжение смещения в регулируемых каскадах и снижается их усиление, обеспечивая постоянство уровня выходного сигнала. В зависимости от режима работы различают простые, с задержкой и усиленные АРУ.

Простая АРУ осуществляется изменением проводимости прямой передачи транзистора регулируемого усилительного каскада за счет изменения напряжения на базе. Управляющее напряжение системы АРУ создается детектированием напряжения промежуточной частоты.

АРУ с задержкой обеспечивает больший диапазон регулирования усиления УПЧ при изменениях напряжения сигнала. Схема АРУ с задержкой транзисторного приемника показана на рис. 130. Управляющее напряжение U_y системы АРУ создается на нагрузочном резисторе R_n за счет детектирования напряжения промежуточной частоты диодом $V3$. Чтобы обеспечить задержку работы АРУ, в цепь диода $V3$ включают эмиттерный резистор R_a регулируемого каскада на транзисторе $V1$. Постоянное напряжение, возникающее на этом резисторе, своим отрицательным потенциалом приложено к аноду диода $V3$ и удерживает его в закрытом состоянии. Ток в цепи диода появится лишь в том случае, когда напряжение сигнала U_s , снимаемое с катушки связи $L_{св2}$, питающей выпрямитель АРУ, превысит напряжение $U_a \approx I_k R_a$, которое определяет порог срабатывания системы АРУ, т. е. $U_{a,пор} = U_a$. Управляющее напряжение в схеме $U_y = (U_a - U_a) K_{V3} = (U_a - U_{a,пор}) K_{V3}$, где K_{V3} — коэффициент передачи детектора $V3$.

С ростом напряжения сигнала U_s увеличивается управляющее напряжение, уменьшается эмиттерный ток регулируемого каскада.

§ 62. Усилители напряжения модулирующей частоты

Обычно УНМЧ приемников состоит из каскадов предварительного усиления напряжения, поступающего с детектора, и оконечного (мощного) каскада, отдающего мощность переменного тока принятого сигнала головке громкоговорителя. Уровень сигнала, получаемого с детектора, недостаточен для работы оконечного каскада, поэтому УНМЧ содержит каскады предварительного усиления.

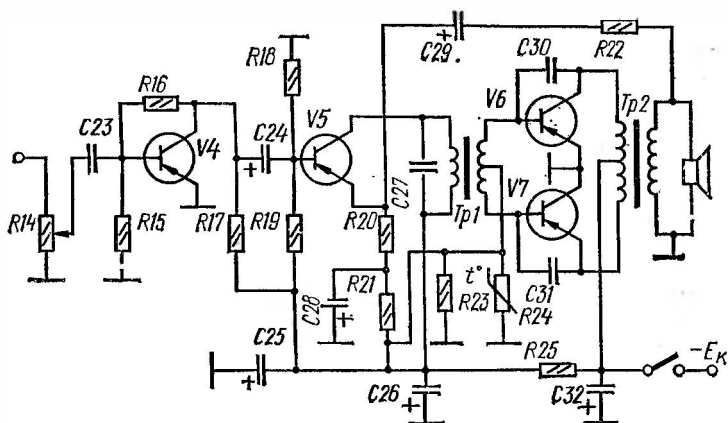


Рис. 132. Схема трехкаскадного УНМЧ приемника

Каскады предварительного усиления чаще всего выполняют по схемам с емкостной, т. е. RC -связью. Оконечные УНМЧ выполняют одно- или двухтактными. Однотактные каскады применяют в транзисторных схемах с выходной мощностью до 20—30 мВт и в ламповых с питанием от электросети при номинальной выходной мощности до 2—3 Вт. Для получения большей выходной мощности, чем может отдать однотактный каскад, используют двухтактные оконечные каскады (см. § 45).

Типовая схема УНМЧ (рис. 132) транзисторного портативного радиовещательного приемника содержит предварительный (на транзисторе V_4) и предоконечный (на транзисторе V_5) однотактные каскады усиления напряжения звуковой модулирующей частоты в оконечный (на транзисторах V_6 и V_7) двухтактный усилитель мощности.

Напряжение смещения на базу V_4 подается с делителя R_{16} , R_{15} , а на базу V_5 — с делителя R_{19} , R_{18} . Смещение на базы V_6 и V_7 выходного каскада создается током транзистора V_5 предоконечного каскада. Для этой цели в цепь эмиттера V_5 последовательно с его термостабилизирующими резисторами R_{20} , R_{21} включены соединенные параллельно резистор R_{23} и терморезистор R_{24} . Ток транзистора V_5 создает на них падение напряжения около 0,1 В, которое подается на базы V_6 и V_7 .

Терморезистор R_{24} является элементом температурной стабилизации режима выходного каскада. Колебания температуры окружающей среды сопровождаются изменениями сопротивления терморезистора, обладающего отрицательным температурным коэффициентом. При этом обеспечивается постоянство начального напряжения смещения на базах V_6 и V_7 .

Сигнал звуковой частоты через конденсатор связи C_{23} поступает от детектора на вход и усиливается его предварительными каскадами с RC -связью на транзисторах V_4 и V_5 . Со вторичных полуобмоток трансформатора Tr_1 на базы транзисторов V_6 и V_7 снимаются одинаковые по амплитуде, но противофазные напряжения звуковой частоты, обеспечивающие возбуждение выходного двухтактного каскада. Головка громкоговорителя, включенная в цепь вторичной обмотки трансформатора Tr_2 , преобразует успешные электрические колебания в звуковые.

УНМЧ снабжен цепями отрицательной обратной связи ООС, несколько снижающими общее усиление, но значительно улучшающими качество работы усилителя. В первом каскаде напряжение ООС подается с коллекторной цепи транзистора V_4 на его базу через резистор R_{16} . Во втором каскаде обратная связь между цепями эмиттера и базы транзистора V_5 осуществляется с помощью резистора R_{20} . В выходном каскаде обратная связь между коллекторными и базовыми цепями создается через конденсаторы C_{30} и C_{31} . Предоконечный и выходной каскады охвачены глубокой обратной связью через резистор R_{22} и конденсатор C_{29} .

Громкость принимаемого сигнала регулируется с помощью переменного резистора R_{14} , изменяющего напряжение модулирующей частоты, подводимое на первый каскад УНМЧ. Однако рассмотренная схема регулировки не обеспечивает естественного звучания речи.

Особенность нашего слуха — неодинаковая чувствительность к звуковым колебаниям разных частот (на низших и высших частотах она меньше, чем на средних). Опытным путем установлены кривые зависимости интенсивности звука от частоты для равногромких чистых тонов, называемые кривыми равной громкости. При регулировке громкости без учета этой особенности слуха естественное звучание получается только при больших уровнях акустического давления (когда громкость звучания близка уровню громкости источника звука). При малых уровнях звучание нарушается (фонограмма кажется обедненной составляющими низших и высших частот).

Более четко и естественно звучит сигнал, если усилены нижние и ослаблены верхние частоты (выше 4000 Гц). Изменения в воспроизведении различных участков диапазона звуковых частот достигаются с помощью частотно-зависимых регуляторов (регуляторов тембра).

Частотно-зависимые схемы регуляторов тембра нижних (рис. 133, а) и верхних (рис. 133, б) частот состоят из конденсаторов (обычно постоянной емкости) и постоянных и переменных резисторов, включаемых между каскадами УНМЧ или в цепи ООС. При уменьшении сопротивления резистора R_2 (рис. 133, а) цепочка R_2C_2 будет иметь большое сопротивление для нижних звуковых частот и малое для верхних, поэтому произойдет ослабление сигнала в области нижних частот. Подобным образом ослабляется сигнал в области верхних частот при уменьшении сопротивления резистора R_2 в схеме, показанной на рис. 133, б. Меняя положение движка резистора R_2 , изменяют сопротивление цепи регулятора для различных частот зву-

Тип радиоприемника	Диапазоны	Реальная чувствительность*			
		с внутренней магнитной антенной, мВ/м		со штыревой теле-скопической антенной, мкВ/м	
		ДВ	СВ	КВ	УКВ
Ленинград-002	ДВ, СВІ, СВІІ, КВІ—КВV, УКВ	0,8	0,5	150	10
Рига-105	ДВ, СВ, КВІ—КВVІ, УКВ	1	0,7	300	15
ВЭФ-202М	ДВ, СВ, КВІ—КВV	2	1	180	—
Меридиан-210	ДВ, СВ, КВІ—КВV, УКВ	0,6	0,3	200	15
Океан-209	ДВ, СВ, КВІ—КВV, УКВ	1	0,7	150	35
Спидола-231	ДВ, СВ, КВІ—КВV	1,5	0,8	200	—
Россия-304	ДВ, СВ, КВІ, КВІІ	2,2	1,2	450	—
Сокол-308	СВ, КВ, УКВ	—	1,5	800***	100
Альпинист-415	ДВ, СВ	2	1	—	—

Номинальный интервал воспроизводимых частот, Гц		Номинальная выходная мощность, Вт	Источник питания**	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
ДВ, СВ, КВ	УКВ				
80—4000	80—12 500	2	6 элементов 373, сеть 127/220 В	390×390×164	8,5
100—4000	100—12 500	0,8	6 элементов 373, сеть 127/220 В	390×242×135	6,3
200—4000	—	0,15	6 элементов 373	305×240×105	3,3
125—4000	125—10 000	0,4	6 элементов 373, сеть 127/220 В	290×271×133	4,3
125—4000	125—10 000	0,5	6 элементов 373, сеть 127/220 В	367×254×124	4,6
125—4000	—	0,4	6 элементов 373	345×255×100	4,0
300—3500	—	0,1	4 элемента 316	215×125×47	1,0
315—3550	315—7100	0,3	Батарея «Крона»	255×186×72	1,5
200—3500	—	0,4	6 элементов 343, сеть 127/220 В	261×162×76	1,7

Тип радиоприемника	Диапазоны	Реальная чувствительность*			
		с внутренней магнитной антенной, мВ/м		со штыревой телескопической антенной, мкВ/м	
		ДВ	СВ	КВ	УКВ
Вега-404	ДВ, СВ	2,5	1,5	—	—
Гнала-407	ДВ, СВ	2	1	—	—
Кварц-407	ДВ, СВ	2,5	1	—	—
Нейва-402	ДВ, СВ	1,5	1	—	—
Селга-405	ДВ, СВ	2	1,2	—	—
Сигнал-402 Сокол-405	ДВ, СВ СВ, КВ	1,5 —	1 1,2	— 500***	— —

* При отношении сигнал/шум не менее 20 дБ в диапазонах ДВ, СВ, КВ

** Напряжение питания радиоприемника Россия-304—6 В, остальных—9 В.

*** Чувствительность при приеме на внутреннюю магнитную антенну.

кового диапазона, что приводит к изменению частотных характеристик усилителей, а следовательно, и тембра звучания передачи.

Однако создать регуляторами тембра требуемую тонкомпенсацию не удастся. Для предотвращения потери качества звучания при малой громкости в современных звуковоспроизводящих устройствах применяют тонкомпенсированные регуляторы громкости (ТКРГ), которые одновременно с изменением коэффициента передачи меняют АЧХ усилителя низких частот в соответствии с кривыми равной громкости.

Основные технические характеристики некоторых промышленных образцов радиовещательных приемников и радиол, выпускаемых отечественной промышленностью, приведены в табл. 136 и 137.

Номинальный интервал воспроизводимых частот, Гц		Номинальная выходная мощность, Вт	Источник питания**	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
ДВ, СВ, КВ	УКВ				
315—3550	—	0,2	2 батареи 3336Л	160×157×64	1
200—3550	—	0,4	6 элементов 343	264×170×78	1,6
450—3150	—	0,1	6 элементов 316	174×100×53	0,5
450—3000	—	0,1	Батарея «Крона»	140×85×41	0,3
315—3150	—	0,15	6 элементов 316	200×110×50	0,6
450—3000 315—3550	— —	0,1 0,15	Батарея «Крона» Батарея «Крона»	162×85×46 205×110×65	0,45 0,75

и не менее 26 дБ в диапазоне УКВ.

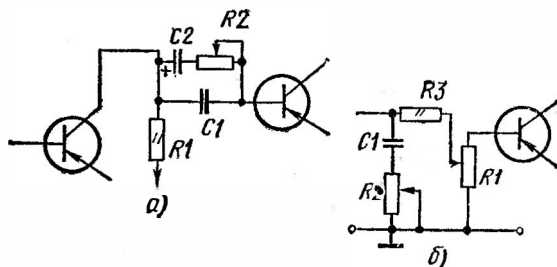


Рис. 133. Схемы регуляторов тембра:
а — нижних частот, б — верхних частот

Тип аппарата	Диапазоны	Реальная чувствительность*					УКВ
		с внутренней магнитной антенной, мВ/м		с наружной антенной, мкВ			
		ДВ	СВ	ДВ	СВ	КВ	

Ради

Виктория-003 стерео	ДВ, СВ, КVI—КBV; УКВ	1	0,8	30	30	30	2,5
Вега-321 стерео	ДВ, СВ, КVI—КVII, УКВ	—	—	200	150	200	15
Вега-003 стерео	ДВ, СВ, КVI—КIV, УКВ	1,5	1	50	50	50	5
Эстония-008 стерео	УКВ	—	—	—	—	—	2,5
Эстония-006 стерео	ДВ, СВ, КVI—КIV, УКВ	1,5	1	50	50	50	5
Мелодия-101 стерео	ДВ, СВ, КVI—КVII, УКВ	2	1,5	150	100	150	5
Мелодия-102	ДВ, СВ, КVI—КVII, УКВ	2	1,5	150	100	150	5

Таблица 137

Номинальный интервал воспроизводимых частот, Гц		Номинальная выходная мощность, Вт	Тип электро-проигрывающего устройства	Потребляемая мощность, В·А	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
в тракте АМС	в тракте ЧМС и при воспроизведении грамзаписи					
31,5— 6 300	31,5— 16 000	2×50	ИЭПУ-73С	115	475×315× ×175** 475×315× ×175***	10,5** 10,5***
100— 3 550	100— 10 000	2×3	ИЭПУ-62СП	50	635×340× 160	25
63— 6 000	63— 16 000	2×6	G-600В	120	660×360× 230** 484×350× ×210***	15** 13,5***
63— 6 300	40— 16 000	2×25	ПЭПУ-62СМ	150	586×393× ×202	16
63— 6 300	63— 16 000	2×10	ИЭПУ-52С	100	790×340× ×270** 450×330× ×170***	25** 10***
63— 6 300	63— 15 000	2×4	ИЭПУ-52С	50	623×317× ×163** 391×305× ×163***	13** 8***
63— 6 300	63— 12 500	2	ИЭПУ-50	40	820×340× ×640	23

Тип аппарата	Диапазоны	Реальная чувствительность*					УКВ
		с внутренней магнитной антенной, мВ/м		с наружной антенной, мкВ			
		ДВ	СВ	ДВ	СВ	КВ	
Урал-112	ДВ, СВ, КВІ, КВІІ, УКВ	2	1,5	150	150	200	10
Кантата-204	ДВ, СВ, КВІ, КВІІ, УКВ	—	—	150	100	150	10
Илга-301	ДВ, СВ, КВІ—КВІІІ, УКВ	—	—	200	150	200	15
Рекорд-354	ДВ, СВ, КВ, УКВ	—	—	200	200	300	30
Сириус-311	ДВ, СВ, КВІ, КВІІ, УКВ	—	—	200	150	200	30
Серенада-404	ДВ, СВ	—	—	200	300	—	—
<i>Магнито</i>							
Романтика-106	ДВ, СВ, КВІ, КВІІ, УКВ	2	1,5	150	150	200	10
<i>Магни</i>							
Вега-320	ДВ, СВ, КВІ—КВІІІ, УКВ	2,5	1,5	—	—	500	100
Томь-305	ДВ, СВ, КВІ—КВІІІ, УКВ	—	—	200	150	200	15
Вега-325 стерео		—	—	—	—	—	—
Ореанда-301	ДВ, СВ, КВ, УКВ	2,5	1,5	—	—	500	100
Эврика-402	ДВ, СВ	2,5	1,5	—	—	—	—

* При отношении сигнал/шум не менее 20 дБ в диапазонах ДВ, СВ, КВ
 ** Габаритные размеры и масса радиоприемника.
 *** Габаритные размеры и масса ЭПУ.

Номинальный интервал воспроизводимых частот, Гц		Номинальная выходная мощность, Вт	Тип электропроигрывающего устройства	Потребляемая мощность, В.А	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
в тракте АМС	в тракте ЧМС и при воспроизведении грамзаписи					
80— 6 300	80— 12 500	2	ПЭПУ-50	80	760×330× ×298	21
100— 4 000	100— 10 000	1,5	ПЭПУ-76	80	750×330× ×275	19
125— 3 550	125— 7 100	3	ПЭПУ-50	40	534×377× ×164	11,6
150— 3 500	150— 7 100	0,5	ПЭПУ-38	75	610×310× ×240	13,5
125— 3 150	125— 7 100	0,5	ПЭПУ-28М	80	700×326× ×715	18
200— 3 150	200— 6 300	0,5	ПЭПУ-38	30	446×270× ×140	9
<i>радиолы</i>						
63— 6 300	63— 12 500	3	ПЭПУ-50	120	750×370× ×550	38
<i>толы</i>						
200— 3 550	200— 7 100	0,3	—	—	750×100× ×300	5
100— 3 550	100— 10 000	2×3	—	—	635×375× ×160	11
200— 3 550	200— 7 100	0,3	—	—	365×98× ×280	5
200— 3 550	200— 7 100	0,4	—	—	304×84× ×226	3,5

и 26 дБ в диапазоне УКВ.

§ 63. Общие сведения об интегральных устройствах

Надежность электронных устройств. Сложные современные электронные устройства содержат 10^6 — 10^7 активных (ламп, транзисторов, диодов) и пассивных (резисторов, конденсаторов, дросселей) элементов. Рост сложности электронных устройств требует повышения надежности элементов схем и электрических соединений между ними, миниатюризации элементов, снижения потребляемой мощности.

Повысить надежность устройства можно при значительном уменьшении числа комплектующих элементов и соединений за счет увеличения выполняемых ими функций при одновременном повышении их надежности работы. При использовании функционально сложных элементов вместо обычных транзисторов, диодов, резисторов, конденсаторов уменьшаются размеры и масса устройств, а также потребляемая мощность и стоимость.

Новые комплектующие изделия созданы на основе элементной интеграции, т. е. объединения в одном сложном миниатюрном функциональном узле ряда простейших элементов (диодов, транзисторов, резисторов и т. п.). Эти изделия, полученные в результате объединения более простых активных и пассивных элементов и соединительных проводов, называют *интегральными микросхемами* (ИС). В интегральной электронике «принтегрированы» процессы изготовления деталей и схем и их соединений в общих технологических процессах одного предприятия. В основе интегральной электроники лежит планарная технология, использующая полупроводниковые структуры, тонкие пленки металлов и диэлектриков, физические процессы в твердом теле.

Интегральная микросхема, или просто интегральная схема ИС, — микроэлектронное изделие, с высокой плотностью упаковки электрически соединенных элементов (или элементов и компонентов) и кристаллов, выполняющее функцию преобразования и обработки сигналов. Под элементом ИС понимают такую ее часть, которая выполняет функцию одного простого радиоэлемента (например, резистора, конденсатора, диода, транзистора) и составляет нераздельное целое с кристаллом ИС или ее подложкой, т. е. не может рассматриваться как самостоятельное изделие. Интегральным элементом служит пленочный резистор, интегральный транзистор и т. д. Компонентом ИС является ее часть, которая выполняет функцию одного или нескольких радиоэлементов и может рассматриваться как самостоятельное изделие. Интегральным компонентом служит бескорпусный транзистор, керамический конденсатор большой емкости, трансформатор.

Элементы конструкции. Основными элементами конструкции ИС являются следующие.

Корпус, предназначенный для защиты ИС от внешних воздействий и ее соединения с внешними электрическими цепями с помощью выводов. Выпускают также бескорпусные ИС, защита которых обеспечивается корпусом устройства, где они устанавливаются.

Подложка — заготовка, предназначенная для нанесения на нее элементов, межэлементных или межкомпонентных соединений, а также контактных площадок.

Плата — вся подложка или ее часть, на поверхности которой нанесены пленочные элементы, межэлементные и межкомпонентные соединения и контактные площадки.

Полупроводниковая пластина — заготовка из полупроводникового материала (или пластина со сформированными элементами полупроводниковых микросхем), используемая для создания полупроводниковых ИС.

Кристалл — частица пластны, которую получают после ее резки. Обычно элементы полупроводниковой микросхемы, межэлементные соединения и контактные площадки сформированы в объеме и на поверхности кристаллов. Контактные площадки, представляющие собой металлизированные участки на плате или кристалле, используются для подсоединения микросхемы к внешним выводам корпуса, а также контроля режимов схем и измерения их электрических параметров.

Выводы бескорпусных ИС от контактных площадок кристалла могут быть жесткими (шариковые, балочные, столбиковые) или гибкими (проволочные, лепестковые). Жесткие выводы могут использоваться для механического крепления ИС, а гибкие — для соединения с внешними цепями.

Степени интеграции. В интегральной электронике неделимый элемент представляет функциональную электронную схему, выполняющую заданные функции. Степень интеграции ИС (т. е. показатель ее сложности) определяется числом содержащихся в ней элементов и компонентов и выражается коэффициентом, равным десятичному логарифму от числа элементов и компонентов N , входящих в ИС: $K_n = \lg N$. В зависимости от значения K_n различают интегральные схемы со степенью интеграции: первой при $K_n=1$ ($N < 10$); второй при $K_n=2$ ($N=11 \div 100$); третьей при $K_n=3$ ($N=101 \div 1000$); четвертой при $K_n=4$ ($N=1001 \div 10\,000$); пятой при $K_n=5$ ($N=10\,001 \div 100\,000$). В соответствии с этим наименованием схемы часто обозначают ИС1, ИС2, ИС3, ... В больших интегральных схемах БИС улучшаются показатели электромагнитной совместимости, поскольку уменьшаются длины соединений между элементами, снижается восприимчивость схемных узлов к помехам из-за уменьшения уровня емкостных и индуктивных (перекрестных) наводок.

Плотность упаковки. При выборе элементной базы и построении электронной аппаратуры важна плотность упаковки элементов в ИС, являющаяся конструктивной характеристикой ИС. Плотность упаковки зависит: от размеров подложки, на поверхности или в толще которой формируется схема; от размеров элементов; уровня рассеиваемой мощности и других факторов. Под плотностью упаковки понимают отношение числа элементов и компонентов ИС к ее объему (без учета объема выводов).

С развитием микроэлектронной техники уменьшаются геометрические размеры активных элементов ИС, вследствие чего возрастает плотность упаковки (табл. 138).

Таблица 138

Годы	Площадь элемента, мм ²	Число транзисторов в кристалле
1966	0,013—0,032	50
1973	0,0013—0,00032	5000
1980	0,00006—0,0002	Более 100 000

В настоящее время преимущество получили гибридные ИС. При малых геометрических размерах пленочных элементов и большой площади пассивных подложек на их поверхности можно разместить десятки—сотни кристаллов ИС. Таким путем создаются многокристальные схемы с большим числом активных и пассивных элементов в неделимом элементе. В этих комбинированных микросхемах можно разместить функциональные узлы, обладающие различными электрическими характеристиками.

Микроэлектронное изделие, выполняющее определенную функцию и состоящее из элементов, компонентов и интегральных микросхем (корпусных и бескорпусных), а также других радиоэлементов, называют *микросборкой*. Она может быть собрана в корпусе или без него.

Микроэлектронное изделие, которое кроме микросборок может содержать интегральные схемы и компоненты, составляет *микроблок*.

§ 64. Классификация интегральных схем

По конструктивно-технологическому исполнению различают полупроводниковые, пленочные и гибридные ИС.

К *полупроводниковым* относят ПМС (полупроводниковые интегральные микросхемы), все элементы и межэлементные соединения которой выполнены в объеме или на поверхности полупроводника. В зависимости от способов изоляции отдельных элементов различают ПМС с изоляцией *p-n*-переходами и микросхемы с диэлектрической (оксидной) изоляцией. ПМС можно изготовить и на подложке из диэлектрического материала на основе как биполярных, так и полевых транзисторов. Обычно в этих схемах транзисторы выполнены в виде трехслойных структур с двумя *p-n*-переходами (*n-p-n*-типа), а диоды — в виде двухслойных структур с одним *p-n*-переходом. Иногда вместо диодов используют транзисторы в диодном включении.

Резисторы ПМС, представленные участками легированного полупроводника с двумя выводами, имеют сопротивление несколько килоомов. В качестве высокоомных резисторов иногда используют обратное сопротивление *p-n*-перехода или входные сопротивления эмиттерных повторителей.

Роль конденсаторов в ПМС выполняют обратно смещенные *p-n*-переходы. Емкость таких конденсаторов составляет 50—200 пФ. Дроссели в ПМС создавать трудно, поэтому большинство устройств проектируют без индуктивных элементов. Все элементы ПМС получают в едином технологическом цикле в кристалле полупроводника. Соединения элементов таких схем осуществляются с помощью алюминиевых или золотых пленок, получаемых методом вакуумного напыления. Соединение схемы с внешними выводами производят алюминиевыми или золотыми проводниками диаметром около 10 мкм, которые методом термокомпрессии присоединяют к пленкам, а затем приваривают к внешним выводам микросхемы.

Полупроводниковые микросхемы могут рассеивать мощность 50—100 мВт, работать на частотах до 20—100 МГц, обеспечивать время задержки до 5 нс. Плотность монтажа электронных устройств на ПМС — до 500 элементов на 1 см². Среднее время безотказной работы устройства, содержащего 10⁷ элементов, достигает 10³—10⁴ ч.

Современный групповой технологический цикл позволяет обрабатывать одновременно десятки полупроводниковых пластин, каждая из которых содержит сотни ПМС с сотнями элементов в кристалле, связанных в заданные электронные цепи. При такой технологии обеспечивается высокая идентичность электрических характеристик микросхем.

Пленочными интегральными (или просто пленочными схемами ПС) называют ИС, все элементы и межэлементные соединения которой выполнены только в виде пленок. Интегральные схемы подразделяют на тонко- и толстопленочные. Эти схемы могут иметь количественное и качественное различие. К тонкопленочным условно относят ИС с толщиной пленок до 1 мкм, а к толстопленочным — ИС с толщиной пленок выше 1 мкм. Качественное различие определяется технологией изготовления пленок. Элементы тонкопленочной ИС наносят на подложку с помощью термовакuumного осаждения и катодного распыления. Элементы толстопленочных ИС изготавливают преимущественно методом шелкографии с последующим жиганием.

Гибридные интегральные микросхемы (ГИС) представляют собой сочетание навесных активных радиоэлементов (микротранзисторов, диодов) и пленочных пассивных элементов и их соединений. Обычно ГИС содержат: изоляционные основания из стекла или керамики, на поверхности которых сформированы пленочные проводники, резисторы, конденсаторы небольшой емкости; навесные бескорпусные активные элементы (диоды, транзисторы); навесные пассивные элементы в миниатюрном исполнении (дрессели, трансформаторы, конденсаторы большой емкости), которые не могут быть выполнены в виде пленок. Такую изготовленную ГИС герметизируют в пластмассовом или металлическом корпусе.

Резисторы сопротивлением от тысячных долей ома до десятков килоомов в ГИС изготавливают в виде тонкой пленки никрома или тантала. Пленки наносят на изоляционную основу (подложку) и подвергают термическому отжигу. Для получения резисторов с сопротивлением в десятки мегаомов используют металлодиэлектрические смеси (хрома, монооксида кремния и др.). Средние размеры пленочных резисторов $(1-2) \times 10^{-3}$ см².

Конденсаторы в ГИС выполняют из тонких пленок меди, серебра, алюминия или золота. Напыление этих металлов производят с подслоем хрома, титана, молибдена, обеспечивая хорошую адгезию с изоляционным материалом подложки. В качестве диэлектрика в конденсаторах используют пленку из оксида кремния, бериллия, двуоксида титана и т. д. Пленочные конденсаторы изготавливают емкостью от десятых долей пикофарда до десятков тысяч пикофард размером от 10^{-3} до 1 см².

Проводники ГИС, с помощью которых осуществляют межэлементные соединения и подключение к выводным зажимам, выполняют в виде тонкой пленки золота, меди или алюминия с подслоем никеля, хрома, титана, обеспечивающем высокую адгезию к изоляционному основанию. Гибридные интегральные схемы, у которых толщина пленок, образующихся при изготовлении пассивных элементов, до 1 мкм с шириной 100—200 мкм, относят к тонкопленочным. Такие пленки получают методом термического напыления на поверхности подложек в вакууме с использованием трафаретов, масок. Гибридные интегральные схемы с толщиной 1 мкм и более относят к толстопленочным и изготавливают путем напыления на под-

ложки токопроводящих или диэлектрических паст через сетчатые трафареты с последующим их вжиганием в подложки при высокой температуре. Эти схемы имеют большие размеры и массу пассивных элементов. Навесные активные элементы состоят из гибких или жестких «шариковых» выводов, которые пайкой или сваркой присоединяют к пленочной микросхеме.

Плотность пассивных и активных элементов при их многослойном расположении в ГИС, выполненной по тонкопленочной технологии, достигает 300—500 элементов на 1 см^2 , а плотность монтажа электронных устройств на ГИС — 60—100 элементов на 1 см^2 . При такой плотности монтажа объем устройства, содержащего 10^7 элементов, составляет 0,1—0,5 м^3 , а время безотказной работы — 10^3 — 10^4 ч.

Основным преимуществом ГИС является возможность частичной интеграции элементов, выполненных по различной технологии (биполярной, тонко- и толстопленочной и др.) с широким диапазоном электрических параметров (маломощные, мощные, активные, пассивные, быстродействующие и др.).

В настоящее время перспективна гибридизация различных типов интегральных схем. При малых геометрических размерах пленочных элементов и большой площади пассивных подложек на их поверхности можно разместить десятки—сотни ИС и других компонентов. Таким путем создадут многокристальные гибридные ИС с большим числом (несколько тысяч) диодов, транзисторов в неделимом элементе. В комбинированных микросхемах можно разместить функциональные узлы, обладающие различными электрическими характеристиками.

Сравнение ПМС и ГИС. Полупроводниковые микросхемы со степенью интеграции до тысяч и более элементов в одном кристалле получили преимущественное распространение. Объем производства ПМС на порядок превышает объем выпуска ГИС. В некоторых устройствах целесообразно применять ГИС по ряду причин.

Технология ГИС сравнительно проста и требует меньших первоначальных затрат на оборудование, чем полупроводниковая технология, что упрощает создание нетиповых, нестандартных изделий и аппаратуры.

Пассивная часть ГИС изготавливается на отдельной подложке, что позволяет получать пассивные элементы высокого качества и создавать высокочастотные ИС.

Технология ГИС дает возможность заменять существующие методы многослойного печатного монтажа при размещении на подложках бескорпусных ИС и БИС и других полупроводниковых компонентов. Технология ГИС предпочтительна для выполнения силовых ИС на большие мощности. Предпочтительно также гибридное исполнение интегральных схем линейных устройств, обеспечивающих пропорциональную зависимость между входными и выходными сигналами. В этих устройствах сигналы изменяются в широком интервале частот и мощностей, поэтому их ИС должны обладать широким диапазоном номиналов, не совместимых в едином процессе изготовления пассивных и активных элементов. Большие интегральные схемы БИС допускают объединение различных функциональных узлов, в связи с чем они получили широкое распространение в линейных устройствах.

Преимущества и недостатки интегральных схем. Преимуществом ИС являются высокая надежность, малые размеры и масса. Плотность активных элементов в БИС достигает 10^3 — 10^4 на 1 см^2 . При установке микросхем в печатные платы и соединении их в блоки плотность элементов составляет 100—500 на 1 см^2 , что в 10—50 раз выше, чем при использовании отдельных транзисторов, диодов, резисторов в микромодульных устройствах.

Интегральные схемы безынерционны в работе. Благодаря небольшим размерам в микросхемах снижаются междоузелковые емкости и индуктивности соединительных проводов, что позволяет использовать их на сверхвысоких частотах (до 3 ГГц) и в логических схемах с малым временем задержки (до 0,1 нс).

Микросхемы экономичны (от 10 до 200 мВт) и уменьшают расход электроэнергии и массу источников питания.

Основным недостатком ИС является малая выходная мощность (50—100 мВт).

В зависимости от функционального назначения ИС делят на две основные категории — аналоговые (или линейно-импульсные) и цифровые (или логические).

Аналоговые интегральные схемы АИС используются в радиотехнических устройствах и служат для генерирования и линейного усиления сигналов, изменяющихся по закону непрерывной функции в широком диапазоне мощностей и частот. Вследствие этого аналоговые ИМС должны содержать различные по номиналам пассивные и по параметрам активные элементы, что усложняет их разработку. Гибридные микросхемы уменьшают трудности изготовления аналоговых устройств в микроминиатюрном исполнении. Интегральные микросхемы становятся основной элементной базой для радиоэлектронной аппаратуры.

Цифровые интегральные схемы ЦИС применяются в ЭВМ, устройствах дискретной обработки информации и автоматики. С помощью ЦИС преобразуются и обрабатываются цифровые коды. Вариантом этих схем являются логические микросхемы, выполняющие операции над двоичными кодами в большинстве современных ЭВМ и цифровых устройств.

Аналоговые и цифровые ИС выпускаются сериями. В серию входят ИС, которые могут выполнять различные функции, но имеют единое конструктивно-технологическое исполнение и предназначаются для совместного применения. Каждая серия содержит несколько различающихся типов, которые могут делиться на типоминималы, имеющие конкретное функциональное назначение и условное обозначение. Совокупность типоминималов образует тип ИС.

§ 65. Условные обозначения интегральных схем

Обозначение ИС состоит из четырех элементов: *первый элемент* — цифра, указывающая конструктивно-технологическую группу (цифры 1, 5, 7 указывают, что ИС полупроводниковые; 2, 4, 6 и 8 — гибридные, а 3 — пленочные, керамические, вакуумные и др.); *второй элемент* — две-три цифры порядкового номера разработки, присвоенные данной серии (в результате первых два элемента составляют три-четыре цифры, определяющие полный номер серии ИС); *третий элемент* — две буквы: первая обозначает подгруппу,

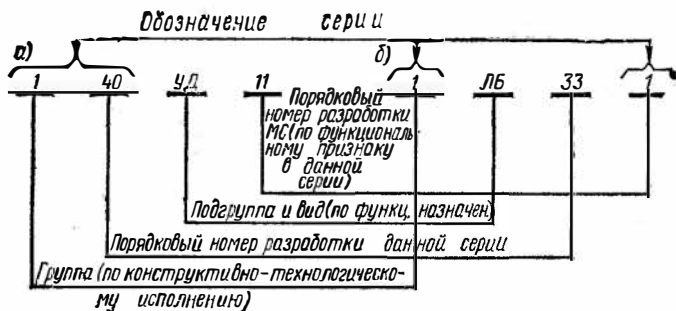


Рис. 134. Условное обозначение микросхем:

а — 140УД11, б — 1ЛБ331

вторая — вид микросхемы по функциональному назначению; *четвертый элемент* — порядковый номер разработки ИС по функциональному признаку в данной серии. Этот элемент может состоять из одной или нескольких цифр. Пример основного условного обозначения интегрального полупроводникового операционного усилителя с порядковым номером разработки серии 40 и порядковым номером разработки данной схемы в серии по функциональному признаку 11 приведен на рис. 134, а. Иногда в конце условного обозначения добавляют буквы от А до Я, которые характеризуют технологический разброс электрических параметров (модификацию) данного типоминнала или определяют тип корпуса (например, буква П означает пластмассовый корпус, а М — керамический). Перед условным обозначением микросхем, используемых в устройствах широкого применения, ставят букву К (например, К140УД11). Если после буквы К перед номером серии стоит буква М (например, КМ155ЛА1), это означает, что вся данная серия выпускается в керамическом корпусе, если же после буквы К ставится буква Б (например, КБ524РП1А-4), то серия выпускается в бескорпусном варианте, без присоединения выводов к кристаллу микросхемы. Экспортный вариант микросхемы (с шагом выводов корпуса 2,54 мм) обозначают буквой Э перед буквой К (например, ЭК561ЛС2).

В обозначении бескорпусных ИС через дефис вводится цифра от 1 до 6 (например, 703ЛБ1-2), характеризующая модификацию конструктивного исполнения. Цифры означают: 1 — микросхема с гибкими выводами (с числом выводов до 16); 2 — с ленточными (паучковыми) выводами, в том числе на полиамидной пленке; 3 — с жесткими выводами; 4 — на общей пластине (неразделенные); 5 — разделенные без потери ориентировки (например, наклеенные на пленку); 6 — с контактными площадками без выводов (кристалл).

Для микросхем, разработанных до 1973 г., обозначение конструктивно-технологической группы отделялось от порядкового номера серии буквенным шифром функции, выполняемой схемой (например, 1ЛБ 33 1, рис. 134, б). Старые и новые условные обозначения различаются буквами, указывающими подгруппы и виды.

По характеру выполняемых функций в аппаратуре ИС подразделяют на подгруппы (генераторы, детекторы, ключи, модуляторы, усилители) и виды (преобразователи напряжения, частоты, фазы и т. д.).

§ 66. Полупроводниковые линейно-импульсные микросхемы

Микросхемы серии К118

К1УС181 (А—Д). Двухкасодный усилитель (рис. 135, а, б)

	К1УС181А	К1УС181В	К1УС181В	К1УС181Г	К1УС181Д
Напряжение источника питания, В	6,3	6,3	12,6	12,6	12,6
Входное сопротивление, кОм	2	2	2	2	2
Коэффициент усиления на частоте 12 кГц	250	400	350	500	800

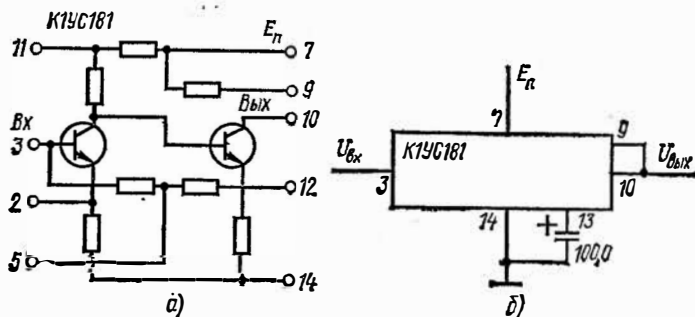


Рис. 135. Двухкасодный усилитель (а) и схема его включения (б)

К1УС182 (А, Б, В). Каскодный усилитель (рис. 136, а, б)

	К1УС182А	К1УС182Б	К1УС182В
Напряжение источника питания, В	4	6,3	6,3
Входное сопротивление, кОм	1	1	1
Выходное сопротивление, кОм	1,2—3	1,2—3	1,2—3

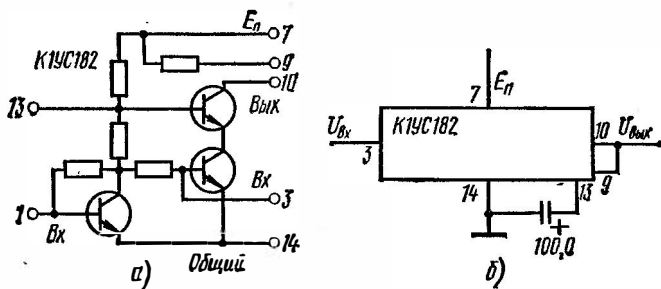


Рис. 136. Каскодный усилитель (а) и схема его включения (б)

Коэффициент усиления на частоте 12 кГц	15	20	40
Напряжение входного сигнала, мВ	100	100	50

К1ТШ181 (А—Д) Триггер Шмитта (рис. 137, а, б)

	К1ТШ181А	К1ТШ181В
Напряжение источника питания, В	± 3	± 4
Максимальный ток входного сигнала, мкА	20	40
Напряжение срабатывания, В	0—0,35	0—0,35
Напряжение выходного сигнала, В	от -0,4 до +3,5	от -0,4 до +4,05

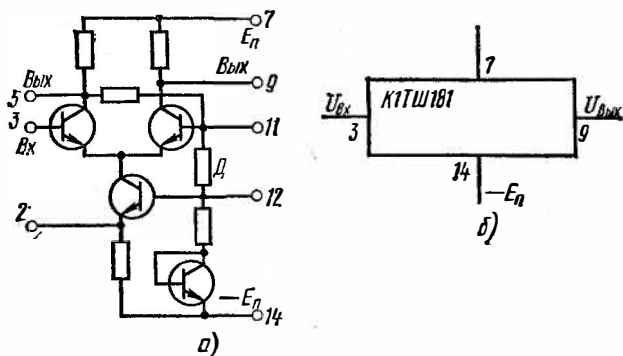


Рис. 137. Триггер Шмитта (а) и схема его включения (б)

Продолжение

	К1ТШ181В	К1ТШ181Г	К1ТШ181Д
Напряжение источника питания, В	± 4	$\pm 6,3$	$\pm 6,3$
Максимальный ток входного сигнала, мкА	20	40	20
Напряжение срабатывания, В	0—0,35	0—0,4	0—0,4
Напряжение выходного сигнала, В	от -0,4 до +4,05	от -0,4 до +6,35	от -0,4 до +6,35

Микросхемы серии К119

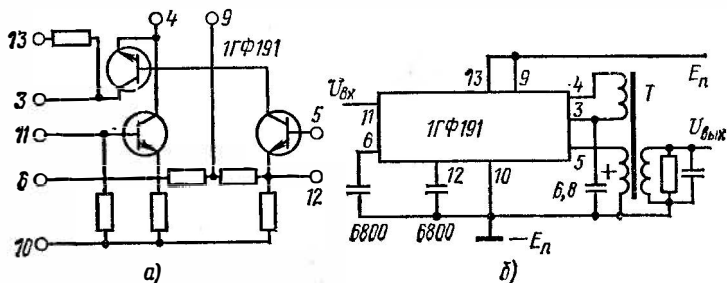


Рис. 138. Элемент ждущего блокинг-генератора (а) и схема его включения (б)

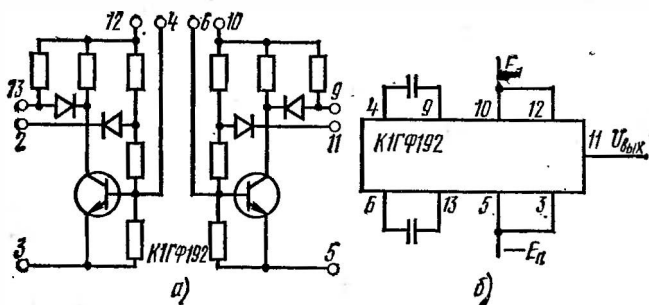


Рис. 139. Мультивибратор с самовозбуждением (а) и схема его включения (б)

К1ГФ191. Элемент ждущего блокинг-генератора (рис. 138, а, б)

Напряжение источника питания, В 6,3
 Ток потребления, мА 3

Параметры входного импульса

Амплитуда, В 3,5°
 Полярность положительная
 Частота, кГц 100
 Длительность импульса, мкс 0,2—0,4
 Длительность фронта, мкс 0,1

Параметры выходного импульса

Амплитуда, В 4
 Длительность, мкс:
 импульса 0,3—1,4
 фронта 0,3
 спада 0,5
 Помехоустойчивость, В не хуже 0,5
 Сопротивление нагрузки, кОм 1

К1ГФ192. Мультивибратор с самовозбуждением (рис. 139, а, б)

Напряжение источника питания, В 3
 Ток потребления, мА 6
 Амплитуда выходного импульса, В 1
 Длительность импульса, мкс:
 выходного 7—25
 фронта выходного 0,5
 фронта входного 0,5
 спада 1,8

Микросхемы серии К122

Выпускают в круглом металлокерамическом корпусе с 12 выводами (рис. 140) массой 1,5 г с диапазоном рабочих температур от -45 до $+85^{\circ}\text{C}$.

Рис. 140. Общий вид и основные размеры микросхем К122

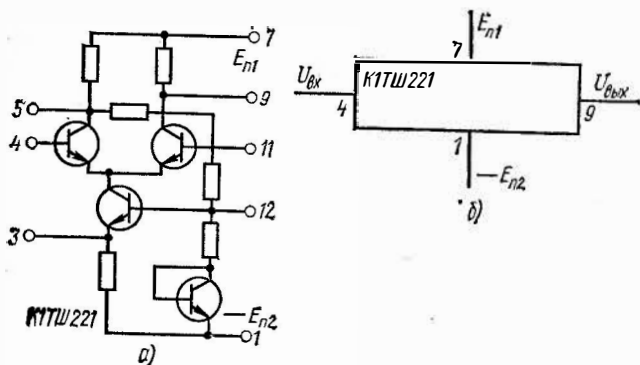
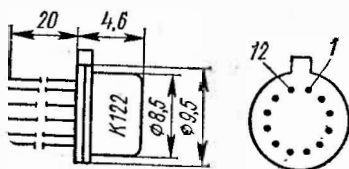


Рис. 141. Триггер Шмитта (а) и схема его включения (б)

К1ТШ221 (А—Д). Триггер Шмитта (рис. 141, а, б)

	К1ТШ221А	К1ТШ221Б	
Напряжение источника питания, В	± 3	± 4	
Ток входного сигнала, мкА	20	40	
Напряжение выходного сигнала, В	от $-0,4$ до $+2,7$	от $-0,4$ до $+3,7$	
		<i>Продолжение</i>	
	К1ТШ221В	К1ТШ221Г	К1ТШ221Д
Напряжение источника питания, В	± 4	$\pm 6,3$	$\pm 6,3$
Ток входного сигнала, мкА	20	40	20
Напряжение выходного сигнала, В	от $-0,4$ до $+3,7$	от $1,2$ до 6	от $1,2$ до 6

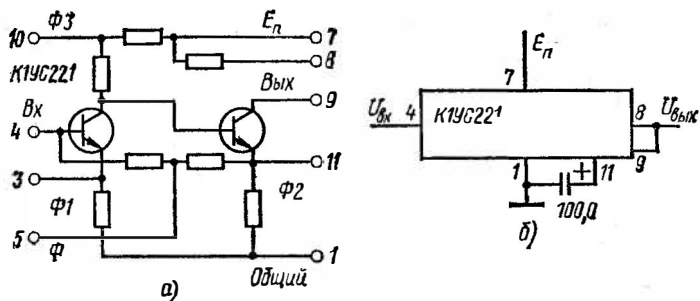


Рис. 142. Двухкаскадный усилитель переменного тока (а) и схема его включения (б)

$\Phi 1-\Phi 3$ — фильтры, E_n — источник питания

K19C221 (А—Д). Двухкаскадные усилители переменного тока (рис. 142, а, б)

	K19C221A	K19C221B	
Напряжение источника питания, В	+6,3	+6,3	
Входное сопротивление, кОм	2	2	
Коэффициент усиления на частоте 12 кГц	250	400	
Постоянное напряжение на выходе, В	2,8	2,8	
	K19C221B	K19C221Г	K19C221Д
Напряжение источника питания, В	+12,6	+12,6	+12,6
Входное сопротивление, кОм	2	2	2
Коэффициент усиления на частоте 12 кГц	350	500	800
Постоянное напряжение на выходе, В	9,6	9,6	9,6

K19C222 (А, Б, В). Каскодный усилитель (рис. 143, а, б)

	K19C222A	K19C222Б	K19C222В
Напряжение источника питания, В	4	6,3	6,3
Входное сопротивление, кОм	1	1	1
Коэффициент усиления на частоте 12 кГц	15	25	40
Напряжение входного сигнала, мВ	100	100	50

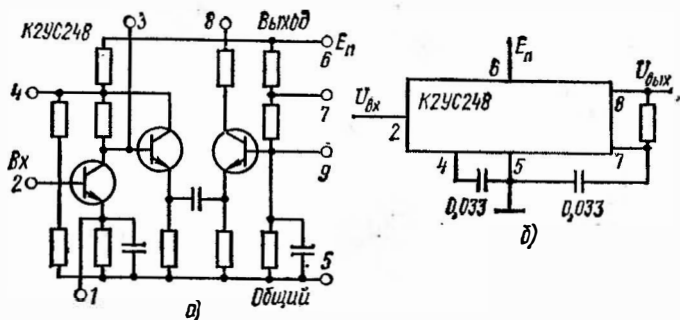
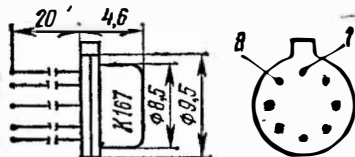


Рис. 143. Каскодный усилитель (а) и схема его включения (б)

Микросхемы серии К167

Выпускают с усилителями на МОП-транзисторах в круглом металлостеклянном корпусе с 8 выводами (рис. 144), массой 1,5 г, с диапазоном рабочих температур от -45 до $+70$ °С.

Рис. 144. Общий вид и основные размеры микросхем К167



К1УС671. Усилитель низкой частоты (рис. 145, а, б).

Напряжение источника питания, В	-12
Ток потребления, мА	5
Коэффициент усиления	500—1300
Предельная частота усиления, кГц	100
Коэффициент нелинейных искажений, %	5
Входная емкость, пФ	80
Выходное сопротивление, кОм	20
Коэффициент шума на частоте 10 кГц, дБ	6,5

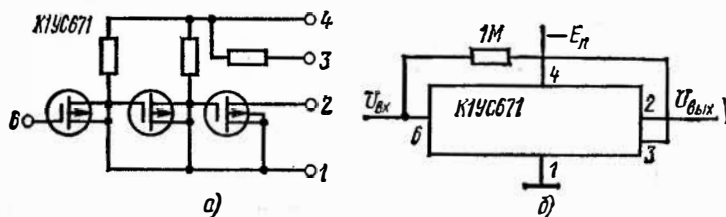


Рис. 145. Усилитель низкой частоты (а) и схема его включения (б)

Микросхемы серии К177

Выпускают в прямоугольном стеклянном корпусе с 14 выводами (рис. 146, а, б), массой 1 г, с диапазоном рабочих температур от -45 до $+85$ °С.

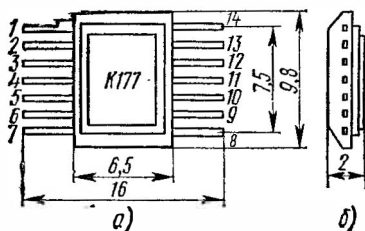


Рис. 146. Общий вид и основные размеры микросхем К177 (а) и вид сбоку (б)

К1УС771. Двухтактный усилитель напряжения (рис. 147, а, б)

Напряжение источника питания, В	12,6
Ток потребления, мА, при отсутствии сигнала	5
Коэффициент усиления по напряжению на частоте 1 кГц	80—150
Сопротивление, кОм, на частоте 1 кГц:	

входное	40
выходное	0,05

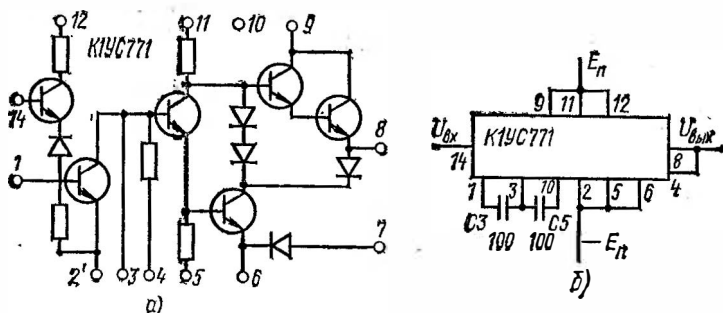


Рис. 147. Двухтактный усилитель напряжения (а) и схема его включения (б):

С3, С5 — корректирующие конденсаторы от 30 до 300 пФ для устранения возбуждения

Микросхемы серии К198

Выпускают с усилителями или транзисторными сборками в прямоугольном металлоглазном корпусе с 14 выводами (рис. 148, а, б), массой 1,5 г, с диапазоном рабочих температур от -45° до $+85^{\circ}\text{C}$.

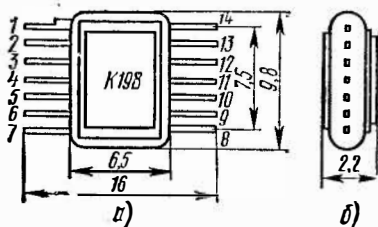


Рис. 148. Общий вид, основные размеры и обозначение выводов микросхем К198(а) и вид сбоку (б)

К1УТ981 (А, Б). Многофункциональный усилитель (рис. 149, а, б)

Напряжение источника питания, В	$\pm 6,3$
Ток потребления, мА, при $U_{вх}=0\text{В}$	5
Входной ток, мкА, при $U_{вх}=0\text{В}$	10
Коэффициент передачи по напряжению на $f=$ $=10$ кГц при $U_{вх2}=0\text{В}$ и $U_{вых1}=0,7$ В	20—70
Максимальный размах неискаженного выходного напряжения, В, при $U_{вх2}=0\text{В}$, $f=10$ кГц и $K_f \leq 10\%$	2,5
Напряжение смещения нуля, мВ, при $U_{вых1}=U_{вых2}$ для групп:	
К1УТ981А	8
К1УТ981Б	15
Разность входных токов, мкА, при $U_{вх}=0\text{В}$ для групп:	
К1УТ981А	3
К1УТ981Б	8

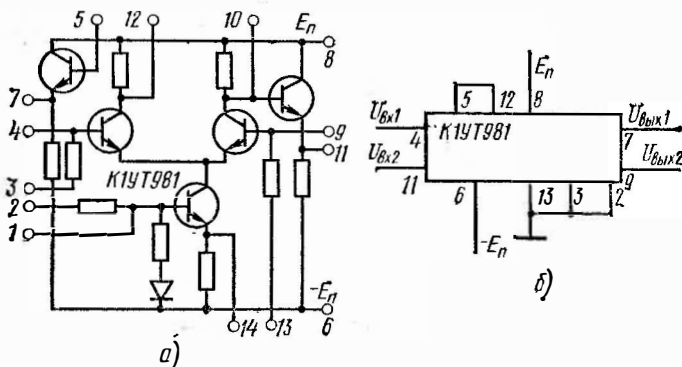


Рис. 149. Многофункциональный усилитель (а) и схема его включения (б)

§ 67. Гибридные линейно-импульсные микросхемы

Микросхемы серии К218

Выпускают в прямоугольном металлостеклянном корпусе с 14 выводами (рис. 150, а, б) массой 1,8 г.

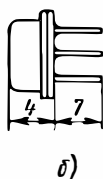
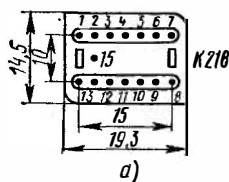


Рис. 150. Общий вид, основные размеры и обозначение выводов микросхем К218 (а) и вид сбоку (б)

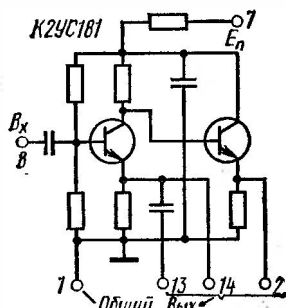


Рис. 151. Усилитель промежуточной частоты

К24С181. Усилитель промежуточной частоты (рис. 151)

Напряжение источника питания, В	6,3
Потребляемая мощность, мВт	62
Коэффициент усиления	5
Неравномерность частотной характеристики, дБ	2,3
Линейный участок амплитудной характеристики, мВ:	
по входу	30
по выходу	200

К2ГФ181. Автоколебательный мультивибратор (рис. 152, а, б)

Напряжение источника питания, В	6,3
Потребляемая мощность, мВт	86

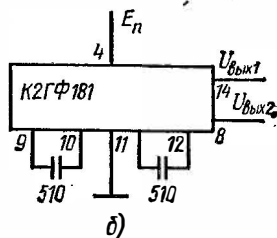
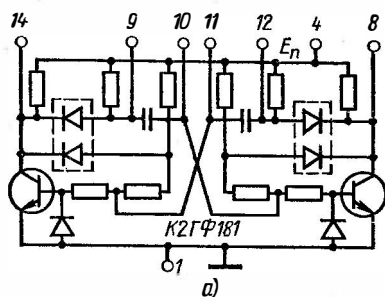


Рис. 152. Автоколебательный мультивибратор (а) и схема его включения (б)

Частота следования выходных импульсов с навесными элементами	от 50 Гц до 0,6 МГц
Амплитуда выходных импульсов, В	2,8
Длительность выходных импульсов, мкс:	
фронты	1
спада	0,2
Период повторения выходных импульсов, мкс:	
с навесными конденсаторами	4
без навесных конденсаторов	0,6—1,5
Сопротивление нагрузки, кОм	2
Емкость нагрузки, мФ	100

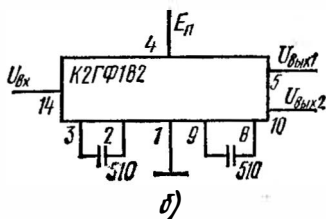
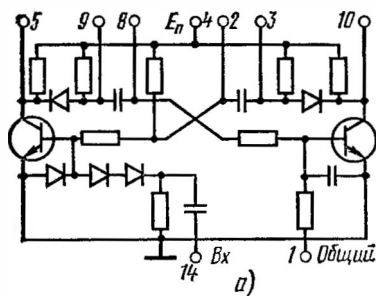


Рис. 153. Ждущий мультивибратор (а) и схема его включения (б)

К2ГФ182. Ждущий мультивибратор
(рис. 153, а, б)

Напряжение источника питания, В	6,3
Потребляемая мощность, мВт	76
<i>Параметры входных импульсов</i>	
Амплитуда, В	2,5—6
Полярность	отрицательная
Длительность, мкс	0,3
Частота следования, кГц	250
Напряжение помехи, В	0,8
<i>Параметры выходных импульсов</i>	
Амплитуда, В	2,8
Длительность, мкс:	
с навесным элементом	2
без навесного элемента	0,8—1,5
фронты	1
спада	0,15
Сопротивление нагрузки, кОм	2
Емкость нагрузки, пФ	100

Микросхемы серии К224

Гибридные микросхемы, используемые в радиовещательных и телевизионных приемно-усилительных устройствах, выпускают в прямоугольном металлополимерном корпусе с 9 выводами (рис. 154, а, б), массой 3 г, с диапазоном рабочих температур от -30 до $+50^{\circ}\text{C}$.

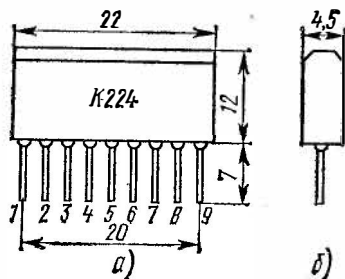


Рис. 154. Общий вид, основные размеры и обозначение выводов микросхем К224 (а) и вид сбоку (б)

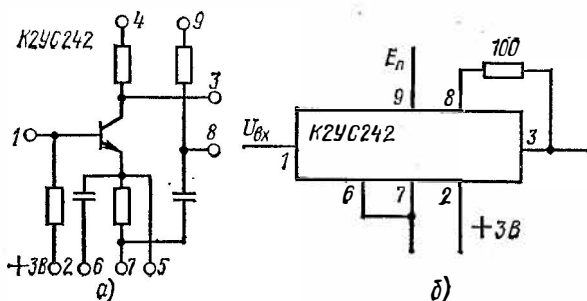


Рис. 155. Универсальный усилитель (а) и схема его включения (б)

К2УС242. Универсальный усилитель (рис. 155, а, б)

Напряжение источника питания, В	3,6—9
Ток потребления, мА	1,8
Потребляемая мощность, мВт	15
Крутизна вольтамперной характеристики, мА/В, на $f=10$ МГц	25
Диапазон рабочих частот, мГц	0,15—33
Входное сопротивление, Ом, на $f=10$ мГц	150
Напряжение смещения, В	3

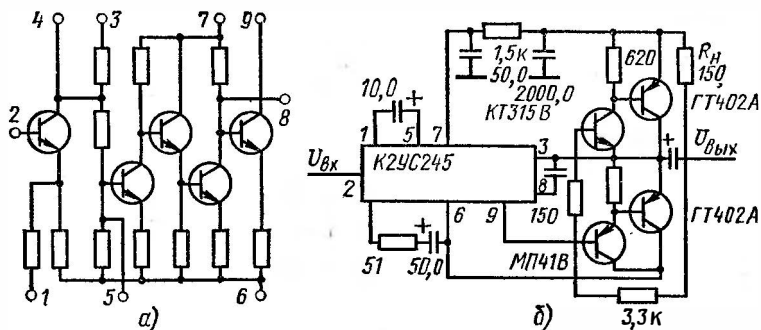


Рис. 156. Предварительный усилитель низкой частоты (а) для работы с бестрансформаторным выходным усилителем и схема их включения (б)

К2УС245. Предварительный УНЧ
(рис. 156, а, б)

Напряжение источника питания, В	От 5,4 до 12
Ток, потребляемый в режиме покоя, мА	5,5
Потребляемая мощность, мВт	80
Коэффициент усиления	140
Коэффициент нелинейных искажений, %	3
Выходное сопротивление, кОм	15

Примечание. Параметры приведены для совместной работы с бестрансформаторным выходным усилителем.

К2УС247. Выходной усилитель промежуточной частоты изображения (рис. 157, а, б)

Напряжение источника питания, В	12
Ток потребления, мА	28
Крутизна вольтамперной характеристики, мА/В, на $f=35$ МГц	70

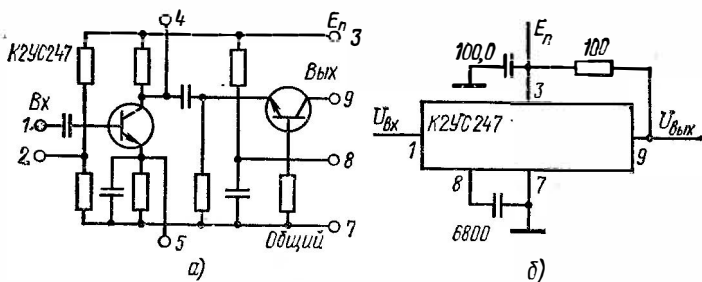


Рис. 157. Выходной усилитель промежуточной частоты изображения (а) и схема его включения (б)

Диапазон рабочих частот, МГц . . . 30—45
 Неравномерность частотной характеристики в рабочем диапазоне, дБ 3

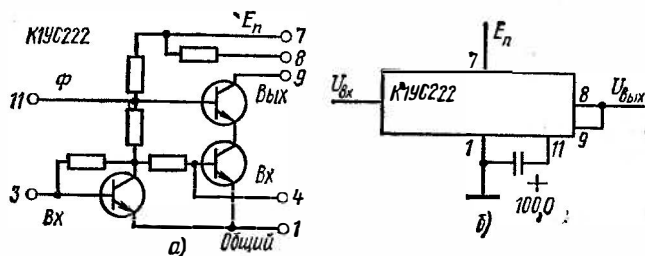


Рис. 158. Усилитель промежуточной частоты (а) звукового канала и схема его включения (б)

K2УС248. Усилитель промежуточной частоты звукового канала (рис. 158, а, б)

Напряжение источника питания, В 12
 Ток потребления, мА 15
 Крутизна вольтамперной характеристики, мА/В, на $f=6,5$ МГц 1000
 Диапазон рабочих частот, МГц 4—10
 Неравномерность частотной характеристики в рабочем диапазоне, дБ 3

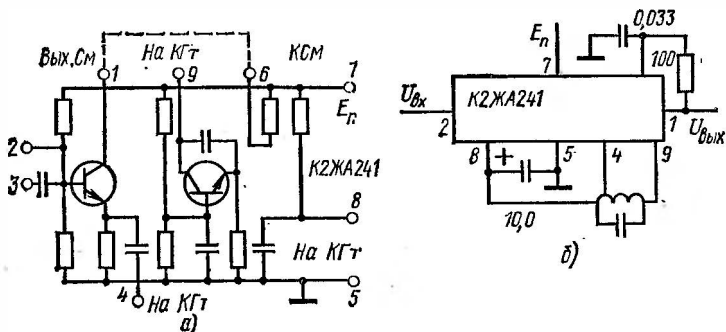


Рис. 159. Смеситель и гетеродин тракта УКВ-ЧМ (а) и схема их включения (б):

Вых.См — выходной смеситель, *КСм* — контур смесителя, *КГТ* — контур гетеродина

К2ЖА241. Смеситель и гетеродин тракта УКВ-ЧМ (рис. 159, а, б)

Напряжение источника питания, В	4
Ток потребления, мА	3
Потребляемая мощность, мВт	30
Крутизна вольтамперной характеристики, мА/В, на $f=10$ МГц	4
Диапазон рабочих частот, МГц:	
гетеродина	65—120
смесителя	10—110
Входное сопротивление, Ом, на $f=10$ МГц	150

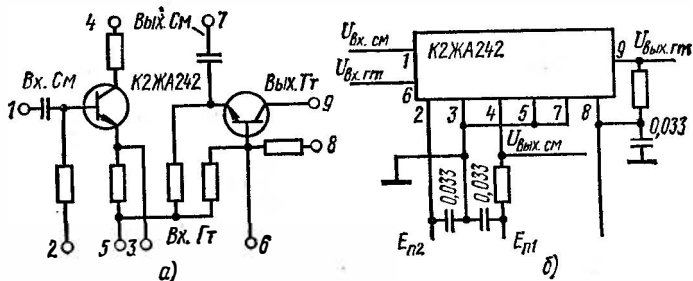


Рис. 160. Смеситель и гетеродин тракта амплитудной модуляции (а) и схема их включения (б):

Вх.См и *Вых.См* — входной и выходной смесителя, *Вх.ГТ* и *Вых.ГТ* — входной и выходной гетеродина

К2ЖА242. Смеситель и гетеродин тракта амплитудной модуляции (рис. 160, а, б)

Напряжение источника питания каскада, В:	
смесительного	+3,6—9
гетеродинного	+4
Ток потребления, мА:	
смесителя	1,8
гетеродина	2
Напряжение смещения смесительного каскада, В	3
Диапазон рабочих частот, МГц:	
смесителя	0,15—30
гетеродина	0,5—30
Крутизна вольтамперной характеристики, мА/В:	
смесителя	18
гетеродина	14
Входное сопротивление, Ом, на $f=10$ МГц	500

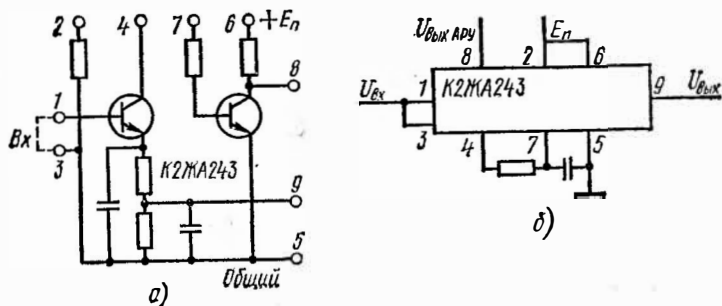


Рис. 161. Детектор АМ и усилитель АРУ в трактах амплитудной модуляции (а) и схема их включения (б)

К2ЖА243. Детектор АМ и усилитель АРУ в трактах амплитудной модуляции (рис. 161, а, б)

Напряжение источника питания, В	3
Потребляемая мощность, мВт	10
Коэффициент передачи детектора при $R_n=20$ кОм	0,3
Рабочая частота, кГц	465

Коэффициент нелинейных искажений, %	3
Входное сопротивление, Ом, на $f=465$ кГц	500

К2ЖА244. Усилитель-ограничитель (рис. 162, а, б)

Напряжение источника питания, В	12
Ток потребления, мА	10
Крутизна вольтамперной характеристики, мА/В, на $f=4,5$ МГц	2
Диапазон рабочих частот, МГц	3—6
Неравномерность частотной характеристики в рабочем диапазоне, дБ	3

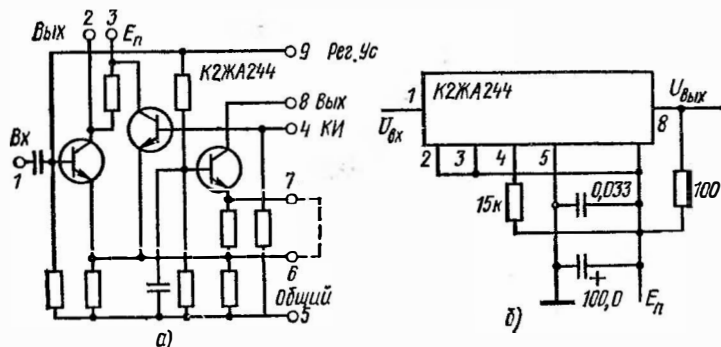


Рис. 162. Усилитель-ограничитель (а) и схема его включения (б):

Рег. Ус — регулировка усиления, КИ — коммутирующий импульс

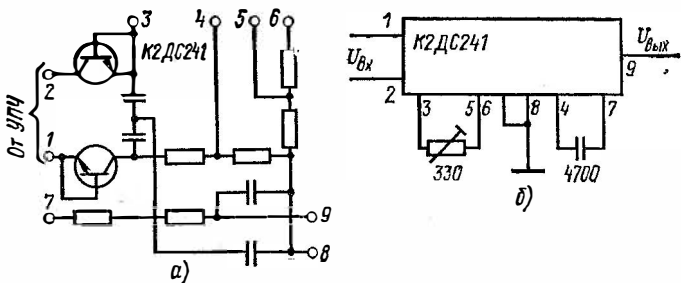


Рис. 163. Частотный детектор (а) и схема его включения (б)

К2ДС241. Частотный детектор (рис. 163, а, б)

Вторичная обмотка выходного трансформатора УПЧ подключается к выводам 1 и 2. Подстроечный резистор сопротивлением 330 Ом используется для симметрирования плеч детектора. Коэффициент передачи при нагрузке 20 кОм равен 0,15, диапазон рабочих частот — от 5 до 110 МГц.

К2УП241. Смеситель в трактах АМ и УКВ-ЧМ (рис. 164, а, б)

Входной трансформатор для частоты 150 кГц выполнен на сердечнике М600НН типа К7×4×2, для частоты 10 МГц — на сердечнике М150 типа В42×4×2, для частоты 110 МГц — на сердечнике М30В42 типа К7×4×2 с обмотками по 15 витков провода ПЭВ-1 диаметром 0,1 мм.

Напряжение источника питания, В	+5,4—9
Ток потребления, мА	3,5
Потребляемая мощность, мВт	20
Напряжение смещения, В	+3
Диапазон частот, МГц	0,15—110
Крутизна вольтамперной характеристики, мА/В, в диапазоне частот, МГц:	

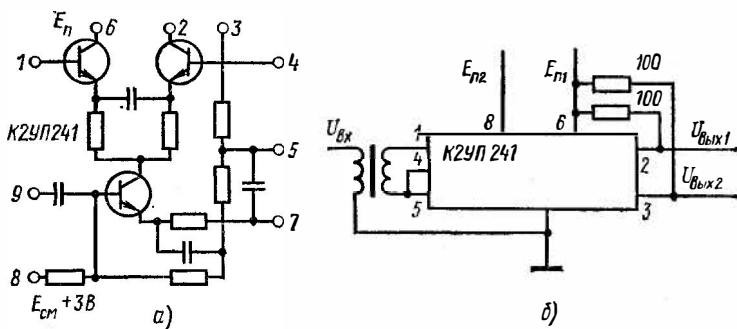


Рис. 164. Смеситель в трактах АМ и УКВ-ЧМ (а) и схема его включения (б)

0,15—30	10
30—110	5
Относительный разброс крутизны смесительных каскадов, %	± 10

Микросхемы серии К226

Выпускают с усилителями низкой частоты в прямоугольном металлокерамическом корпусе с 15 выводами (рис. 165, а, б), массой 4,5 г, с диапазоном рабочих температур от -45 до $+55$ °С.

Входное сопротивление, МОм, при $C_{вх} =$ 20 пФ и $f = 100$ Гц	10
Выходное сопротивление, Ом	100
Коэффициент нелинейных искажений, %, при $R_{н} = 3$ кОм и $U_{вых} = 1,5$ В	5
Ослабление на частотах 20 Гц и 100 кГц, дБ	3

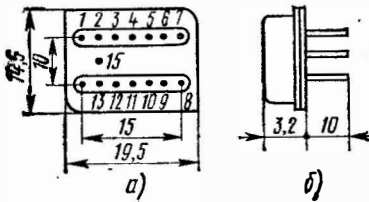


Рис. 165. Общий вид, основные размеры и обозначение выводов микросхемы К226 (а) и вид сбоку (б)

К2УС261 (А, Б, В). Усилитель низкой частоты (рис. 166, а, б)

	К2УС261А	К2УС261Б	К2УС261В
Коэффициент усиления	274—324	250—310	290—350
Уровень собственных шумов, мВ, в диапазоне частот 20 Гц—20 кГц при входе, замкнутым емкостью 4700 пФ	5	12	12
Напряжение источника питания, В	$+12,6$ и $-6,3$		
Потребляемая мощность, мВт, при напряжении, В:			
+ 12,6	60		
- 6,3	45		
Входная емкость, пФ	20		

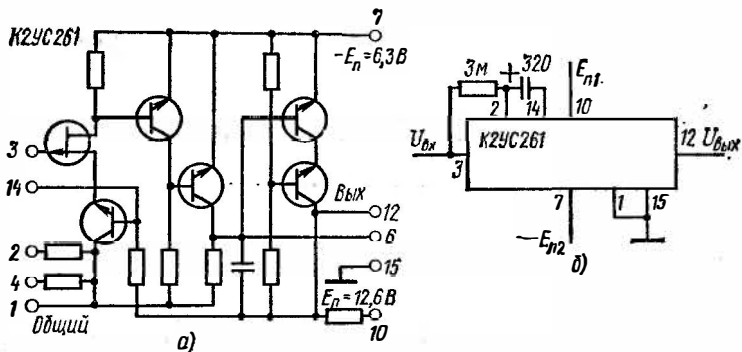


Рис. 166. Усилитель низкой частоты (а) и схема его включения (б)

K2YC262 (А, Б, В). Усилитель низкой частоты (рис. 167, а, б)

	K2YC262A	K2YC262Б	K2YC262В
Коэффициент усиления	27,6—32,4	25—31	29—35
Уровень собственных шумов, мВ, в диапазоне частот 20 Гц—20 кГц при входе, замкращенном емкостью 4700 пФ .	5	12	12

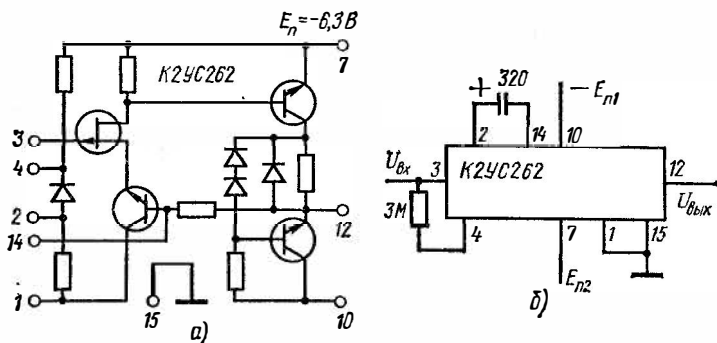


Рис. 167. Усилитель низкой частоты (а) и схема его включения (б)

Напряжение источника питания, В	+12,6 и -6,3
Потребляемая мощность, мВт, при напряжении, В	
+12,6	50
-6,3	45
Входная емкость, пФ	20

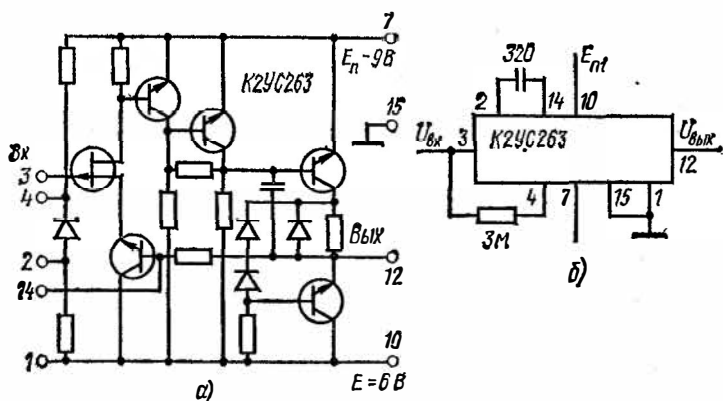


Рис. 168. Усилитель низкой частоты (а) и схема его включения (б)

К2УС263 (А, Б, В). Усилитель низкой частоты (рис. 168, а, б)

	К2УС263А	К2УС263Б	К2УС263В
Коэффициент усиления	270—330	270—330	270—300
Уровень собственных шумов, мВ, в диапазоне частот 20 Гц—20 кГц при входе, замкнутом емкостью 4700 пФ	5	12	18

Напряжение источника питания, В	+6 и -9
Потребляемая мощность, мВт, при напряжении, В:	
+ 6	15
- 9	45

К2УС264 (А, Б, В). Усилитель низкой частоты (см. рис. 167, а, б)

	К2УС264А	К2УС264Б	К2УС264В
Коэффициент усиления	9—11	9—11	9—11
Уровень собственных шумов, мВ, в диапазоне частот 20 Гц—20 кГц при входе, закороченном емкостью 4700 пФ .	5	12	18
Напряжение источника питания, В	+6 и -9		
Потребляемая мощность, мВт, при напряжении, В			
+ 6	10		
- 9	25		

К2УС265 (А, Б, В). Усилитель низкой частоты (рис. 169)

	К2УС265А	К2УС265Б	К2УС265В
Коэффициент усиления	92—108	80—105	92—120
Уровень собственных шумов, мВ, в диапазоне частот 20 Гц—20 кГц и при входе, закороченном емкостью 4700 пФ .	—	12.	12

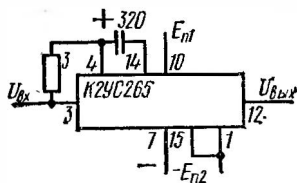


Рис. 169. Схема включения усилителя низкой частоты

Напряжение источника питания, В	+12,6 и -6,3
Потребляемая мощность, мВт, при напряжении, В:	
+ 12,6	60
- 6,3	55
Входная емкость, пФ	20

Микросхемы серии К237

Эти гибридные микросхемы выполняют в прямоугольном пластмассовом корпусе с 14 выводами (рис. 170, а, б), массой 3 г, с диапазоном рабочих температур от -30 до $+70$ °С.

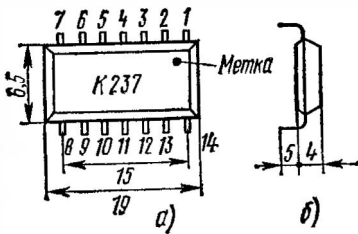


Рис. 170. Общий вид, основные размеры и обозначение выводов микросхемы К237 (а) и вид сбоку (б)

К2ЖА371. Усилитель высокой частоты и преобразователь в трактах АМ (рис. 171, а, б)

Напряжение источника питания, В	5
Потребляемый ток, мА	3
Потребляемая мощность, мВт	25
Коэффициент усиления в режиме преобразования	100—250
Коэффициент шума в режиме преобразования, дБ	6
Напряжение гетеродина, мВ, на частоте 15 МГц	300—450
Уменьшение усиления в режиме преобразования на частоте 15 МГц по отношению к усилению на частоте 150 кГц, дБ	5

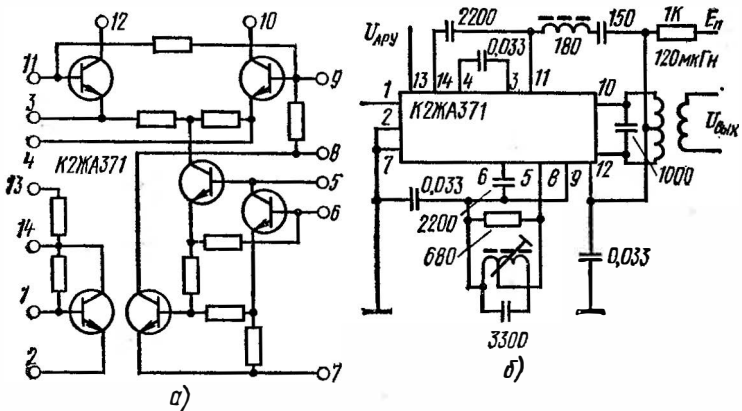


Рис. 171. Усилитель высокой частоты и преобразователь в трактах АМ (а) и схема их включения (б)

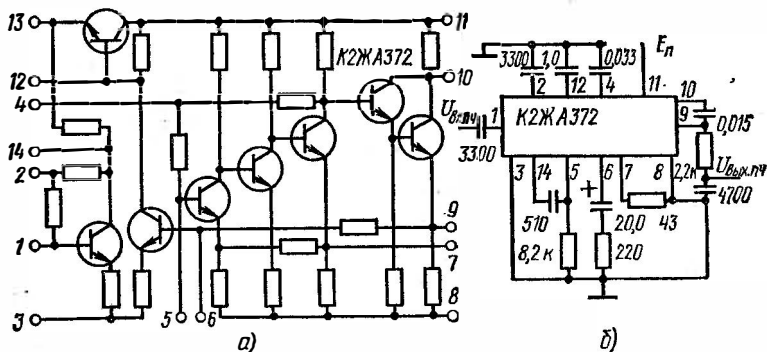


Рис. 172. Усилитель промежуточной частоты, детектор и автоматическая регулировка усиления (а) и схема их включения (б)

К2ЖА372. Усилитель промежуточной частоты, детектор и автоматическая регулировка усиления (рис. 172, а, б)

Напряжение источника питания, В	5
Потребляемый ток, мА	4
Потребляемая мощность, мВт	25
Коэффициент нелинейных искажений выходного напряжения детектора, %	3

Входное сопротивление, Ом, при $I_k=0$ мА 430—1000

Изменение выходного напряжения низкой частоты детектора, дБ, при изменении напряжения высокой частоты на входе УПЧ от 5 до 3000 мкВ 6

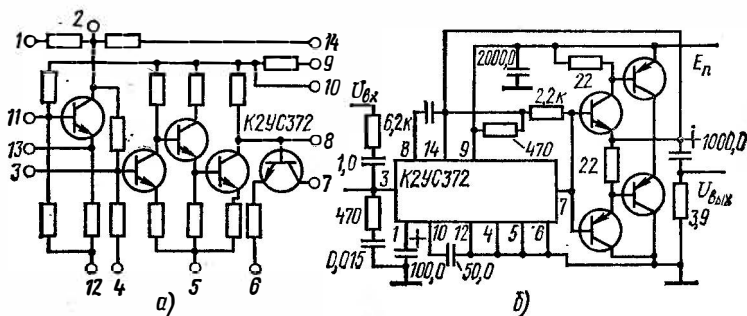


Рис. 173. Усилитель низкой частоты (а) и схема его включения (б)

К2УС372. Усилитель низкой частоты (рис. 173, а, б).

Напряжение источника питания, В	12
Потребляемая мощность, мВт	225
Номинальное входное напряжение, мВ	25—50
Номинальное выходное напряжение, В	3,5
Коэффициент нелинейных искажений, %, при $U_{\text{вых}}=3,5$ В	
Диапазон рабочих частот при их неравномерности (± 6 дБ), Гц	50—15 000

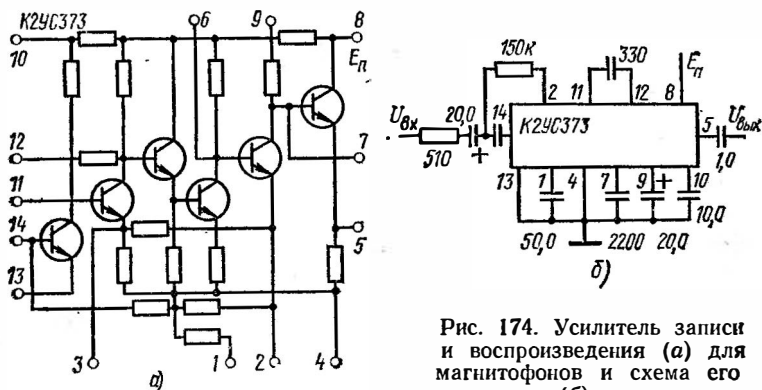


Рис. 174. Усилитель записи и воспроизведения (а) для магнитофонов и схема его включения (б)

К2УС373. Усилитель записи и воспроизведения для магнитофонов (рис. 174, а, б)

Напряжение источника питания, В	5
Потребляемый ток, мА	2,5
Потребляемая мощность, мВт	14
Коэффициент усиления	1800
Эквивалентное напряжение шумов на выходе при закороченном входе, мВ	2
Коэффициент нелинейных искажений, %	0,7

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Предисловие	3
Глава I. Электрорадиоматериалы	4
§ 1. Проводниковые материалы	4
§ 2. Полупроводниковые материалы	12
§ 3. Магнитные материалы	14
§ 4. Электроизоляционные материалы	23
Глава II. Компоненты и элементы радиоаппаратуры	28
§ 5. Общие сведения о радиоконденсаторах	28
§ 6. Бумажные и металлобумажные конденсаторы	33
§ 7. Пленочные конденсаторы	36
§ 8. Электролитические конденсаторы	38
§ 9. Слюдяные конденсаторы	42
§ 10. Керамические, стеклокерамические и стеклопленочные конденсаторы	44
§ 11. Полупеременные конденсаторы	47
§ 12. Катушки индуктивности	48
§ 13. Трансформаторы	50
§ 14. Резисторы	56
§ 15. Полупроводниковые резисторы	68
Глава III. Электроакустические приборы	73
§ 16. Микрофоны	73
§ 17. Головки громкоговорителей и телефоны	78
§ 18. Головки звукоснимателей	83
§ 19. Магнитные головки	85
Глава IV. Электровакуумные приборы	90
§ 20. Краткие сведения	90
§ 21. Условные обозначения	94
§ 22. Параметры	94
Глава V. Полупроводниковые диоды	109
§ 23. Условные обозначения полупроводниковых диодов	109
§ 24. Характеристики и параметры выпрямительных и универсальных диодов	111
§ 25. Выпрямительные столбы и блоки	122
§ 26. Импульсные диоды	126
§ 27. Стабилитроны	131
§ 28. Варикапы	136
§ 29. Туннельные и обращенные диоды	140
§ 30. Тиристоры	145
§ 31. Светодиоды	149

Глава VI. Транзисторы	151
§ 32. Общие сведения	151
§ 33. Характеристики и параметры	154
§ 34. Классификация и обозначение транзисторов. Правила монтажа и эксплуатации	158
§ 35. Транзисторы малой мощности	160
§ 36. Транзисторы средней мощности	182
§ 37. Транзисторы большой мощности	193
§ 38. Полевые транзисторы	202
Глава VII. Электронные усилители	211
§ 39. Общие сведения	211
§ 40. Основные показатели	212
§ 41. Обратная связь в усилителях и схемы их построения	215
§ 42. Рабочие режимы усилительных элементов	219
§ 43. Способы обеспечения рабочего режима транзистора	221
§ 44. Сравнение схем включения транзисторов	224
§ 45. Выходные каскады усилителей	228
§ 46. Каскады предварительного усиления	234
§ 47. Эмиттерные повторители и фазоинверсные усилители	238
§ 48. Усилители постоянного тока	239
Глава VIII. Генераторы гармонических колебаний	243
§ 49. Устройство и принцип действия генераторов	243
§ 50. Рабочие режимы генераторов	247
§ 51. Схемы автогенераторов	249
§ 52. Стабилизация частоты генераторов	251
Глава IX. Радиовещательные приемники	254
§ 53. Основные качественные показатели приемников	254
§ 54. Классификация приемников	257
§ 55. Структурные схемы приемников	257
§ 56. Входы устройства приемников	264
§ 57. Усилители радиочастот	268
§ 58. Преобразователи частоты	269
§ 59. Усилители промежуточной частоты	272
§ 60. Детекторы	275
§ 61. Вспомогательные устройства высокочастотного тракта приемника	278
§ 62. Усилители напряжения модулирующей частоты	280
Глава X. Интегральные микросхемы	293
§ 63. Общие сведения об интегральных устройствах	290
§ 64. Классификация интегральных схем	292
§ 65. Условные обозначения интегральных схем	295
§ 66. Полупроводниковые линейно-импульсные микросхемы	297
§ 67. Гибридные линейно-импульсные микросхемы	306

