

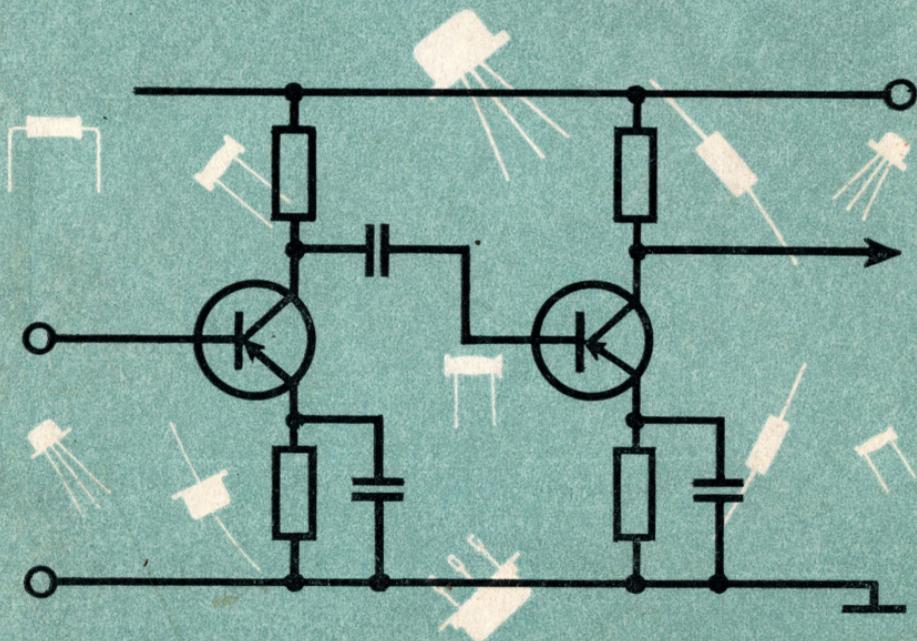


# СПРАВОЧНИК

МОЛОДОГО

РАБОЧЕГО

ПО ЭЛЕКТРОНИКЕ



Б. М. ГУРЕВИЧ, Н. С. ИВАНЕНКО

СПРАВОЧНИК  
МОЛОДОГО  
РАБОЧЕГО  
ПО ЭЛЕКТРОНИКЕ

ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ, ПЕРЕРЕБОТАННОЕ



МОСКВА «ВЫСШАЯ ШКОЛА» 1978

ББК 32.85  
Г95

Все предложения и замечания просим направлять по адресу: Москва, К-51, Неглинная ул., 29/14, издательство «Высшая школа».

Гуревич Б. М., Иваненко Н. С.  
Г95 Справочник молодого рабочего по электронике.— 2-е изд., перераб.— М.: Высш. школа, 1978.— 215 с., ил.— (Профтехобразование. Электроника.)

35 к.

В справочнике приведены схемы, характеристики, расчетные формулы и справочные данные по электронным, ионным и полупроводниковым приборам и устройствам, в том числе приборы для измерения параметров и проверки электронных схем.

Во втором издании обновлены справочные сведения, несколько сокращены главы, посвященные электронным и ионным лампам, расширен раздел микроэлектроники.

Справочник предназначен для учащихся и инженерно-педагогических работников учебных заведений профтехобразования и рекомендован к изданию Государственным комитетом Совета Министров СССР по профессионально-техническому образованию.

Г 30407—328  
052(01)—78 58—78

ББК 32.85  
6Ф0.3

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Электроника изучает физические процессы в твердых телах, жидкостях, газах и вакууме и исследует возможность их применения в различных областях народного хозяйства.

Электронные приборы используют всюду: в радиосвязи и телевидении, в управлении всевозможными механизмами и в вычислительной технике. Электронная аппаратура чрезвычайно широко применяется для управления разнообразными сложными промышленными установками, в автоматических линиях и станках — автоматах.

Электронные приборы создают колебания электрического тока и напряжения любой формы, выделяют колебания нужной частоты, усиливают в десятки и сотни тысяч раз слабые сигналы, преобразуют переменный ток в постоянный и обратно. Эти приборы являются основными элементами автоматизи. Свойственная им безынерционность позволяет использовать их для управления не только обычными, но и быстро протекающими процессами.

Широкое применение получили полупроводниковые элементы, позволяющие резко сократить размеры приборов и обладающие также другими полезными свойствами. На полупроводниках выполняется самая современная электронная аппаратура: телевизоры, магнитофоны, цифровые вычислительные машины, узлы управления сложнейшими промышленными комплексами.

Учитывая преимущественное развитие полупроводниковой техники, во втором издании справочника несколько сокращены, по сравнению с первым изданием, разделы, посвященные электронным лампам и ионным приборам, и расширены разделы, содержащие сведения о полупроводниковых приборах (в том числе о новых типах полупроводниковых элементов), о микроэлектронных устройствах, по фотоэлектронике. Введен новый раздел, в котором излагаются основные сведения по оптоэлектронике и приводятся параметры оптоэлектронных приборов.

С целью облегчения расчетов усилителей помещены номограммы, по которым графически рассчитываются отдельные элементы, узлы и каскады усилительных устройств. Обновлены сведения о технических данных всех видов электронных, ионных, фотоэлектронных и полупроводниковых приборов, средств микроэлектроники и контролируемых измерительных приборов. Дана подробная классификация всех типов электронных устройств, их основные характеристики и приведены необходимые формулы для расчетов.

## ПРИЕМНО-УСИЛИТЕЛЬНЫЕ ЛАМПЫ

Работа электронных приборов основана на принципе использования электронной эмиссии. *Электронной эмиссией* называется вылет электронов с соответствующей поверхности (металла, полупроводника, жидкости). *Термоэлектронной эмиссией* называют вылет электронов из катода электронных приборов вследствие нагрева его до высокой температуры. Для выхода во внешнее пространство из поверхности нагретого металла электрон преодолевает силы, связывающие его с ядром атомов, совершая при этом работу выхода, измеряемую в электронвольтах (эВ). С повышением температуры возрастает количество электронов, способных покинуть поверхность металла. Явление термоэлектронной эмиссии используют в электронных лампах, электроннолучевых трубках и других приборах.

По назначению электронные приборы делят на электронные лампы приемно-усилительные и генераторные, электроннолучевые трубки, ионные и фотоэлектронные приборы.

### § 1. Общая характеристика, классификация и условные обозначения

Приемно-усилительные лампы представляют собой электровакуумные приборы, состоящие из нескольких электродов — анода, катода и сетки, заключенных в газонепроницаемую оболочку — баллон, внутри которой создан вакуум. Баллон изготавливают из стекла, металла или специальной керамики.

Лампы разделяют на обычные и комбинированные. В обычных лампах в одном баллоне имеется одна система электродов (диод, триод и т. п.); в комбинированных — две или более одинаковых (двойной диод, двойной триод и т. п.) или разных (диод-триод, диод-пентод и др.) систем электродов с независимыми потоками электронов, причем некоторые электроды (например, катод) могут быть общими. Выпускают лампы с катодом прямого накала (подогрев осуществляется током, протекающим по самому катоду) или с катодом косвенного накала (для подогрева используется специальная нить, помещенная внутри катода — подогреватель).

Приемно-усилительные лампы характеризуются в основном следующими параметрами:

*анодное напряжение*  $U_a$  (в справочнике приводится номинальное значение) — напряжение между анодом и катодом, создаваемое источником питания  $E_a$ ;

*сеточное напряжение*  $U_c$  — соответственно напряжение между первой, второй и т. д. сеткой и катодом ( $U_{c1}$ ,  $U_{c2}$  и т. д.);

*переменное напряжение* (действующее значение)  $U$ ;

*прямое напряжение*  $U_{\text{пр}}$  — амплитуда разности потенциалов между катодом и анодом лампы, когда на аноде более высокий потенциал, чем на катоде;

*обратное напряжение*  $U_{\text{обр}}$  — амплитуда разности потенциалов между катодом и анодом лампы, когда на катоде более высокий потенциал, чем на аноде;

*анодный ток*  $I_a$  — ток, создаваемый свободными элементарными зарядами, попадающими на анод, в условиях электромагнитного поля, в котором находится анод;

*ток накала*  $I_n$ ;

*сеточный ток*  $I_c$  — соответственно ток первой, второй и т. д. сеток ( $I_{c1}$ ,  $I_{c2}$  и т. д.);

*наибольший выпрямленный ток*  $I_{\text{выпр}}$  — ток, ограничиваемый допустимой мощностью потерь на аноде или эмиссией катода;

*импульсный ток*  $I_n$  — ток лампы при работе в импульсном режиме;

*мощность рассеяния на аноде*  $P_a$  — определяется произведением анодного тока  $I_a$  на анодное напряжение  $U_a$  (в справочниках обычно приводится значение допустимой мощности рассеяния  $P_{a,\text{доп}}$ );

*выходная мощность*  $P_{\text{вых}}$  — полезная мощность, отдаваемая лампой во внешнюю цепь;

*емкости между анодом и катодом*  $C_{\text{ак}}$ , *сеткой и катодом*  $C_{\text{ск}}$ , *анодом и сеткой*  $C_{\text{ас}}$ ;

*входная емкость*  $C_{\text{вх}}$  — емкость управляющей сетки относительно всех других электродов, на которых при работе лампы отсутствует напряжение частоты сигнала, приложенного к управляющей сетке;

*выходная емкость*  $C_{\text{вых}}$  — емкость анода относительно всех других электродов, на которых при работе лампы отсутствует переменное напряжение частоты сигнала (чем меньше суммарное значение  $C_{\text{вх}}$  и  $C_{\text{вых}}$ , тем больше усиление лампы на высоких частотах);

*проходная емкость*  $C_{\text{пр}}$  — емкость между анодом и управляющей сеткой (чем меньше  $C_{\text{пр}}$ , тем большее усиление при прочих равных условиях можно получить от лампы);

*крутизна характеристики*  $S$  — величина, показывающая, как изменяется анодный ток лампы при изменении напряжения на сетке на 1 В при постоянных напряжениях на остальных электродах,

$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_c} \text{ мА/В,}$$

где  $\Delta I_a$  — приращение анодного тока, мА;  $\Delta U_c$  — приращение напряжения на сетке, В.

Для диода  $S$ , мА/В — величина, показывающая, как изменяется анодный ток при изменении анодного напряжения на 1 В:

$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_a} \text{ мА/В,}$$

где  $\Delta I_a$  — приращение анодного тока, мА;  $\Delta U_a$  — приращение анодного напряжения, В;

*внутреннее сопротивление*  $R_i$  — сопротивление лампы переменному току. Определяется как отношение изменения анодного напряжения  $\Delta U_a$ , В, к изменению анодного тока  $\Delta I_a$ , мА, при неизменных напряжениях на остальных электродах.

$$R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} \text{ кОм;}$$

*статический коэффициент усиления*  $\mu$  (отвлеченная, безразмерная величина) показывает, во сколько раз изменение напряжения на управляющей сетке сильнее воздействует на анодный ток, чем изменение анодного напряжения;

*проницаемость лампы*  $D$  — величина, обратная статическому коэффициенту усиления,

$$D = \frac{1}{\mu} = \frac{\Delta U_c}{\Delta U_a};$$

*долговечность* (срок службы) лампы — количество часов работы лампы, по истечении которого хотя бы один из основных параметров выходит за пределы своего значения (для приведенных типов приемно-усилительных ламп долговечность порядка 500 ч). Расчетные параметры  $S$ ,  $R_i$ ,  $\mu$  и  $D$  лампы связаны следующими соотношениями:  $\mu = SR_i$ ;  $SR_i D = 1$ .

Взаимное влияние различных параметров лампы удобно проследить по ее характеристикам. Обычно рассматривают следующие основные характеристики:

*анодная характеристика*, выражающая зависимость анодного тока  $I_a$  лампы от напряжения на аноде  $U_a$  при условии постоянства напряжения на остальных электродах;

*семейство анодных характеристик*, представляющее собой совокупность нескольких анодных характеристик, каждая из которых снята при своем, отличном от других, значении сеточного напряжения  $U_c$ ;

*анодно-сеточная характеристика*, выражающая зависимость анодного тока  $I_a$  от изменения напряжения  $U_c$  на управляющей сетке при условии постоянства напряжения на аноде и остальных электродах.

Условные обозначения приемно-усилительных электронных ламп состоят из четырех или в отдельных случаях пяти элементов (табл. 1).

## § 2. Двухэлектродная лампа — диод

**Диод** — электровакуумный прибор, представляющий собой два электрода — анод и катод, заключенных в газонепроницаемую оболочку. Обычно диоды используют для выпрямления переменного тока и ограничения амплитуды различных сигналов в непрерывном или импульсном режимах работы и по назначению делят на выпрямительные (кенотроны), детекторные, ограничительные, измерительные и т. п.

Схема включения диода показана на рис. 1, а. В анодную цепь последовательно включен источник переменного напряжения  $U$ , участок анод — катод диода и сопротивление нагрузки  $R_n$ . В цепь накала катода включен источник напряжения накала  $U_n$ , нагревающий катод до высокой температуры, необходимой для термоэлектронной эмиссии электронов из катода. В течение положительного полупериода напряжения  $U$  (рис. 1, б) анод положителен относительно катода. Электроны, эмиттированные из катода, движутся к аноду; при этом сопротивление между анодом и катодом невелико. Во время отрицательного полупериода электроны практически не вылетают из катода, сопротивление между анодом и катодом очень велико (десятки МОм).

Вольтамперная характеристика диода (рис. 2, а) выражает зависимость анодного тока  $I_a$  от анодного напряжения  $U_a$ . При не-

Т а б л и ц а 1

1-й элемент	2-й элемент — буква (характеризует тип лампы)	3-й элемент — число (порядковый номер разработки)	4-й элемент — буква, характеризующая конструктивное оформление лампы (лампы в металлическом баллоне не имеют этого элемента)
<p>Число, округленно указывающее напряжение накала в вольтах</p>	<p>Д — одинарный } диоды  Х — двойной }  Ц — кенотрон }  С — одинарный } триоды  Н — двойной }  Э — высокочастотный } тетроды  П — лучевой }  Ж — с короткой характеристикой }  К — с удлиненной характеристикой } рен-тоды  П — мощный }  А — лампы с двойным управлением }  Г — триод-диод } комбинационные лампы  Б — пентод-диод }  Ф — триод-пентод }</p>	<p>Присваивается заводом-изготовителем</p>	<p>С — стеклянная крупногабаритная  П — стеклянная пальчиковая  Б — стеклянная миниатюрная («дробь»), диаметр баллона 10 мм  А — стеклянная миниатюрная, диаметр баллона 6 мм (сверхминиатюрная)</p>
			<p>Ж — типа «желудь», работа на УКВ  Л — с замковым цоколем, устраняющим возможность выпадения лампы из гнезда при тряске</p>

Примечание. К указанным условным обозначениям в случае необходимости добавляют буквы (5-й элемент обозначения), характеризующие специальные свойства: В — повышенные механическая прочность и надежность, Е — повышенная долговечность, К — повышенная виброустойчивость, И — работа в импульсном режиме.

больших отрицательных значениях  $U_a$  протекает незначительный ток  $I_a$  (участок  $a-b$ ). При увеличении анодного напряжения ток  $I_a$  сначала возрастает медленно (участок  $b-c$ ), а затем быстрее (участок  $c-d$ ), поскольку все большее количество электронов, эмитти-

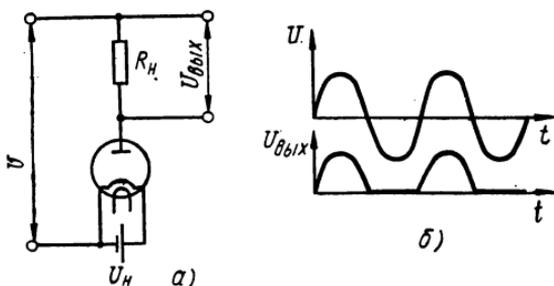


Рис. 1. Диод:

$a$  — схема включения,  $b$  — временные диаграммы переменного напряжения  $U$  и выпрямленного напряжения  $U_{\text{выпр}} = U_{\text{вых}}$

руемых катодом, достигает анода. Предел этому увеличению положен величиной термоэлектронной эмиссии, поэтому на участке  $d-e$  возрастание тока  $I_a$  при увеличении напряжения  $U_a$  замедляется и

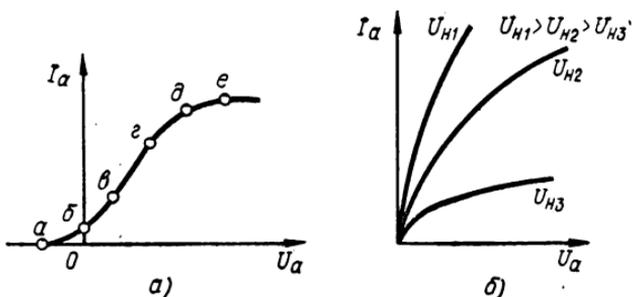


Рис. 2. Вольтамперные характеристики диода:

$a$  — типовая,  $b$  — при разных величинах напряжения накала.

после точки  $d$  ток практически не возрастает (участок  $d-e$ ). Все электроны, испускаемые катодом, попадают на анод; наступает явление насыщения анодного тока.

Увеличивая ток накала  $I_H$ , т. е. повышая температуру катода, можно увеличить ток насыщения за счет увеличения эмиссии катода (рис. 2,  $b$ ). Зависимость между анодным током  $I_a$  и анодным напряжением  $U_a$  определяется законом степени  $3/2$ :  $I_a = gU_a^{3/2}$ , где  $g$  — коэффициент пропорциональности, зависящий от конструктивных особенностей лампы («качество» лампы). Закон степени  $3/2$  относится к основному рабочему участку  $c-d$  вольтамперной характеристики. Ток насыщения определяется эмиссионной способностью катода и не учитывается законом степени  $3/2$ .

Двойной диод — комбинированная лампа, представляющая собой сочетание двух самостоятельных диодов в одной оболочке,— находит широкое применение в схемах, требующих двух и более диодов (двухполупериодная выпрямительная схема и т. п.).

Таблица 2

Тип детекторного диода	Ток накала $I_H$ , А	Допустимая мощность рассеяния на аноде $P_a$ , Вт	Допустимое обратное напряжение $U_{обр. доп.}$ , В	Допустимый выпрямленный ток $I_{выпр. доп.}$ , мА	Импульсный ток $I_{имп.}$ , мА	Емкость анод—катод $C_{ак}$ , пФ	Напряжение накала $U_H$ , В
2Д1С	0,40	0,01	100	1,6	—	0,2	2,2
2Д2С	1,45	5,00	200	30,0	—	0,8	2,2
6Д6А	0,15	0,20	450	10,0	70	3,0	6,3
6Д10Д	0,75	0,50	100	10,0	30	3,5	6,3
6Д13Д	0,20	1,00	450	0,2	4	0,8	6,3
6Х7Б	0,30	0,20	450	10,0	70	5,8	6,3
6Х6С	0,30	—	465	16,0	50	4,0	6,3

Таблица 3

Тип кенотрона	Ток накала $I_H$ , А	Напряжение накала $U_H$ , В	Допустимая мощность рассеяния на аноде $P_a$ , Вт	Переменное напряжение, $U$ , кВ	Допустимое обратное напряжение $U_{обр. доп.}$ , кВ	Допустимый выпрямленный ток $I_{выпр. доп.}$ , мА	Импульсный ток $I_{имп.}$ , мА	Емкость анод—катод $C_{ак}$ , пФ
1Ц11П	0,20	1,2	—	—	20,0	0,3	2	1,0
1Ц21П	0,20	1,2	—	—	25,0	0,6	40	3,0
2Ц2С	1,75	2,5	—	—	12,5	7,5	45	—
5Ц3С	3,00	5,0	—	—	1,7	230,0	750	—
5Ц4С	2,00	5,0	—	—	1,3	122,0	375	—
5Ц8С	5,00	5,0	30,0	—	1,7	420,0	420	—
5Ц9С	3,00	5,0	12,0	—	1,7	205,0	600	—
5Ц12С	0,76	5,0	5,0	—	5,0	50,0	350	—
6Ц13П	0,95	6,3	8,0	—	1,6	120,0	900	—
6Ц15С	1,43	6,3	—	—	1,3	62,0	375	—

Диод может являться частью комбинированной приемно-усилительной лампы, например диод-триода или диод-пентода.

Основные параметры некоторых широко применяемых детекторных диодов (диодов, выделяющих модулирующие колебания в при-

емных устройствах) приведены в табл. 2, а параметры некоторых кенотронов (диодов, выпрямляющих переменный ток низкой частоты) — в табл. 3.

### § 3. Трехэлектродная лампа — триод

Триод — электровакуумный прибор, содержащий три электрода — анод, катод и сетку, — заключенных в газонепроницаемую оболочку. Сетка предназначена для управления потоком электронов, движущихся от катода к аноду. Триоды широко используют в не-

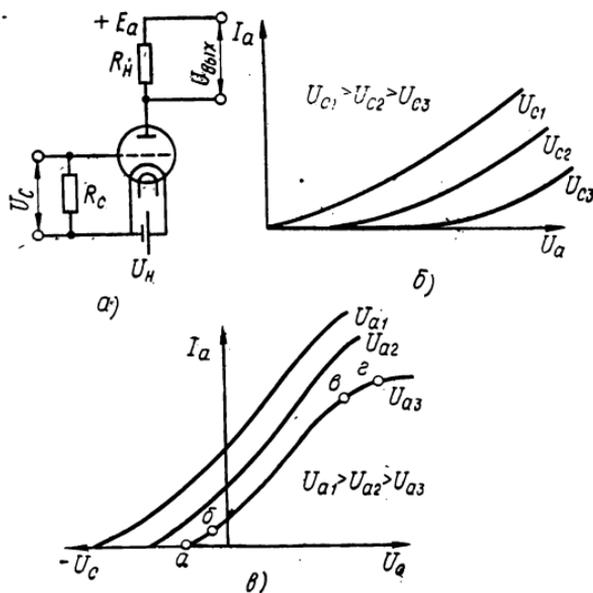


Рис. 3. Триод:

*a* — схема включения, *б* — семейство типовых анодных характеристик, *в* — семейство типовых анодно-сеточных характеристик;  $R_c$  — резистор в цепи сетки,  $R_n$  — резистор нагрузки,  $U_c$  — напряжение на сетке,  $U_n$  — напряжение накала,  $U_{\text{вых}}$  — выходное напряжение,  $E_a$  — напряжение анодного питания

прерывном или импульсном режимах работы в схемах усилителей напряжения низкой или высокой частоты, усилителей мощности, генераторов и модуляторов в различных импульсных устройствах и т. п.

Схема включения триода показана на рис. 3, *a*, а на рис. 3, *б*, *в* изображены семейства типовых анодных и анодно-сеточных характеристик триода. На анодно-сеточной характеристике имеются три участка: нелинейный начальный участок *a* — *б*, приблизительно линейный рабочий участок *б* — *в* (ток  $I_a$  увеличивается пропорционально напряжению на сетке  $U_c$ ) и нелинейный участок насыщения *в* — *г*.

Анодный ток  $I_a$  триода на рабочем участке определяется по закону степени 3/2:  $I_a = g(U_a + \mu U_c)^{3/2}$ .

Междуэлектродные емкости триода образуют

$$\text{входную емкость } C_{\text{вх}} = C_{\text{ск}} + \frac{C_{\text{ас}} C_{\text{ак}}}{C_{\text{ас}} + C_{\text{ак}}};$$

$$\text{выходную емкость } C_{\text{вых}} = C_{\text{ак}} + \frac{C_{\text{ас}} C_{\text{ск}}}{C_{\text{ас}} + C_{\text{ск}}};$$

$$\text{проходную емкость } C_{\text{пр}} = C_{\text{ас}} + \frac{C_{\text{ск}} C_{\text{ак}}}{C_{\text{ск}} + C_{\text{ак}}}.$$

Триод может являться частью комбинированной лампы, например диод-триода или триод-гептода (гептод — лампа, имеющая семь электродов).

Таблица 4

Тип триода или диод-триода	Ток накала $I_{\text{н}}$ , А	Крутизна $S$ , мА/В	Внутреннее сопротивление $R_{\text{г}}$ , КОМ	Коэффициент усиления $\mu$	Допустимая мощность рассеяния на аноде $P_{\text{а}}$ , доп. Вт	Анодное напряжение $U_{\text{а}}$ , В	Входная емкость $C_{\text{вх}}$ , пФ	Выходная емкость $C_{\text{вых}}$ , пФ	Проходная емкость $C_{\text{пр}}$ , пФ	Сеточный ток $I_{\text{с}}$ , мкА
2С14Б*	0,06	2,0	—	15,0	0,8	90	2,1	2,00	2,8	0,2
6С2Б	0,25	11,0	4,4	50,0	2,5	150	6,5	5,00	0,3	0,3
6С6Б	0,20	5,0	—	25,0	1,4	120	3,3	3,50	1,5	0,2
6С7Б	0,20	4,0	16,0	65,0	1,5	250	3,3	3,40	1,0	0,2
6С17К	0,32	12,0	10,0	125,0	2,0	175	3,5	0,02	1,5	—
6С26Б-К	0,20	5,9	4,1	25,0	1,4	120	3,3	3,50	1,4	0,2
6С27Б-К	0,20	4,2	15,2	70,0	1,5	250	3,3	3,40	1,0	0,2
6С34А	0,13	4,6	6,0	25,0	1,1	100	2,0	2,30	1,6	0,2
6ФШ**	0,45	5,0	4,0	20,0	1,5	100	2,5	0,30	1,5	—
6ФЗП**	0,85	2,5	30,0	75,0	1,0	170	2,2	0,40	3,7	—
6Ф5П	0,90	7,0	—	—	0,5	100	3,5	0,25	1,8	—
6С3П	0,30	20,0	2,6	50,0	3,0	150	6,7	1,70	2,4	0,3
6С4П	0,30	20,0	2,6	50,0	3,0	150	11,0	3,70	0,2	0,3
6С15П	0,44	45,0	1,1	52,0	—	150	11,0	1,80	5,5	—
6С11Д	0,17	6,0	3,0	18,0	3,6	170	2,8	4,00	1,7	0,5
6С13Д	0,78	5,2	32,0	6,2	9,0	300	2,7	0,03	1,4	1,0
6С16Д	0,19	6,0	2,8	16,0	3,6	170	2,5	0,10	1,8	1,0
6С28Б	0,30	19,0	2,1	40,0	2,4	120	5,8	1,90	3,0	0,5

\* Напряжение накала 2,2 В; для всех остальных ламп напряжение накала 6,3 В.

\*\* Данные триодной части.

Основные параметры некоторых триодов, нашедших широкое применение, приведены в следующих таблицах: в табл. 4 — параметры триодов и диод-триодов, в табл. 5 — двойных триодов, в табл. 6 — проходных (регулирующих) триодов, в табл. 7 — импульсных триодов.

Таблица 5

Тип двойного триода	Ток накала * $I_H$ , А	Крутизна * $S$ , мА/В	Внутреннее сопротивление $R_i$ , КОМ	Коэффициент усиления $\mu$	Допустимая мощность рассеяния на аноде $P_{a. доп}$ , Вт	Анодное * напряжение $U_a$ , В	Входная * емкость $C_{вх}$ , пФ	Выходная * емкость $C_{вых}$ , пФ	Пропускная емкость * $C_{пр}$ , пФ	Добротность $Q$
6Н1П	0,60	4,5	11,0	35	2,2	250	3,1	2,0	2,2	0,20
6Н2П	0,35	2,1	50,0	100	1,0	250	2,3	3,1	0,8	0,15
6Н3П	0,35	6,0	6,0	40	1,8	150	2,7	1,6	1,6	0,13
6Н4П	0,30	1,8	23,0	40	1,5	250	1,6	1,5	1,6	0,10
6Н5П	0,60	4,2	6,5	27	2,2	200	3,0	1,7	2,3	0,20
6Н15П	0,45	5,6	6,8	38	1,6	100	2,0	0,4	1,4	—
6Н16Б	0,40	5,0	5,0	25	0,9	100	2,7	1,7	1,5	0,50
6Н17Б	0,40	4,0	20,0	75	0,9	200	3,2	1,7	1,6	0,50
6Н18Б	0,33	5,0	5,0	25	0,9	100	2,9	1,7	1,6	0,50
6Н23П	0,30	12,7	2,3	30	1,8	100	3,6	2,1	1,5	0,06
6Н24П	0,30	12,5	—	33	1,8	90	3,9	1,3	2,0	—

\* Данные приведены для каждого анода ламп 6Н1П÷6Н5П.

Примечание. Напряжение накала ламп 6,3 В.

Таблица 6

Тип проходного триода	Ток накала $I_H$ , А	Крутизна $S$ , мА/В	Внутреннее сопротивление $R_i$ , Ом	Коэффициент усиления $\mu$	Допустимая мощность рассеяния на аноде $P_{a. доп}$ , Вт	Анодное напряжение $U_a$ , В
6Н5С	2,50**	4,5**	450**	2,2**	13,0**	135**
6С18С	6,00	40,0	50	2,0	60,0	120
6С19П*	1,00	7,5	500	4,0	11,0	150
6С33С	6,60	40,0	80	3,2	60,0	120

\* Лампа может работать в импульсном режиме.

\*\* Для каждого триода.

Примечание. Напряжение накала ламп 6,3 В.

Таблица 7

Тип импульсного триода	Крутизна $S$ , ма/В	Коэффициент усиления $\mu$	Допустимая мощность рассеяния на аноде $P_a$ , доп. Вт	Анодное напряжение $U_a$ , В	Импульсный ток $I_i$ , А	Входная емкость $C_{вх}$ , пФ	Выходная емкость $C_{вых}$ , пФ	Прочная емкость $C_{пр}$ , пФ
6Н1П-И	4,5	35	2,2	250	2,0	3,5	1,9	1,8 (не более 2,6)
6Н3П-И	5,9	33	1,6	150	0,8	2,4	1,3	Не более 1,6
6Н6П-И	11,0	20	4,0	120	4,7	4,4	1,7	Не более 3,5

\* Данные для каждого триода лампы.

Примечание. Напряжение накала ламп 6,3 В.

#### § 4. Многоэлектродные лампы

Тетрод — электровакуумный прибор, представляющий собой четыре электрода — анод, катод и две сетки (управляющая и экра-

Таблица 8

Тип лучевого тетрода	Ток накала $I_n$ , А	Напряжение накала $U_n$ , В	Крутизна $S$ , ма/В	Внутреннее сопротивление $R_i$ , Ом	Выходная мощность $P_{вых}$ , Вт	Сеточное напряжение $U_{с2}$ , В	Анодное напряжение $U_a$ , В	Допустимая мощность рассеяния на аноде $P_a$ , доп. Вт	Входная емкость $C_{вх}$ , пФ	Выходная емкость $C_{вых}$ , пФ	Прочная емкость $C_{пр}$ , пФ
2П1П	0,12	2,4	1,7	100	0,20	100	100	1,1	5,5	4,0	0,50
2П2П	0,03	1,2 или 2,4	1,1	120	0,05	90	90	0,4	3,7	3,8	0,40
6П3С	0,90	6,3	6,0	22	5,40	300	250	20,0	11,0	8,2	1,00
6П6С	0,45	6,3	4,1	52	3,60	300	250	13,0	9,5	6,5	0,90
6П21С	0,75	6,3	4,0	20	28,00	250	600	18,0	8,2	6,5	0,15
6П23П	0,75	6,3	4,5	44	9,40	250	300	11,0	—	—	—

нирующая), заключенные в газонепроницаемую оболочку. Управляющая сетка, как и в триоде, предназначена для управления потоком

Таблица 9

Тип пентода	Ток накала $I_H$ , мА	Напряжение накала $U_H$ , В	Крутизна $\gamma$ , мА/В	Внутреннее сопротивление $R_i$	Допустимая мощность рассеяния на аноде $P_{a, доп}$ , Вт	Анодное напряжение $U_a$ , В	Сеточное напряжение $U_{c2}$ , В	Входная емкость $C_{вх}$ , пФ	Выходная емкость $C_{вых}$ , пФ	Прочная емкость $C_{пр}$ , пФ	Сеточный ток (второй сет. кв) $I_{c2}$ , мА
<b>Пентоды с обычной характеристикой</b>											
0,6Ж6Б	20	0,625	0,11	0,9 кОм	0,01	30	30	3,0	5,0	0,300	0,10
0,6П2Б	30	0,625	0,13	—	—	30	30	—	—	—	0,03
1Б1П	60	1,2	0,65	—	—	100	75	—	—	—	0,35
1Б2П	30	1,2	0,55	1,0 кОм	0,20	67,5	75	1,8	2,1	0,270	0,18
1Ж17Б	60	1,2	1,00	—	0,50	60	60	3,7	2,7	0,005	0,25
1Ж18Б	21	1,2	0,70	—	0,30	60	60	3,7	2,7	0,005	0,15
1Ж24Б	13	1,2	0,90	—	—	60	90	3,6	2,9	0,008	0,10
1Ж29Б	60	1,2	2,50	—	1,20	60	120	5,0	3,0	0,005	0,50
		или									
		2,4									
1Ж30Б	13	1,2	0,60	—	—	12	20	8,5	3,5	0,015	0,15
2Ж14Б	30	2,2	1,25	—	0,50	90	90	4,5	6,0	0,015	0,80
2Ж15Б	14	—	0,70	—	0,15	60	60	4,0	5,0	0,015	0,70
6Ж1Б	200	6,3	4,80	—	1,20	120	150	4,8	3,8	0,030	—
6Ж1П	170	6,3	5,20	1,0 МОм	1,80	120	150	4,0	2,3	0,040	—
6Ж2Б	200	6,3	3,20	—	0,90	120	150	4,9	4,1	0,030	—
6Ж2П	170	6,3	6,20	—	1,80	120	150	3,5	3,0	0,040	—
6Ж4П	300	6,3	5,70	0,9 МОм	3,50	300	150	6,3	6,3	0,004	—
6Ж10Б	250	6,3	5,00	—	2,10	150	125	6,5	4,5	0,050	—
6Ж10П	300	6,3	9,50	0,1 МОм	3,00	200	150	8,5	4,1	0,020	—
6Ж32Б	120	6,3	3,10	—	0,90	120	125	4,6	3,5	0,030	—
6Ф1П	430	6,3	6,20	—	2,50	170	170	5,5	33,4	0,030	—
6В1П	400	6,3	28,00	—	4,50	250	150	9,0	4,0	0,005	2,70
6В2П	1800	6,3	22,0	—	3,00	600	—	32,0	20,0	0,200	—
6В3С	900	6,3	20,0	—	5,00	700	—	75,0	14,0	0,200	—
6Ж5Б	250	6,3	10,00	—	2,40	120	150	6,0	4,0	0,050	4,00
6Ж5П	450	6,3	9,00	240,0 МОм	3,60	300	150	8,5	2,2	0,030	3,50
6Ж9П	300	6,3	17,0	150 кОм	3,00	150	160	8,5	3,1	0,030	4,50
6Ж11П	440	6,3	28,00	36,0 кОм	4,90	150	150	13	3,4	0,040	7,50
6Ж32П	200	6,3	1,80	3,5 МОм	1,00	250	200	4,0	5,5	0,050	—
6Ж38П	180	6,3	10	175 кОм	2,50	150	100	5,8	2,4	0,020	3,2
6Ж49П	300	6,3	14	100 кОм	2,85	150	150	8,2	2,7	0,030	2,4
<b>Пентоды с удлиненной характеристикой</b>											
1К1П	60	1,2	0,89	0,17 МОм	—	90	67,5	3,8	7,5	0,010	1,20
1К2П	30	1,2	0,70	1,5 кОм	0,30	60	75	3,0	4,9	0,010	0,50
6К1Б	200	6,3	4,80	0,8 кОм	1,20	120	125	5,1	3,8	0,030	4,00

Тип пентода	Ток накала $I_H$ , мА	Напряжение накала $U_H$ , В	Крутизна $S$ , мА/В	Внутреннее сопротивление $R_i$	Допустимая мощность рассеяния на аноде $P_{a. доп.}$ , Вт	Анодное напряжение $U_a$ , В	Сеточное напряжение $U_{с2}$ , В	Входная емкость $C_{вх. пФ}$	Выходная емкость $C_{вых. пФ}$	Проходная емкость $C_{пр. пФ}$	Сеточный ток (второй сетки) $I_{с2}$ , мА
6К3П	300	6,3	1,10	0,2 кОм	0,50	1—12,5	30	6,7	4,1	0,025	0,75
6К4П	300	6,3	4,40	0,45 МОм	3,00	250	100	6,4	6,7	0,004	3,70
6К6А	127	6,3	4,50	—	1,30	120	125	3,6	3,3	0,030	4,00
6К13П	300	6,3	12,5	0,5 МОм	2,5	200	90	10	3,3	0,005	4,5

Таблица 10

Тип выходного пентода	Ток накала $I_H$ , А	Напряжение накала $U_H$ , В	Крутизна $S$ , мА/В	Внутреннее сопротивление $R_i$ , кОм	Допустимая мощность рассеяния на аноде $P_{a. доп.}$ , Вт	Анодное напряжение $U_a$ , В	Сеточное напряжение $U_{с2}$ , В	Выходная мощность $P_{вых. Вт}$	Входная емкость $C_{вх. пФ}$	Выходная емкость $C_{вых. пФ}$	Проходная емкость $C_{пр. пФ}$
1П2Б	0,050	1,25	0,3	50	0,05	45	45	0,008	—	—	—
1П3Б	0,028	1,25	0,3	50	0,05	45	45	0,004	—	—	—
1П4Б	0,020	1,25	0,4	350	0,05	45	50	0,003	3,0	6,0	0,30
1П5Б	0,125	1,20	2,2	—	1,5	90	20	0,500	4,5	2,2	0,008
1П6Б	0,011	1,25	0,4	—	0,05	45	50	0,008	3,0	6,0	0,30
1П24Б	0,140	1,20 или 2,40	2,7	—	2,5	150	200	1,500	7,7	4,3	0,005
1П32Б	0,055	1,20	2,7	—	2,5	90	150	—	7,0	4,9	0,02
2П5П	0,140	2,40	2,3	—	3,0	90	150	—	7,0	4,9	0,02
2П19Б	0,070	2,20	1,7	—	1,0	120	130	—	4,6	7,0	0,03
2П29П	0,110	2,20	1,7	100	1,0	120	120	—	4,9	2,0	0,02
6П14П	0,750	6,30	11,0	30	12,0	250	300	20,0	13,0	7,0	0,07
6П15П	0,750	6,30	15,0	100	12,0	300	330	3,5	13,0	7,0	0,07
6П18П	0,750	6,30	11,0	22	12,0	170	250	3,5	11,0	6,0	0,20
6П25Б	0,500	6,30	4,2	—	4,1	110	160	0,8	6,3	8,1	0,20

электронов, движущихся от катода к аноду. Экранирующая сетка, на которую подается напряжение порядка  $(0,4 \div 0,8) U_a$ , находится между управляющей сеткой и анодом и экранирует катод от анода.

Изменение анодного напряжения  $U_a$  при постоянном напряжении экранной сетки  $U_{c2}$  незначительно сказывается на изменении анодного тока  $I_a$ . Вследствие этого тетроды обладают значительно большими, чем триоды, величинами внутреннего сопротивления  $R_i$  и статического коэффициента усиления  $\mu$ . Кроме того, введение экранирующей сетки резко уменьшает емкость между анодом и управляющей сеткой  $C_{a.c1}$ , что особенно важно при использовании лампы в схемах, работающих на высоких частотах.

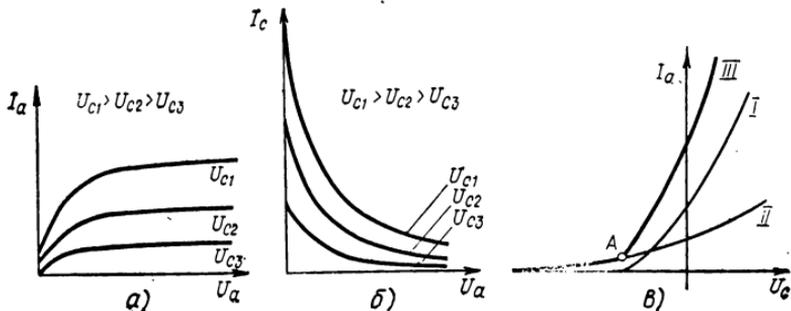


Рис. 4. Типовые характеристики пентода:

*a* — семейство анодных характеристик, *б* — семейство анодно-сеточных характеристик, *в* — характеристика пентода с удлинненной характеристикой; *A* — точка перелома

Тетроды не получили широкого распространения из-за вредного влияния вторичной эмиссии электронов с анода (явление динатронного эффекта). Практическое применение находят лучевые тетроды, в которых устранен динатронный эффект, обычно используемые в схемах усилителей низкой частоты или генераторов. Основные параметры некоторых типов лучевых тетродов, нашедших применение на практике, приведены в табл. 8.

**Пентод** — электровакуумный прибор, представляющий собой пять электродов — анод, катод и три сетки (управляющая, экранирующая и антидинатронная), заключенных в газонепроницаемую оболочку. Антидинатронная, или защитная, сетка расположена между анодом и экранирующей сеткой и служит для устранения динатронного эффекта: с помощью этой сетки возле анода создается потенциальный барьер, препятствующий вторичной эмиссии электронов с анода. Потенциал антидинатронной сетки  $U_{c3}$  обычно равен потенциалу катода (практически сетку обычно соединяют с катодом). Пентоды широко используют в схемах усиления колебания различных частот (высоких, низких), генерирования мощных колебаний различных частот и т. п.

В пентодах образуются емкости между сеткой и катодом  $C_{c1.k}$ , сеткой и анодом  $C_{c1.a}$ , анодом и катодом  $C_{a.k}$ , сеткой и экраном  $C_{c1.c2}$ . Сочетания этих емкостей образуют:

$$\text{входную емкость } C_{вх} \approx C_{c1.k} + C_{c1.a};$$

$$\text{выходную емкость } C_{вых} \approx C_{a.k} + C_{c1.a};$$

$$\text{проходную емкость } C_{пр} = C_{c1.a} + \frac{C_{c1.k} + C_{c1.c2} C_{a.k}}{C_{c1.k} + C_{c1.c2} + C_{a.k}}.$$

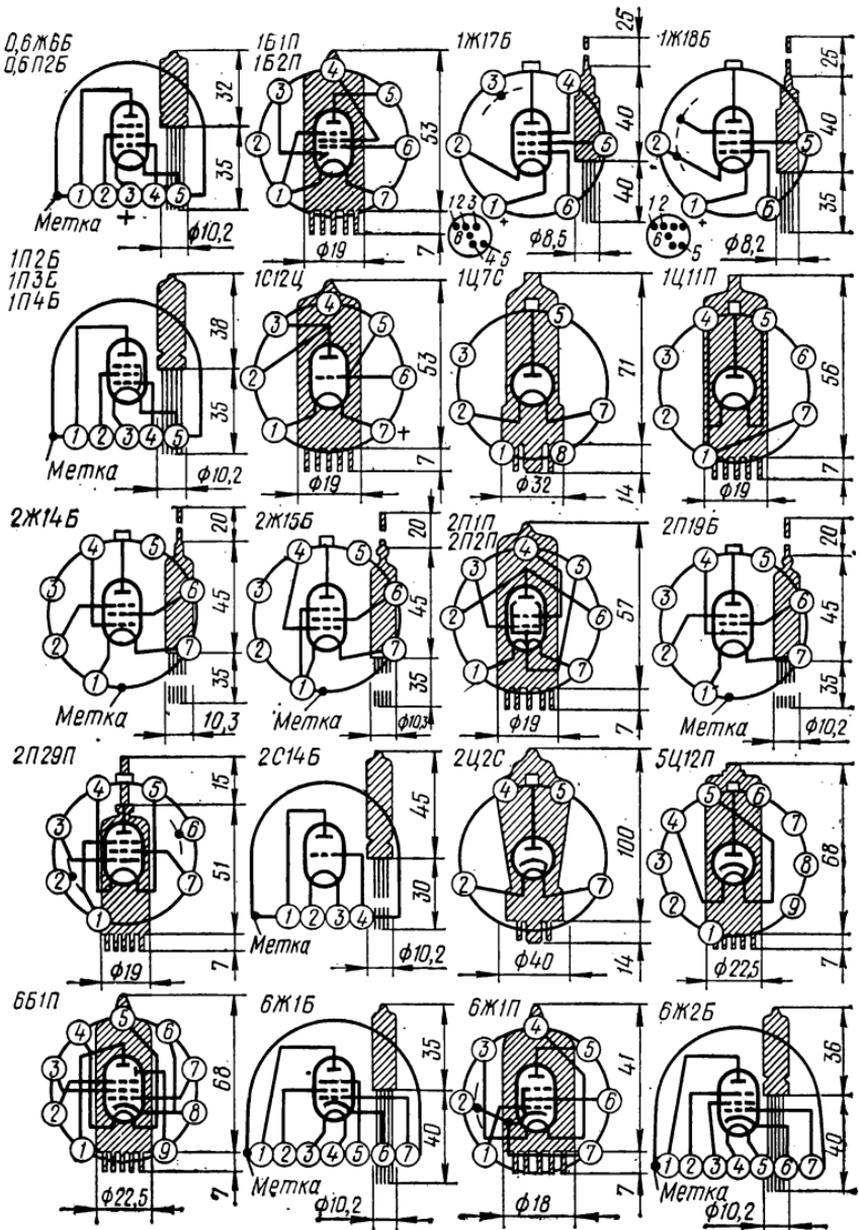
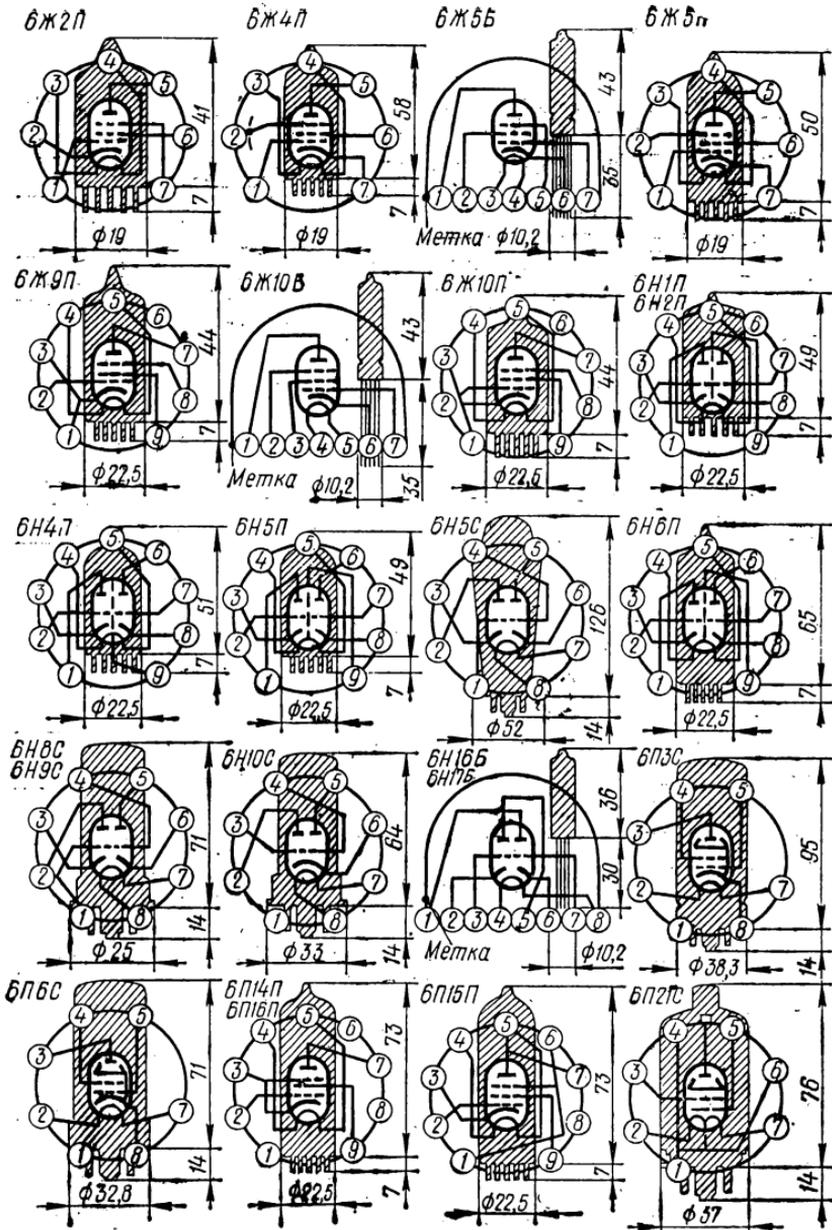


Рис. 5. Схемы, габариты и цоколевка электронных ламп



Б. (продолжение)

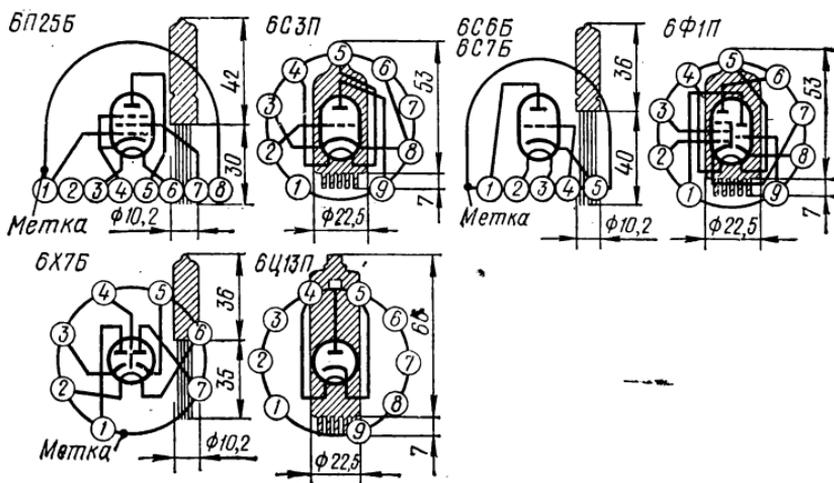


Рис. 5. (конец)

Семейство типовых анодных характеристик (зависимость  $I_a$  от  $U_a$  при различных значениях  $U_{c1}$ ) показано на рис. 4, а, семейство типовых анодно-сеточных характеристик (зависимость  $I_c$  от  $U_a$  при различных значениях  $U_{c1}$ ) — на рис. 4, б. Для автомагического регулирования усиления используют пентод с удлиненной характеристикой (с переменной крутизной, рис. 4, в). Такая характеристика III получена как результат наложения двух кривых: I — анодно-сеточная характеристика, соответствующая «густой» намотке управляющей сетки, II — анодно-сеточная характеристика, соответствующая «редкой» намотке.

В табл. 9 приведены основные параметры пентодов с обычной (короткой) и удлиненной характеристиками, в табл. 10 — параметры выходных пентодов. На рис. 5 приведены схемы, габариты и цоколевка электронных ламп.

## Г Л А В А II

### ГЕНЕРАТОРНЫЕ ЛАМПЫ

#### § 5. Общая характеристика и условные обозначения

Генераторная лампа — электронная, применяемая для преобразования электрической энергии постоянного или переменного тока в энергию электромагнитных колебаний различной формы. Принцип действия генераторных ламп такой же, как и приемно-усилительных. Генераторные лампы, как и приемно-усилительные, различаются количеством электродов, помещенных в газонепроницаемую оболочку, внутри которой создан вакуум (триод, тетрод, пентод).

По назначению (роду работы) генераторные лампы делят на импульсные генераторные, импульсные модуляторные (для усиления электрических сигналов низкой частоты) и генераторные для непрерывного режима работы; по диапазону генерируемых колебаний — на длинно- и коротковолновые, ультракоротковолновые, дециметровые и сантиметровые лампы; по мощности, рассеиваемой анодом, — на маломощные (до 25 Вт), средней мощности (до 1 кВт) и мощные (выше 1 кВт) лампы.

Модуляторные лампы применяют в модуляторах мощных передатчиков с амплитудной модуляцией, в мощных усилителях низкой частоты, мощных электронных стабилизаторах и т. п. Импульсные генераторные и модуляторные лампы используют в схемах импульсных генераторов и модуляторов радиорелейных линий связи, радиолокационных станций и т. п. В таких схемах обычно используют тетроды.

Условные обозначения генераторных ламп состоят из трех элементов (табл. 11).

Т а б л и ц а 11

1-й элемент — буквы (характеризуют назначение прибора)	2-й элемент — число (порядковый номер разработки)	3-й элемент — буква (характеризует тип охлаждения)
<p>ГК — коротковолновый диапазон (до 25 МГц)</p> <p>ГУ — ультракоротковолновый диапазон (25—600 МГц)</p> <p>ГС — сантиметровый и дециметровый диапазоны (выше 600 МГц)</p> <p>ГИ — генераторная лампа, предназначенная для работы в импульсном режиме</p> <p>ГМ — модуляторная лампа</p> <p>ГМИ — модуляторная лампа, предназначенная для работы в импульсном режиме</p>	<p>Присваивается заводом-изготовителем</p>	<p>А — водяное принудительное</p> <p>Б — воздушное принудительное</p> <p>П — испарительное</p>

Пр и м е ч а н и е. Лампы с естественным охлаждением не имеют 3-го элемента обозначения.

## § 6. Основные параметры генераторных ламп

Генераторные лампы характеризуются в основном теми же параметрами, что и приемно-усилительные, но поскольку они предназначены для генерирования и усиления электрических сигналов до больших мощностей, особое значение приобретают следующие параметры,

определяющие эмиссионные свойства ламп и мощности, рассеиваемые на электродах в различных режимах:

*напряжение накала  $U_n$ ;*

*ток накала  $I_n$ ;*

*ток эмиссии катода  $I_{э.к}$  — ток с катода на соединенные вместе остальные электроды лампы (при номинальном напряжении накала и определенном напряжении на остальных электродах лампы);*

*ток эмиссии катода в импульсе  $I_{э.к.и}$  — среднее значение тока эмиссии катода за время действия импульса напряжения, приложенного к соединенным вместе электродам лампы (при номинальном значении напряжения накала);*

*напряжение анода  $U_a$ ;*

*мощность рассеяния на аноде  $P_a$ ;*

*крутизна характеристики  $S$ ;*

*статический коэффициент усиления  $\mu$ ;*

*долговечность;*

*интервал рабочих температур* — интервал, внутри которого ни один из основных параметров не выходит за пределы своего допустимого значения.

Основные параметры некоторых типов генераторных ламп, нашедших широкое применение, приведены в табл. 12. В графе «цоколевка» приведено условное обозначение схемы соединений электродов с внешними выводами — штырьками (счет штырьков ведется по часовой стрелке, если на лампу смотреть, повернув к себе цоколь). В электрических схемах генераторные лампы изображают в соответствии с требованиями ЕСКД.

## Г Л А В А III

### ЭЛЕКТРОННОЛУЧЕВЫЕ ТРУБКИ

#### § 7. Общая характеристика и условные обозначения

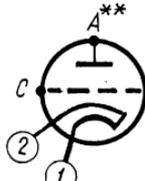
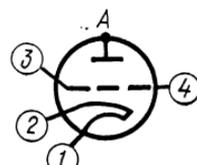
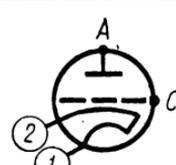
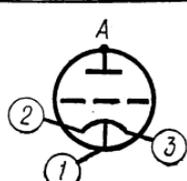
Электроннолучевая трубка — электровакуумный прибор, представляющий собой стеклянную колбу специальной формы, внутри которой создан вакуум и размещены электроды. В горловине колбы помещен электронный прожектор (электронная пушка), создающий электронный пучок (луч), направленный на экран, покрытый специальным составом. Экран обладает способностью светиться в месте попадания электронного луча. Отклоняющая система электронной трубки, создавая электростатическое или магнитное поле, позволяет перемещать электронный луч по экрану. Изменяя напряжение управляющего электрода, можно регулировать яркость свечения пятна на экране трубки.

Электроннолучевые трубки получили широкое распространение для измерения, наблюдения и контроля различных процессов в устройствах автоматики и телемеханики, в телевидении и радиолокации и по назначению делятся на приемные (осциллографические, телевизионные — кинескопы, индикаторные, запоминающие) и передающие (ортикон, суперортикон, видикон).

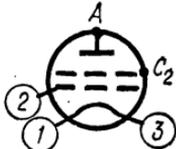
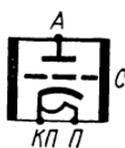
Условные обозначения приемных электроннолучевых трубок состоят из четырех элементов (табл. 13). Условные обозначения пере-

Тип генераторной лампы	Основное назначение	Ток накала $I_H$ , А	Напряжение накала $U_H$ , В	Ток эмиссии катода в импульсе $I_{эк.и}$ , А * (при напряжении анода и сетки в импульсе, В)	Напряжение анода $U_a$ , кВ	Допустимая мощность рассеяния на аноде $P_{a.доп}$ , кВт
ГМ-1А (металлостеклянная)	Усиление НЧ-колебаний	180—210	10,2—10,8	80 (2500)	6,0	30,0
ГМ-2А, ГМ-2Б (металлостеклянная)	Регулирующая	28,0—34,0	5,7—6,9	5 (400)	6,5—8,0	3,5
ГУ-10А, ГУ-10Б (металлостеклянная)	Генерирование и усиление ВЧ-колебаний до 25 МГц	70,0—80,0	7,0—7,3	15 (1000)	8,0	10,0
ГУ-5А, ГУ-5Б (металлостеклянная)	Генерирование и усиление ВЧ-колебаний до 110 МГц	20,0—24,0	12,6	6 (500)	4,0—5,0	3,5 2,5

Таблица 12

Крутизна S, мА/В	Коэффициент усиления $\mu$	Долговечность, ч	Интервал рабочих температур, °С	Габариты, мм		Цоколевка	Рабочее положение
				длина	диаметр		
22—32	3—5	1500	+5 + +60	440	145	 <p>1, 2 — катод</p>	Вертикальное, стеклянным баллоном вверх
14—18	48—62	500	+3 + +70	200	92	 <p>1, 3 — катод, 2, 4 — сетка</p>	Вертикальное
		1000	-60 + +100	164	96		
15—25	45—55	1000	+5 + +70	320	126	 <p>1, 2 — катод</p>	Вертикальное, стеклянным баллоном вверх
			-60 + +70	330	126		
12—18	60—85	1000	+5 + +70	210	106	 <p>1 — держатель катода, 2, 3 — катод</p>	Вертикальное, стеклянным баллоном вверх
			-60 + +70	210	106		

Тип генераторной лампы	Основное назначение	Ток накала $I_n$ , А	Напряжения накала $U_n$ , В	Ток эмиссии катода в импульсе $I_{эк.н}^*$ , А* (при напряжении анода и сетки в импульсе, В)	Напряжение анода $U_a$ , кВ	Допустимая мощность рассеяния на аноде $P_a$ , доп. кВт
ГУ-27А, ГУ-27Б-1 (металло-стеклянная)	Генерирование и усиление ВЧ-колебаний до 110 МГц	22,0—27,0	7,5—7,8	5 (800)	3,5	2,0
ГС-7А, ГС-7В (металлокерамическая)	Генерирование и усиление ВЧ-колебаний в непрерывном режиме до 1000 МГц	2,8—3,4	11,9—13,3	2,3 (600)	3,0	2,0 1,5
ГИ-15Б, ГИ-150 (металлокерамическая)	Генерирование ВЧ-колебаний в непрерывном и импульсном режимах	0,75—0,8	12,0—13,4	3 (120)	0,8	80,0 Вт

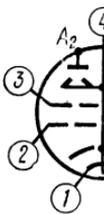
Крутизна S, мА/В	Коэффициент усиления $\mu$	Долговечность, ч	Интервал рабочих температур, °C	Габариты, мм		Цоколевка	Рабочее положение
				длина	диаметр		
5—9	14—20	2000	+5 ÷ +70	160	106	 <p>1, 3 — катод, 2 — первая сетка</p>	Вертикальное, анодом вниз
			-60 ÷ +70	168	118		
23—35	—	—	+5 ÷ +80	127	65		Вертикальное
			-60 ÷ +80	177	100		
8—12	—	200	-60 ÷ +70	26	8		—***

Тип генераторной лампы	Основное назначение	Ток накала $I_n$ , А	Напряжение накала $U_n$ , В	Ток эмиссии катода в импульсе $I_{к.и. А}^*$ (при напряжении анода и сетки в импульсе, В)	Напряжение анода $U_a$ , кВ	Допустимая мощность рассеяния на аноде $P_{a.доп}$ , кВт
ГМИ-6, ГМИ-6-1 (стеклянная бесцокольная)	Работа в импульсных модуляторах стационарных и передвижных радиоприборов при длительности импульса до 5 мкс	1,0—1,2	При последовательном включении подогревателя 11,4—14,0; при параллельном включении 5,7—7,0	—	4,0	15,0 Вт
ГМИ-26 (стеклянная бесцокольная)	Работа в импульсных усилителях и модуляторах при длительности импульса до 10 мкс	1,3—1,6	5,7—7,0	—	4,5	8,0 Вт
ГМИ-83, ГМИ-83В (стеклянная)	Генерация ВЧ-колебаний с длительностью до 2,5 мкс (ГМИ-83) и 3 мкс (ГМИ-83В)	1,6—2,3	22,5—27,5	20,0	65,0 Вт	—
				18,0	60,0 Вт	

\* В скобках приведено значение напряжения, при котором измеряются

\*\* Буква на изображении цоколевки означает вывод соответствующего электрода (K — катод (K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub> — первый, второй катод), КП — катод

\*\*\* Прочерк в графе «рабочее положение» означает отсутствие конкретных

Крутизна $S$ , ма/В	Коэффициент усиления $\mu$	Долговечность, ч	Интервал рабочих температур, °С	Габариты, мм		Цоколевка	Рабочее положение
				длина	диаметр		
—	—	600	-60 ÷ +90	93	48	 <p>1, 7 — подогреватель, 2, 3 — первая и вторая сетки, 4 — катод и лучеобразующие пластины, 5 — средняя точка, 6 — первая сетка</p>	Вертикальное, выводами анодов вверх
		500		95	48		
—	—	2000	-60 ÷ +125	90	42	 <p>2, 7 — подогреватель, 3, 4, 6 — сетки, 4 — катод и сетка</p>	—
—	—	150 300	—	136	65	 <p>1, 4 — подогреватель, 2, 3 — сетка, 4 — катод</p>	—

ток  $I_{\text{эк.и.}}$

трода на корпус: А — анод ( $A_1$ ,  $A_2$  — первый, второй анод), С — сетка ( $C_1$ ,  $C_2$  — указаний), П — подогреватель.

дающих электроннолучевых трубок состоят из двух элементов. Первый элемент — буквы (характеризуют тип трубки). Второй элемент — число (порядковый номер разработки). Оно обычно характеризует тип прибора: от 200 до 399 — ортikon, суперортikon; от 400 — видикон. Передающие трубки, второй элемент у которых число, меньшее 200, относятся к ранним разработкам. Как правило, в этих случаях

Таблица 13

1-й элемент — число	2-й элемент — буквы (характеризуют тип трубки)	3-й элемент — число (порядковый номер разработки)	4-й элемент — буква (характеризует тип экрана, цвет свечения и длительность после свечения)
Указывает диаметр или диагональ экрана в сантиметрах	ЛО — осциллографические трубки и кинескопы с электростатическим отклонением луча ЛК — кинескопы с электромагнитным отклонением луча ЛН — запоминающие трубки ЛМ — индикаторные трубки	Присваивается заводом-изготовителем	А — синее (короткое), Б — белое (короткое или среднее), В — белое (длительное), Г — фиолетовое (длительное), Д — голубое (длительное), Е — оранжевое или голубое (длительное), Ж — голубовато-зеленое (очень короткое), И — зеленое (среднее), К — розовое (длительное), Л — синевато-фиолетовое (очень короткое), М — голубое (короткое), П — красное (среднее), Р — синевато-фиолетовое (среднее), У — светло-зеленое (среднее)

второй элемент не указывает назначение трубки, например ЛИ7 — супериконскоп, ЛИ13 — суперортikon, ЛИ23 — видикон, ЛИ101 — супериконскоп и т. п.

Электроннолучевые трубки характеризуются в основном следующими параметрами:

*диаметр* или *диагональ экрана* (является первым элементом условного обозначения любой электроннолучевой трубки);

*яркость свечения экрана* — сила света, испускаемого 1 м<sup>2</sup> экрана в направлении, перпендикулярном к его поверхности;

*цвет свечения* — цвет экрана при наличии возбуждения (указывается в четвертом элементе обозначения трубки);

*цвет и длительность послесвечения* (также указывается в четвертом элементе обозначения трубки). Цвет послесвечения — цвет экрана после прекращения возбуждения; длительность послесвечения — время спада яркости свечения экрана (после прекращения возбуждения) до 1% от первоначальной яркости (очень короткое послесвечение — менее 10 мкс, короткое послесвечение — от 10 мкс до 0,01 с, среднее послесвечение — от 0,01 до 0,1 с, длительное послесвечение — от 0,1 до 16 с, очень длительное послесвечение — свыше 16 с);

*разрешающая способность* (четкость) — мера различимости деталей изображения на экране; определяется шириной светящейся сфокусированной линии. Разрешающая способность оценивается следующим образом: для телевизионных трубок (кинескопов) — максимальным количеством различимых строк, укладываемых на нормальной высоте кадра (на рабочей части экрана)\*, для осциллографических и индикаторных трубок — шириной, мм, сфокусированной линии в центре экрана и на определенном расстоянии от него; для передающих трубок — максимальным числом чередующихся светлых и темных полос (линий) одинаковой ширины, которые могут быть воспроизведены на экране кинескопа;

*напряжение накала  $U_n$ ; ток накала  $I_n$ ; напряжение анодов  $U_{a1}$ ,  $U_{a2}$  и т. д.; напряжение модулятора  $U_m$ ; сопротивление в цепи модулятора  $R_m$ ; долговечность (срок службы); интервал рабочих температур; габариты; цоколевка.*

## § 8. Осциллографические электроннолучевые трубки

Осциллографические электроннолучевые трубки применяют для наблюдения и фоторегистрации различных электрических процессов, верхняя граница частот которых не превышает обычно 50 МГц. Эти трубки различаются величиной экрана (2,8—25 см) и количеством электронных лучей (одно-, двух- и многолучевые). Как правило, осциллографические трубки имеют круглый экран с зеленым свечением (для непосредственного наблюдения) или с сине-голубым (для фоторегистрации), а также электростатические фокусирующую и отклоняющую системы, причем отклоняющая система состоит из двух пар взаимно перпендикулярных электродов (вертикальные и горизонтальные отклоняющие пластины).

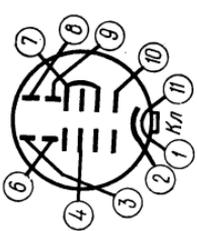
Для надежной работы осциллографических трубок большое значение имеет стабильность источника питания, так как при электростатическом отклонении луча нестабильность источника питания вызывает дополнительную нелинейность отклонения электронного луча.

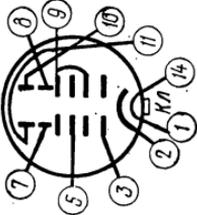
При работе с осциллографическими трубками необходимо: перед включением трубки потенциометр, регулирующий яркость, вывести в положение, соответствующее минимальной яркости; включать высокое напряжение после включения напряжения накала и напряжения разверток (спустя 2—3 мин); установить величины напряжений на отклоняющих пластинах такими, чтобы электронный луч не выходил за пределы экрана.

Параметры некоторых основных типов осциллографических трубок, имеющих широкое применение, приведены в табл. 14.

\* Рабочая часть экрана — поверхность экрана, на которой изображение получается без видимых искажений.

Таблица 14

Тип трубки	Основное назначение	Яркость, нт	Напряжения анодов, кВ		Напряжение модуляторов $U_m, В$	Долговечность, ч	Габариты, мм		Цоколевка	Примечание
			$U_{a1}$	$U_{a2}$			длина	диаметр		
БЛО38И	Визуальная регистрация	6,4	0,5	0,5—1,1	От 0 до —125	1000	189	51	 <p>1, 11 — подогреватель, 2 — катод, 3, 8 — верхние отклоняющие пластины, 4 — первый анод, 5—9 — нижние отклоняющие пластины, 7 — второй анод</p>	—
	Фоторегистрация	2,0								

8ЛО29И	Визуальная регистрация	16,0	1,1—1,5	1,5—2,2	От 0 до —125	1000	261	78	
8ЛО29М	Фоторегистрация	4,0							<p>1, 14 — подогреватель, 2 — катод, 3 — модулятор, 5 — первый анод, 7, 8 — нижние отклоняющие пластины, 9 — второй анод, 10, 11 — верхние отклоняющие пластины</p>

Тип трубки	Основное назначение	Яркость, нт	Напряжения анодов, кВ		Напряжения модуляторов $U_m$ , В	Долговечность, ч	Габариты, мм		Цоколевка	Примечание
			$U_{a1}$	$U_{a2}$			длина	диаметр		
13ЛО4А	Фоторегистрация ВЧ-процессов	15,0								$U_{a2}$ до 10 кВ; $U_{a4}$ от 6 кВ до 15 кВ
13ЛО4У	Визуальная регистрация ВЧ-процессов	100,0	1,5	1,5—4,0	От 0 до —200	300	435	133		
13ЛО48А	Двухлучевые для фоторегистрации	—							1, 14 — подогреватель, 2 — катод, 3 — модулятор, 5 — первый анод, 9 — второй анод, $D_1$ , $D_2$ — верхние отклоняющие пластины, $D_3$ , $D_4$ — нижние отклоняющие пластины, $A_3$ — третий анод, $A_4$ — четвертый анод	
13ЛО48В		5,5—6,0	1,2	1,5—2,5	От 0 до —125	300	400	133		
13ЛО48И	Двухлучевые для визуальной регистрации медленных процессов	—								
22ЛО1А	Пятилучевые с прямоугольным экраном для визуальной и фоторегистрации	—	1,2	2,0—4,0	От 0 до —200	300	465	453	—	$U_{a2}$ от 4 до 8 кВ
22ЛО1В		50,0								
22ЛО1И		50,0								

Примечание. Указанные трубки имеют напряжение накала от 5,7 до 6,9 В, ток накала от 540 до 660 мА, сопротивление в цепи модулятора порядка 1,5 МОм и устойчиво работают в диапазоне температур от —60 до +70°С.

## § 9. Индикаторные и запоминающие электроннолучевые трубки

Индикаторными называются электроннолучевые трубки, применяемые для навигационных и радиолокационных устройств, где широкое распространение имеют индикаторы кругового обзора и использование круговой развертки. В индикаторных трубках используется магнитное отклонение луча и экраны с длительным послесвечением. Обычно экраны имеют круглую форму с диаметром 60—400 мм. Основным назначением индикаторных трубок является визуальное наблюдение протекающих процессов.

Запоминающими называются электроннолучевые трубки, предназначенные для записи электронным лучом информации на специальной поверхности — мишени, которая сохраняет изображение длительное время (от нескольких часов до нескольких суток). Запись информации на запоминающей трубке представляет собой накопление на поверхности мишени заряда, соответствующего входному сигналу, а воспроизведение (считывание) заключается в формировании выходного сигнала. Обычно ввод и считывание информации производятся в виде последовательности электрических сигналов. Запоминающие трубки используют в электронных вычислительных устройствах, устройствах автоматического управления, навигационной и радиолокационной технике и т. п.

Основные параметры некоторых индикаторных и запоминающих электроннолучевых трубок приведены в табл. 15.

### Г Л А В А IV

#### ИОННЫЕ ПРИБОРЫ

## § 10. Характеристика электрического разряда в газах. Классификация и условные обозначения ионных приборов

Ионные приборы основаны на использовании электрического разряда в парах металла (ртуть), в инертном газе (аргон, неон и др.) или в водороде. Ионный прибор представляет собой стеклянную или керамическую оболочку, наполненную одним газом или смесью газов. Внутри оболочки помещаются два или более электродов: анод, к которому подводится положительное напряжение, и катод, к которому подводится отрицательное напряжение (рис. 6, а). Различные типы ионных приборов содержат разное число электродов; например, число катодов может достигать 10, могут быть одна или две сетки и т. п.

Типовая вольтамперная характеристика электрического разряда в газах показана на рис. 6, б. Точке *a* соответствует возникновение самостоятельного разряда (напряжение зажигания  $U_3$ ), на участке *a* — *б* ток очень мал (микроамперы) и газ не светится — стадия темного (тихого) разряда. На участке *в* — *д* ток возрастает до десятков миллиампер и газ в промежутке между электродами начинает слабо

Таблица 15

Тип индикаторной или запятой трубки	Основное назначение	Скорость экрана, нт	Разрешающая способность	Напряжения анодов		Напряжение модулятора $U_m, В$	Долговечность, ч	Габариты, мм	
				$U_{a1}, В$	$U_{a2}, кВ$			диаметр	длина
13ЛМ6В 13ЛМ6С 13ЛМ6У	Визуальная регистрация электрических процессов	100	0,40 мм	От -100 до +425	12—16	От 0 до -125	750	125	195
		50	0,25 мм						
		200	0,25 мм						
13ЛМ3С	Визуальная регистрация физических процессов	50	0,35 мм	От -300 до +1000	12—16	От 0 до -150	200	178	283
12ЛН1	Запоминание видимого изображения; используется в качестве индикатора с повышенной четкостью отметок	2000	Время стирания изображения 5 с	—	—	—	200	122	257

Продолжение табл. 15

Тип индикаторной или запорной трубки	Основное назначение	Скорость экрана, шт	Разрешающая способность	Напряжения анодов		Напряжение модулятора $U_M$ , В	Долговечность, ч	Габариты, мм	
				$U_{a1}$ , В	$U_{a2}$ , кВ			диаметр	длина
ЛН8	Запись, хранение и воспроизведение сигналов двух видов (без видимого изображения); используется в качестве накопительного элемента в вычислительных устройствах	Трубка без видимого изображения	—	—	—	От —10 до —60	500	91	257

Примечание. Указанные трубки устойчиво работают в диапазоне температур от  $-60^\circ$  до  $+85^\circ$  С (кроме 12ЛН1, для которой диапазон температур от  $-60$  до  $+65^\circ$  С), имеют номинальное напряжение накала  $U_H=6,3$  В, ток накала  $I_H$  от 540 до 660 мА (кроме 12ЛН1, для которой  $I_H$  от 300 до 500 мА, и ЛН8, для которой  $U_H=12,5$  В и  $I_H=285\div315$  мА) и сопротивлению  $R_M$  в цепи модулятора порядка 1,5 МОм.

светиться — стадия тлеющего разряда. Участку  $\nu - \delta$  соответствует почти неизменное напряжение  $U_r$  (напряжение горения); плотность тока (ток, отнесенный к  $1 \text{ см}^2$  площади катода) в светящейся части разряда постоянна — область нормального тлеющего разряда.

По мере увеличения тока светящаяся поверхность становится больше и после того, как вся поверхность катода начинает светиться, дальнейшее увеличение тока  $I_a$  приводит к увеличению плотности тока — область аномального тлеющего разряда, соответствующая

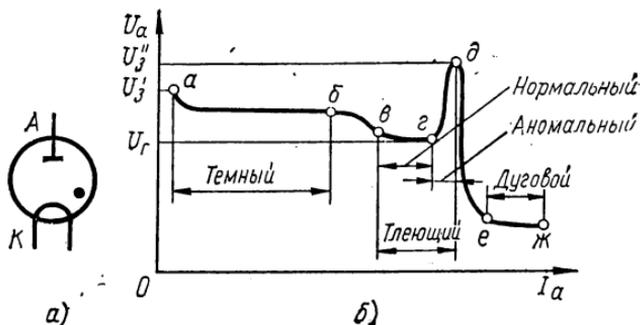


Рис. 6. Ионный прибор:

$a$  — условное обозначение в схемах,  $b$  — типовая вольт-амперная характеристика газового разряда

участку  $z - \delta$ . При достижении напряжения между электродами  $U_a''$  аномальный тлеющий разряд переходит в дуговой. Область дугового разряда соответствует участку  $e - ж$  вольт-амперной характеристики; здесь наблюдается малое падение напряжения на разрядном промежутке и большая плотность тока, достигающая тысяч ампер на  $1 \text{ см}^2$ .

В табл. 16 приведены данные по применению ионных приборов в зависимости от используемого разряда.

Условные обозначения газонаполненных ионных приборов (табл. 17) состоят из трех или в отдельных случаях четырех элементов. Четвертый элемент обозначения (буква) характеризует улучшенные параметры: В — механическая прочность и надежность, Е — долговечность, К — виброустойчивость.

Газонаполненные приборы без разрядов в газе — бареттеры — имеют три элемента обозначения: первый — число (указывает номинальный ток бареттирования, А); второй — буква В, третий — число (указывают пределы бареттирования — верхний и нижний, В).

## § 11. Газотроны

Газотрон — ионный прибор с накаливаемым или холодным катодом, имеющий два электрода — анод и катод, заключенных в газо-непроницаемую стеклянную или керамическую оболочку, наполненную парами ртути или инертным газом. Газотроны работают в режиме тлеющего или дугового разряда и предназначены для выпрямления переменного тока в мощных выпрямителях.

Таблица 15

Тип разряда	Назначение прибора	Типы ионных приборов
Темный разряд	Преобразование света в электроэнергию	Ионные фотоэлементы
	Счетчики излучения	Счетчики частиц, счетчики Гейгера
Коронный разряд	Стабилизация напряжения	Стабилизаторы коронного разряда
Тлеющий разряд	То же	Стабилитроны тлеющего разряда
	Использование в схемах автоматики и вычислительной техники	Тиратроны тлеющего разряда, логические тиратроны, цифровые индикаторные приборы, неоновые лампы, декатроны
Тлеющий и дуговой разряды	Выпрямление и преобразование тока	Газотроны, тиратроны, игнитроны, акситроны
	Источники света	Люминесцентные, неоновые и высоковольтные газосветные лампы
	Источники шума	Шумовые диоды, тиратроны тлеющего и дугового разрядов, стабилитроны тлеющего разряда, неоновые лампы, разрядные трубки

Типовая вольтамперная характеристика газотрона с накалимым катодом (рис. 7) представляет собой зависимость падения напряжения в газотроне  $U_a$  от проходящего через него тока  $I_a$ . При достижении напряжения зажигания  $U_3$  (гочка  $a$  кривой) возникает дуговой разряд (участок  $b - в$ ) и поддерживается примерно постоянное значение напряжения горения  $U_r$  (до точки  $в$ , где  $I_a$  равен максимальному значению  $I_{a, \max}$ , при котором практически все эмиттируемые катодом электроны попадают на анод, а напряжение  $U_a$  начинает резко возрастать — участок  $в - з$ ). Разность  $U_3 - U_r = \Delta U_a$  называется порогом

1-й элемент — сочетание букв (характеризует тип прибора)	2-й элемент — число (порядковый номер разработки)	3-й элемент — число или буква — характеризует электрические (число) или конструктивные (буква) параметры прибора
ГХ — тлеющего разряда с холодным катодом ГГ — с накалившимся катодом, газовое наполнение ГГР — с накалившимся катодом, смешанное наполнение (газ и пары ртути)	Присваивается заводом-изготовителем	Число (дробь); числитель — среднее значение тока, А; знаменатель — наибольшая амплитуда обмоточного напряжения, кВ. Для приборов, работающих в импульсном режиме: числитель — максимальная амплитуда тока в импульсе, А; знаменатель — максимальное прямое напряжение, кВ.
ТХ — тлеющего разряда ТХИ — тлеющего разряда импульсные ТР — с накалившимся катодом, наполнение парами ртути ТГ — с накалившимся катодом, наполнение газовое ТГИ — с накалившимся катодом, наполнение газовое, работа в импульсном режиме	Присваивается заводом-изготовителем	Буква (обычно для СГ, ГХ, ТХ); Б — сверхминиатюрный в стеклянной оболочке, диаметр 6—10,5 мм; Г — сверхминиатюрный в стеклянной оболочке, диаметр свыше 10,5 мм; П — миниатюрный в стеклянной оболочке, диаметр 19—22,5 мм; С — остальные в стеклянной оболочке:
СТ — стабилизатор ИН — индикатор тлеющего разряда А — коммутаторный декаatron ОГ — счетный декаatron		К — в керамической оболочке

зажигания (участок  $a - б$ ). Участок  $б - в$  является рабочим участком характеристики.

Газотроны характеризуются в основном следующими параметрами:

*напряжение зажигания  $U_з$*  — напряжение на аноде, необходимое для возникновения разряда (газотроны с накаливаемым катодом);

*амплитуда напряжения входного сигнала  $U_{вх.ам}$*  — наименьшая амплитуда входного сигнала, необходимая для зажигания самостоятельного разряда в промежутке анод — катод (газотроны тлеющего разряда, с холодным катодом);

*напряжение горения  $U_г$*  — падение напряжения между анодом и катодом в рабочем режиме;

*обратное анодное напряжение  $U_{а.обр}$* ;

*анодный ток (среднее значение)  $I_{а.ср}$* ;

*напряжение накала  $U_н$* ;

*ток накала  $I_н$* ;

*долговечность; интервал рабочих температур; габариты газотронов.*

Основные параметры некоторых типов газотронов, имеющих широкое применение, приведены в табл. 18, а габаритные чертежи и цоколевка — на рис. 8.

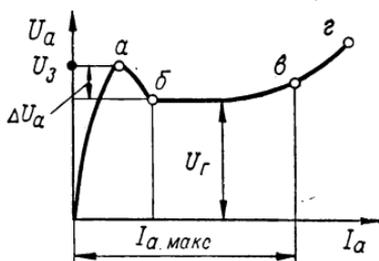


Рис. 7. Типовая вольтамперная характеристика газотрона

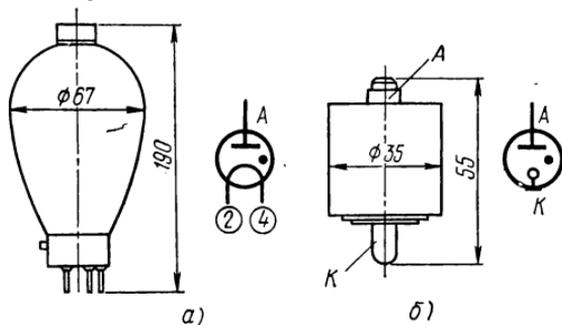


Рис. 8. Габаритные чертежи и цоколевка газотронов:

$a - ГГ1-0,5/5$ ,  $б - ГХ2К$ ;  $A -$  анод,  $K -$  катод

## § 12. Тиратроны

Тиратрон — ионный прибор с накаливаемым или холодным катодом, имеющий три или четыре электрода (анод, катод и одна или две сетки), заключенных в газонепроницаемую оболочку. Тиратроны работают в непрерывном и импульсном режимах тлеющего или несамоподдерживаемого дугового разряда и нашли широкое применение в разнообразных схемах устройств автоматического управления, системах сигнализации и связи, измерительной и вычислительной технике. При подаче на анод постоянного напряжения тиратроны

Таблица 18

Тип газотрона	Наполнение	Ток накала $I_{H_1}$ , А	Напряжение накала $U_{H_1}$ , В	Обратное напряжение анода $U_{a.обр.}$ , В	Напряжение горения $U_{г.}$ , В	Анодный ток (среднее значение) $I_{a.ср.}$ , А	Напряжение зажигания $U_{з.в}$ , В	Габариты, мм		Долговечность, ч	Интервал рабочих температур, °С
								Высота	Диаметр		
ГГ1-0,1/1,5	Ксенон	0,55	6,3	1,5	30	0,1	15	43	23	500	-60 ÷ +250
ГГ1-0,3/8	Аргон	4,0	6,3	8	30	0,5	500	110	44	1000	-60 ÷ +100
ГГ1-0,5/5	Инертный газ	8,5	2,5	5	20	0,5	—	190	67	800	+20 ÷ +60
ГГ1-0,5/20	Аргон	5,0	6,3	20	30	0,5	500	250	62	500	
ГГ1-0,5/30	»	6,5	6,3	30	30	0,5	До 100	300	85	500	
ГГ1-1/5	Ксенон	4,0	6,3	5	3	1,0	До 100	110	42	1000	-60 ÷ +100
ГГ1-1/22	Аргон	14,0	6,3	22	30	1,0	400	300	90	500	-60 ÷ +90
ГГ1-2,5	Ксенон	6,5	6,3	5	24	2,0	100	155	66	500	-60 ÷ +100
ГГ1-2/16	Аргон	16,0	6,3	16	30	2,0	500	300	90	500	-60 ÷ +90
ГГ1-1,5/7	Аргонортутое	12,5	2,5	7	18	1,5	50	200	65	3000	-10 ÷ +50
ГХ1С	Гелий	—	—	5,5	180	0,1	1000	55	24	—	-60 ÷ +250
ГХ2К	Газовое	—	—	5	150	0,1	1000	55	35	—	-60 ÷ +300

\*  $U_{г.}$  при токе анода  $I_{a.ср.}$  равном 0,5 А.

используют в качестве релейных усилителей с очень большими коэффициентами усиления (около миллиона и выше). При подаче на анод переменного напряжения тиратроны применяют в качестве управляемого выпрямителя, средний ток которого можно регулировать, изменяя фазу сеточного напряжения относительно анодного.

Конструкция тиратрона такова, что самостоятельный разряд между катодом и сеткой (вспомогательный разряд) наступает раньше, чем между анодом и катодом (основной разряд).

Первая сетка — управляющая — называется сеткой как подготовительного, так и вспомогательного разряда и используется для регулирования зажигания: на нее подается напряжение  $U_{c1}$ , отрицательное относительно катода, которое препятствует возникновению разряда между анодом и катодом. При подаче на анод достаточно большого напряжения электроны начинают двигаться к аноду и при достижении напряжения зажигания  $U_a$  возникает основной разряд, тиратрон «зажигается», после чего сетка теряет свое управляющее значение.

Зависимость анодного напряжения от напряжения на сетке называется *пусковой характеристикой* или *характеристикой зажигания*. На рис. 9, а — приводятся типовые характеристики зажигания при разных температурах  $T$ , на рис. 9, б — при разных величинах сопротивления  $R$  в цепи сетки.

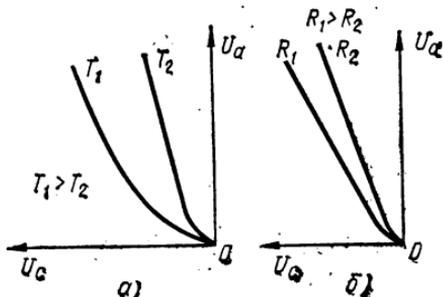


Рис. 9. Типовые характеристики зажигания тиратрона:

а — при разных температурах, б — при разных величинах сопротивления в цепи сетки

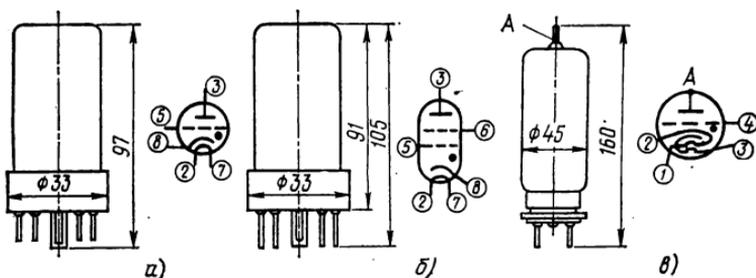


Рис. 10. Габаритные чертежи и цоколевка тиратронов:

а — ТГ1-0,1/0,3, б — ТГ1-0,1/1,3; 2, 7 — подогреватель, 3 — анод, 5, 6 — сетка, 8 — катод, в — ТГ1-50/5; А — анод, 1 — подогреватель генератора водорода, 3 — генератор водорода, 4 — сетка

При зажигании основного разряда напряжение  $U_a$  на тиратроне снижается до величины напряжения горения  $U_r$ , необходимой для поддержания разряда.

Вторая сетка — экранирующая — служит для улучшения рабочих характеристик: она дает возможность повысить обратное напряжение, перемещать характеристики зажигания и управлять тира-

Таблица 19

Тип тиратрона с накаленным катодом	Ток накала $I_n, A$	Напряже- ние нака- ла $U_n, B$	Обратное напряже- ние анода $U_a, обр, KB$	Напряже- ние горения $U_r, B$	Напря- жение зажигания $U_z, B$	Анодный ток (сред- нее зна- чение) $I_a, ср, A$	Долго- вечность, ч	Интервал рабочих температур, $^{\circ}C$	Габариты, мм	
									диаметр	высота
ТГ1Б	0,2	6,3	—	20	30	0,2	500	-60÷+90	36	10
ТГ1-0,02/0,5	0,2	6,3	0,5	16	30	0,02	500	-60÷+100	46	20
ТГ1-0,1/0,3	0,7	6,3	0,3	20	—	0,8	750	-50÷+85	97	33
ТГ1-0,1/1,3	0,6	6,3	1,3	11	25	0,1	500	-50÷+85	105	33
ТГ1-0,4/1,3	0,6	6,3	1,3	—	30	0,1	2000	-50÷+50	67	19
ТГ1-0,5/12	5,0	6,3	12,0	27	500	0,5	500	-60÷+70	225	62
ТГ1-1/0,8	3,0	6,3	0,8	15	50	1,0	500	-60÷+70	130	61
ТГ1-1,5/2	7,5	6,3	2,0	—	100	1,5	500	-60÷+90	160	45
ТГ1-218	6,5	6,3	8,0	20	1000	2,0	1000	-60÷+85	180	70
ТГ1-2,5/1,5	40,0	5,0	1,5	—	—	25,0	2000	-60÷+70	375	90
ТГ2-0,5/12	7,0	6,3	12,0	70	4000	0,5	500	-60÷+90	225	62
ТГ3-0,1/1,3	0,6	6,3	1,3	11	30	0,1	400	-60÷+100	57	19

ТГ3-2,5/10	20,0	5,0	10,0	25	—	—	2,5	1500	—60 ÷ +70	290	90
ТГР1-2,5/2	12,5	2,5	2,0	22	150	—	2,5	1000	—20 ÷ +60	200	60
ТР1-2,5/3	6,5	5,0	3,0	15	—	—	2,5	500	+15 ÷ +45	210	65
ТР1-5/20	13,5	5,0	20,0	16	2500	—	5,0	1000	+15 ÷ +45	395	90
ТР1-6/3	7,5—13,0	5,0	3,0	—	—	—	6,0	500	+15 ÷ +45	250	66
ТР1-6/15	20,0	5,0	15,0	18	—	—	6,5	500	+15 ÷ +35	350	90
ТР1-6,5/15	15,0	5,0	15,0	—	—	—	6,5	1000	+15 ÷ +50	350	66
ТР1-6,5/20	10,0	5,0	20,0	—	—	—	6,5	2000	+15 ÷ +50	340	90
ТР1-15/3	17,0—22,0	5,0	3,0	—	—	—	15,0	500	+15 ÷ +45	355	89
ТР1-40/15	63,0	5,0	15,0	20	—	—	40,0	3000	+15 ÷ +35	820	225
ТР1-85/15	130,0	5,0	15,0	20	—	—	85,0	1000	+15 ÷ +35	1048	270
ТР2-40/15	63,0	5,0	15,0	—	—	—	40,0	3000	+15 ÷ +35	700	225
ТР2-85/15	130,0	5,0	15,0	—	—	—	85,0	800	+15 ÷ +35	712	230

\*  $U_3$  при напряжении на сетке, равном нулю.

Таблица 20

Тип импульсного тиратрона	Ток накала $I_{H, A}$	Напряжение В $U_{H, B}$	Анодное напря- жение $U_a, кВ$	Анодный ток в импульсе $I_a, A$	Длитель- ность импульса $t, \mu c$	Число импуль- сов в секун- ду	Время разряда $t_p, мин$	Долговечность, ч	Интервал температур, $^{\circ}C$	Габариты, мм	
										высота	ди- аметр
ТГИБ	1,5	3,0	0,5	0,02	0,5	1000	12	1500	—	45	10
ТГИ1-3/1	1,1	6,3	1,0	3	0,4—1,0	До 2000	1	300	-60 ÷ +100	67	19
ТГИ-5/1,1	1,8	6,3	1,1	5	10,0	15000	1	100	—	67	19
ТГИ1-10/1	2,8	6,3	1,0	10	—	20000	1	300	-60 ÷ +70	80	32
ТГИ1-35/3	2,5	6,3	3,0	35	0,2—6,0	—	3	500	-60 ÷ +70	135	38
ТГИ1-60/5	5,5	6,3	5,0	60	4,0	15000	3	150	—	160	45
ТГИ1-50/5	3,6	6,3	5,0	50	0,25	4000	3	500	-60 ÷ +70	160	45
ТГИ1-90/8	6,7	6,3	8,0	90	0,4—6,0	2000	3	500	-60 ÷ +90	195	65
ТГИ1-100/8	4,8	6,3	1,6	100	50,0	5000	3	1000	—	82	50
ТГИ1-130/8	4,8	6,3	3	130	5,0	2500	3	200	—	180	62
ТГИ1-130/10	5,0	6,3	10	130	0,5	4000	4	250	—	205	62
ТГИ2-260/12	12,0	6,3	4	260	0,15	4500	3	250	-60 ÷ +70	285	90
ТГИ3-325/16	8,8	6,3	16	325	5,0	1000	5	600	—	230	66
ТГИ1-400/16	11,1	6,3	16	400	0,5—5,0	450	6	250	-60 ÷ +90	265	78
ТГИ1-500/16	15,0	6,3	16	500	0,5—10,0	50000	5	500	-60 ÷ +100	138	70
ТГИ1-500/20	19,5	6,3	20	500	10,0	5000	5	500	—	300	110
ТГИ1-700/25	20,0	6,3	25	700	3,5—6,0	500	7	400	-60 ÷ +90	450	92
ТГИ1-1000/25	20,0	6,3	25	1000	50,0	700	5	500	-60 ÷ +100	161	96
ТГИ1-2000/35	55,0	6,3	35	2000	10,0	330	6	1000	-60 ÷ +85	420	145
ТГИ1-2500/50	84,0	6,3	40	2500	10,0	400	6	9000	-60 ÷ +85	320	158

тром при помощи переменного напряжения (отпирающее напряжение  $U_{c2}$ ).

Тиратроны нашли широкое применение в импульсных схемах. Выпускают импульсные тиратроны на анодные токи в импульсе от одного до нескольких тысяч ампер, на импульсные мощности от нескольких киловатт до десятков мегаватт и на анодные напряжения до десятков киловольт.

Тиратроны характеризуются в основном теми же параметрами, что и газотроны. Тиратроны, работающие в импульсном режиме,

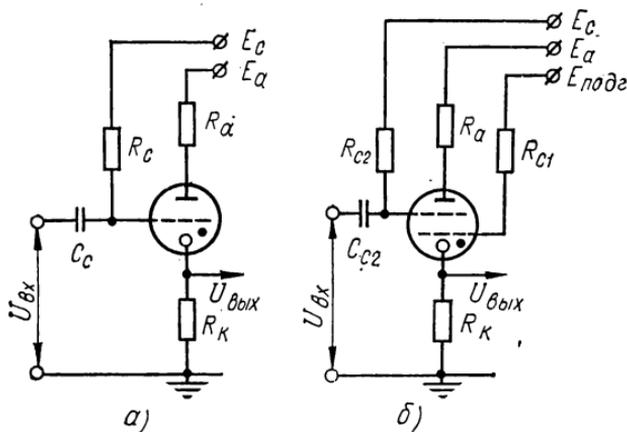


Рис. 11. Схемы включения тиратронов тлеющего разряда:

а — с токовым управлением, б — с электростатическим управлением;  $R_A$  — резистор в цепи анода,  $R_K$  — резистор в цепи катода;  $R_{C1}$ ,  $R_{C2}$  — резисторы в цепи сеток  $G1$  и  $G2$

характеризуются дополнительно следующими основными параметрами:

*анодный ток в импульсе  $I_{a \text{ и}}$ ;*

*среднее значение анодного тока  $I_{a.c.p.}$ ;*

*длительность импульса  $t_{\text{и}}$ ;*

*частота следования импульсов или обратная ей величина (число импульсов в секунду);*

*время разогрева катода  $t_p$  — минимальное время с момента включения до полного разогрева катода, после чего можно включить анодное напряжение.*

Основные параметры некоторых типов тиратронов с накалимым катодом приведены в табл. 19, параметры некоторых типов импульсных тиратронов с накалимым катодом — в табл. 20, габаритные чертежи и цоколевка некоторых типов тиратронов — на рис. 10.

Тиратроны тлеющего разряда обладают устойчивыми состояниями: проводящим (после зажигания) и непроводящим. Это дает возможность широко применять их в системах устройств автоматического управления, в системах сигнализации и связи и в измерительной технике. На тиратронах тлеющего разряда формируют схемы генераторов, триггеров, мультивибраторов, усилителей тока и напряжения, логические схемы («и», «или», «нет»), на основе которых могут собираться сложные узлы — распределители, управляемые генераторы, сумматоры, делители частоты и др.

Различают тиратроны тлеющего разряда с токовым и электростатическим управлением: при токовом управлении используется одна управляющая сетка (рис. 11, а), которая образует ток подготовительного разряда; при электростатическом управлении (рис. 11, б) сетка  $C1$  создает подготовительный разряд, а сетка  $C2$  служит для

Таблица 21

Тип тиратрона тлеющего разряда	Анодное напряжение $U_a$ , В	Напряжение анод-катод $U_{ак}$ , В	Напряжение сетка-катод $U_{с1-к}$ , В	Отрицающее напряжение $U_{с2}$ , В	Долговечность, ч	Интервал рабочих температур, °С	Габариты, мм	
							высота	диаметр
МТХ90	120	65	85	—	5000	-60 ÷ +80	37	12
ТХ2	—	125	—	—	500	-60 ÷ +90	50	19
ТХ3Б	175	110	85	70	5000	-60 ÷ +100	40	10
ТХ4Б	225	125	100	91	1000	-60 ÷ +100	40	10
ТХ5Б	175 → 225	160	150	—	5000	-60 ÷ +100	25	7
ТХ6Г	285	140	115	100	5000	-60 ÷ +85	55	13
ТХ7Г	300	150	115	40	1000	-60 ÷ +85	45	13
ТХ8Г	285	140	130	100	5000	-60 ÷ +85	45	13
ТХ9Г	285	140	115	95	1000	-60 ÷ +85	45	13
ТХ11Г	215	108	110	90	1000		60	13
ТХ12Г	300	160	150	105	1000		50	13
ТХ13Г	200	120	105	88	1000	-60 ÷ +70	40	13
ТХ16Б	220	150	—	—	1000		40	8
ТХ17А	220	140	—	200	5000		45	8
ТХ18А	120	62	87	175	1000		38	8
ТХИ1Г	240	—	90	—	1000		45	13
ТХИ2С	300	140	150	—	500	-10 ÷ +50	72	33

управления. При определенном смещении между первой и второй сетками образуется слабое тормозящее поле, препятствующее проникновению электронов из промежутка «первая сетка — катод» в анодную область. При дальнейшем возрастании напряжения на второй сетке тормозящее действие поля ослабляется, электроны проникают в область «вторая сетка — анод» и вызывают там ионизацию, приводящую к образованию разряда в промежутке анод — катод тиратрона.

Тиратрон управляется также подачей положительного импульса на анод или отрицательного на катод. Величина импульса должна быть такой, чтобы разность потенциалов между анодом и катодом превышала напряжение зажигания промежутка «анод — катод». Токовое управление позволяет зажигать тиратроны импульсами 5–10 В, а при электростатическом управлении входное напряжение в импульсе должно быть 4С.—100 В (и большим по длительности). В тиратронах с электростатическим управлением можно осуществить токовое управление, если соединить вместе обе сетки.

Основные параметры тиратронов тлеющего разряда (с холодным катодом), работающих в непрерывном и в импульсном режимах,

приведены в табл. 21, а габаритные чертежи и цоколевка — на рис. 12.

При эксплуатации тиратронов соблюдают такую последовательность подачи напряжений на электроды: после включения напряжения накала подается напряжение смещения на управляющую

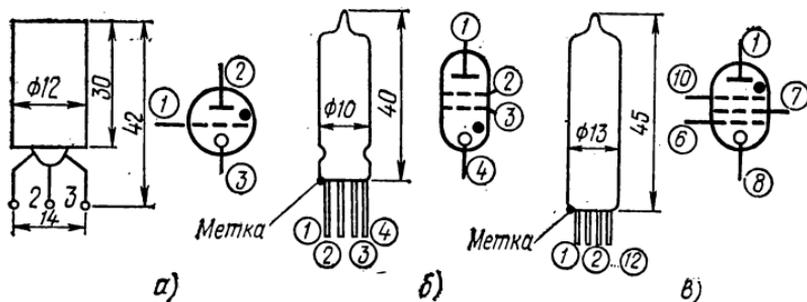


Рис. 12. Габаритные чертежи и цоколевка тиратронов тлеющего разряда:

а — МТХ90, 1 — сетка, 2 — анод, 3 — катод; б — ТХЗБ, 1 — анод, 2, 3 — сетка, 4 — катод; в — ТХ111, 6 — вспомогательная сетка, 7 — сетка

сетку, затем напряжение подготовительного разряда и, наконец, напряжение анода. После длительного перерыва в работе тиратрон перед использованием выдерживают в течение 1 мин в рабочем режиме (тренировка).

## § 13. Стабилизаторы напряжения и тока

### Стабилизатор напряжения — стабилитрон

Стабилитрон — ионный прибор, имеющий два электрода (анод и катод), помещенных в стеклянную или керамическую оболочку, заполненную смесью инертных газов или водородом. Стабилитрон

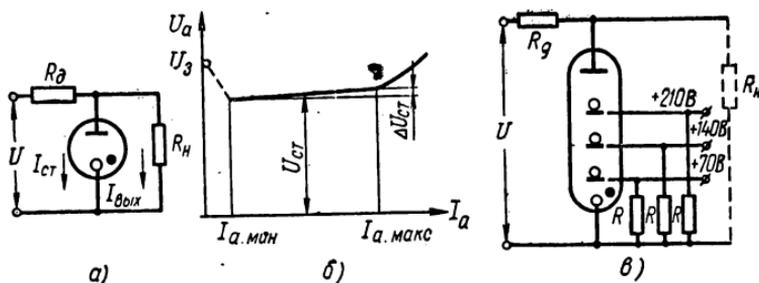


Рис. 13. Стабилитрон:

а — схема включения, б — типовые вольтамперные характеристики, в — стабилитрон-делитель

обладает свойством поддерживать постоянное напряжение на зажимах  $U_{ст}$  при изменении протекающего тока  $I_a$  в широких пределах. Стабилитрон включается параллельно нагрузке  $R_n$

(рис. 13, а), на которой необходимо поддерживать постоянное напряжение; последовательно со стабилитроном включается дополнительное сопротивление  $R_d$  (ограничивающее сопротивление).

Из вольтамперной характеристики стабилитрона (рис. 13, б) видно, что в пределах от  $I_{a.мин}$  до  $I_{a.макс}$  напряжение на стабилитроне изменяется очень незначительно.

Эффективность стабилизации измеряется коэффициентом стабилизации

$$K_{ст} = \frac{\Delta U}{U} : \frac{\Delta U_{ст}}{U_{ст}},$$

где  $U$  — номинальное напряжение источника питания;  $U_{ст}$  — номинальное напряжение стабилитрона (напряжение горения), соответствующее средней точке рабочего (прямолинейного) участка вольтамперной характеристики.

Практически стабилитроны обеспечивают величину  $K_{ст} = 10 \div 20$ , т. е. при 10—20%-ном изменении питающего напряжения напряжение на нагрузке (или, что то же самое, напряжение на стабилитроне) изменится всего на 1%.

Внутреннее сопротивление стабилитрона определяется отношением:

$$R_i = \frac{\Delta U_{ст}}{\Delta I_a} = \frac{\Delta U_{ст}}{I_{макс} - I_{мин}},$$

а дополнительное сопротивление выбирается из расчета

$$R_d = \frac{U - U_{ст}}{I_{вых} - I_{ст.ср}},$$

где  $I_{вых}$  — ток нагрузки;  $I_{ст.ср}$  — ток, соответствующий средней точке рабочего участка вольтамперной характеристики, т. е.

$$I_{ст.ср} = \frac{I_{a.макс} - I_{a.мин}}{2}.$$

Стабилитроны-делители (рис. 13, в) имеют внутри баллона, наполненного неоном, несколько разрядных промежутков. Такие стабилитроны используют для стабилизации напряжения и, кроме того, как делители напряжения (сопротивления  $R$ , равные 0,2 МОм, служат для уменьшения порога зажигания).

Стабилитроны характеризуются в основном следующими параметрами:

*напряжение зажигания*  $U_z$  — напряжение на аноде, необходимое для возникновения разряда;

*напряжение стабилизации*  $U_{ст}$  — напряжение на рабочем участке вольтамперной характеристики при изменении тока от  $I_{a.мин}$  до  $I_{a.макс}$ ;

*изменение напряжения стабилизации*  $\Delta U_{ст}$  — разность между наибольшим и наименьшим значениями напряжения стабилизации на рабочем участке вольтамперной характеристики (при изменении токов от  $I_{a.мин}$  до  $I_{a.макс}$ );

*диапазон изменений анодного тока*  $I_a$  — диапазон изменения значения анодного тока на рабочем участке вольтамперной характеристики;

*долговечность, интервал рабочих температур; габариты стабилитронов.*

Таблица 22

Тип стабилизатора	Напряжение зажигания $U_3$ , В	Напряжение стабилизации на рабочем участке $U_{ст}$ , В	Изменение напряжения стабилизации на рабочем участке $\Delta U$ , В	Диапазон изменений анодного тока $I_a$ на рабочем участке	Долговечность, ч	Диапазон рабочих температур, °С	Габариты, мм	
							высота	длина
СГ1П	175	143—155	3,5	5—30 мА	2000	-60 ÷ +90	72	22,5
СГ5Б	180	142—157	4,0	5—10 »	500	-70 ÷ +90	36	10,2
СГ13П	175	143—155	3,5	5—30 »	1000	-60 ÷ +90	65	19,0
СГ15П-2	160	102—110	3,0	5—30 »	5000	-60 ÷ +155	65	19,0
СГ16П	150	80—86	3,0	5—30 »	500		65	19,0
СГ17С	1350	850—950	50,0—54,0	10—60 »	500	-60 ÷ +100	195	50,0
СГ18С	1500	950—1050	55,0—70,0	10—60 »	500		195	50,0
СГ19С	1650	1050—1150	60,0—77,0	10—60 »	500		195	50,0
СГ20Г	135	85—91	0,5—25,0	4—15 »	1000	-60 ÷ +155	85	11,0
СГ21Б	160	101—109	2,5	4—15 »	2000		45	10,0
СГ201С	150	86—92	2,5	4—15 »	500	-60 ÷ +100	64	33,0
СГ202Б	135	81—86	2,5—4,5	1—5 »	1000	-60 ÷ +150	81	12,0
СГ203К	150	79—86	2,0	1—10 »	1000	-60 ÷ +155	27	10,0

Тип стабилизатора	Напряжение зажигания $U_3$ , В	Напряжение стабилизации на рабочем участке $U_{ст}$ , В	Изменение напряжения стабилизации на рабочем участке $\Delta U_{ст}$ , В	Диапазон измененного анодного тока $I_a$ на рабочем участке	Долговечность, ч	Диапазон рабочих температур, °С	Габариты, мм	
							высота	длина
СГ204К	220	160—169	4,0	1—15 мА	2000	-60 ÷ +155	30	10,0
СГ205Г	135	81—84	0,5	9—11 »	2000	-60 ÷ +155	45	10,0
СГ301С-1	430	380—400	14,0	3—100 мкА	1000		67	13,0
СГ302С-1	970	880—920	30,0	3—100 »	1000	-60 ÷ +85	67	16,5
СГ303С-1	1320	1220—1280	30,0	10—100 »	1000		67	13,0
СГ304С	—	3800—4200	240,0	50—1000 »	1000		128	25,0
СГ305К	—	9500—10500	700,0	50—1500 »	1000		181	33,0
СГ306К	—	24000—26000	1500,0	50—1500 »	1000	-60 ÷ +100	251	49,0
СГ307К	—	14250—16750	1050,0	50—1500 »	1000		181	33,0
СГ308К	—	19000—21000	1000,0	50—1000 »	1000		181	33,0
СГ309К	—	28500—31500	1800,0	50—1500 »	1000		251	49,0
СГ311С	430	385—415	20,0	50—1000 »	1000		100	30,0
СГ312А	430	380—400	7,0	3—50 мА	1000	-50 ÷ +70	25	6,0
СГ313С	1800	1615—1685	30,0	20—110 »	1000	-60 ÷ +100	155	21,0

Основные параметры некоторых типов стабилитронов, имеющих широкое применение, приведены в табл. 22, а габаритные чертежи и цоколевка — на рис. 14.

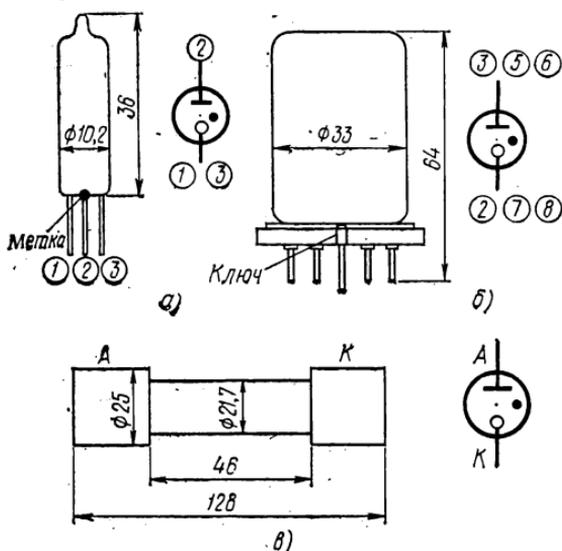


Рис. 14. Габаритные чертежи и цоколевка стабилитронов:

а — СГ5Б, б — СГ201С, в — СГ304С

### Стабилизатор тока — бареттер

Бареттер — газонаполненный прибор, имеющий один электрод (накаливаемую нить), помещенный в стеклянную оболочку, запол-

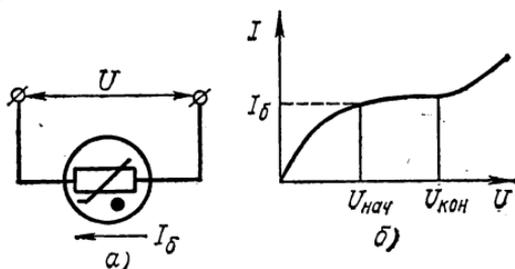


Рис. 15. Бареттер:

а — схема включения, б — типовая вольтамперная характеристика

ненную водородом. В бареттере ионные процессы отсутствуют. Он обладает свойством поддерживать постоянство тока  $I_0$  при изменении напряжения на его зажимах в широких пределах. При увеличении напряжения нить бареттера (рис. 15, а) нагревается и ее сопротивление увеличивается. На рис. 15, б показана вольтампер-

ная характеристика бареттера. При определенном значении тока  $I_6$  увеличение электрического сопротивления пропорционально увеличению напряжения и ток, протекающий через прибор, остается неизменным на рабочем участке характеристики между  $U_{нач}$  и  $U_{кон}$ , причем эти напряжения определяют соответственно начало и конец

Таблица 23

Тип бареттера	На участке бареттирования				Долговечность, ч	Габариты, мм	
	ток $I_6$ , мА		напряжение $U$ , В			длина	диаметр
	$I_{6.нач}$	$I_{6.кон}$	$U_{нач}$	$U_{кон}$			
0,24Б12-18	248	263	12,0	18	200	85	31
0,3Б17-35	275	325	17,0	35	2000	120	43
0,3Б65-135	270	330	65,0	135	1000	130	43
0,425Б5,5-12	390	460	5,5	12	10 000	100	33
0,85Б5,5-12	780	920	5,5	12	10 000	100	33

бареттирования. Обычно  $U_{нач}$  равно  $0,5 U_{кон}$ . На участке бареттирования ток стабилизации  $I_6$  изменяется незначительно ( $\pm 4\%$ ). Нагрузка включается последовательно с бареттером.

Бареттеры характеризуются в основном следующими параметрами:

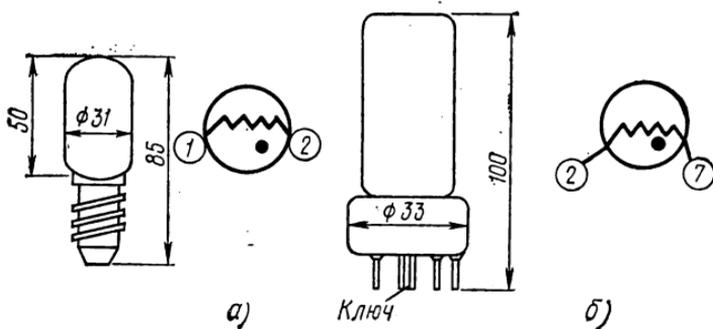


Рис. 16. Габаритные чертежи и цоколевка бареттеров:  
 а — 0,24Б12, б — 0,425Б5, 5 — 12, 0,85Б5, 5 — 12

напряжения, определяющие начало и конец рабочего участка вольтамперной характеристики,  $U_{нач}$  и  $U_{кон}$ ;  
 ток бареттирования  $I_6$  в начале и в конце рабочего участка;  
 долговечность; габариты.

Основные параметры некоторых типов бареттеров, имеющих широкое применение, приведены в табл. 23, а габаритные чертежи и цоколевка — на рис. 16.

## § 14. Неоновые лампы и элементы индикации

### Неоновые лампы

Неоновая лампа — ионный прибор, имеющий два электрода, заключенных в стеклянную оболочку, заполненную неоном. Неоновые лампы работают в режиме тлеющего разряда и применяются в качестве устройств, сигнализирующих о наличии напряжения или его изменении. Кроме того, неоновые лампы используются для возбуждения колебаний различной частоты (от 0,5 Гц до 10 кГц).

На схему подается постоянное напряжение  $U$  (рис. 17); при этом конденсатор  $C$  заряжается до напряжения зажигания  $U_z$  неоновой лампы. В лампе возникает тлеющий разряд, и ток увеличивается, а конденсатор разряжается до напряжения потухания  $U_n$ , при котором лампа гаснет, разряд прекращается и сопротивление лампы становится очень большим. Конденсатор  $C$  вновь начинает заряжаться, возникает процесс медленного периодического заряда с постоянной времени  $\tau = RC$  и быстрого разряда через неоновую лампу. Частота возникающих колебаний зависит от параметров  $C$  и  $R$  и напряжений зажигания  $U_z$  и потухания  $U_n$  неоновой лампы.

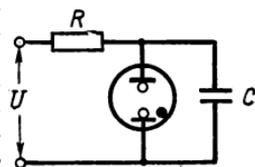


Рис. 17. Схема включения неоновой лампы

### Элементы индикации

К элементам индикации относятся индикаторные лампы, электролюминесцентные индикаторы и полупроводниковые элементы.

**Индикаторная лампа** — многоэлектронный прибор тлеющего разряда. Цифровая индикаторная лампа имеет 10 катодов, выполненных в виде арабских цифр (от 0 до 9). При разряде свечение того или иного катода наблюдается через купол или боковую стенку баллона лампы. Индикаторные лампы заполнены неоном, имеют оранжево-красное свечение и отличаются высокой контрастностью изображения. Схема включения цифровой индикаторной лампы показана на рис. 18. Индикаторные лампы широко используются в системах сигнализации связи, в автоматике и вычислительной технике, контрольно-измерительной аппаратуре: в световых табло, на пультах управления диспетчерских пунктов, в различных автоматах и т. п.

Неоновые и индикаторные лампы характеризуются в основном следующими параметрами:

*напряжение зажигания  $U_z$*  — напряжение на аноде, необходимое для зажигания разряда;

*напряжение источника питания  $U$* ;

*рабочий ток  $I$*  (обычно величина  $I$  должна превышать значение тока индикации  $I_{ин}$ , при котором покрытые разрядным свечением катоды обеспечивают надежную индикацию символов);

*время запаздывания зажигания  $t_{зап}$*  — время, прошедшее с момента подачи напряжения зажигания до момента возникновения тока самостоятельного разряда (рабочий ток); время запаздывания зажигания определяет время готовности аппаратуры к работе;

*долговечность; интервал рабочих температур; габариты.*

Основные параметры некоторых типов неоновых и индикаторных ламп, имеющих широкое применение, приведены в табл. 24, а типовый габаритный чертеж и цоколевка индикаторной лампы ИН 4 — на рис. 19.

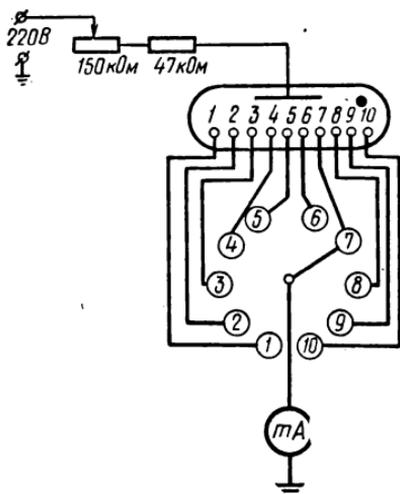


Рис. 18. Схема включения цифровой индикаторной лампы

Выпускают буквенно-цифровые (наиболее распространены), мнемонические, с видимым изображением, растровые и электролюминесцентные индикаторы.

Индикаторы ИЭЛ применяют для отображения различной информации на пультах и измерительных приборах, для передачи

**Электролюминесцентные индикаторы ИЭЛ** основаны на принципе преобразования электрических сигналов в световые и классифицируются: по цветному исполнению — на одноцветные О, многоцветные М и растровые Р (с изменением цвета свечения); по характеру отображаемой информации — на буквенно-цифровые и мнемонические; по виду изображения — с прямым контрастом (несветящееся изображение на светящемся фоне), с обратным контрастом (светящееся изображение на несветящемся фоне); по характеру изображения — на индикаторы со скрытым изображением (изображение видно только при подаче напряжения) и с видимым изображением (изображение видно без подачи напряжения).

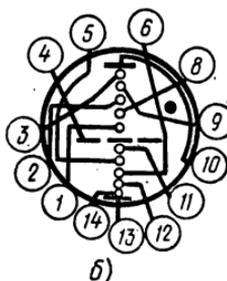
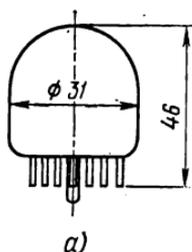


Рис. 19. Габаритный чертеж (а) и цоколевка (б) индикаторной лампы ИН-4:

выводы электродов — 1—К4, 2—К6, 3—К8, 4—экран, 5—К9, 6—К7, 8—К0, 9—К2, 10—А2, 11—К3, 12—К5, 13—А1, 14—К1 (А — анод, К — катод)

буквенной и цифровой информации в системах контроля, управления (на мнемосхемах) и индикации выходных данных вычислительных машин.

Длительный срок службы, высокая надежность, большой

Таблица 24

Тип неоновой или индика- торной лампы	Назначение	Напряже- ние зажига- ния $U_3$ , В	Напряжение источника питания $U$ (наименьшее), В	Ток индика- ции / ин, мА	Время запады- вания $t_3$ , с	Долго- вечность, ч	Интервал рабочих температур, $^{\circ}\text{C}$	Габариты, мм	
								длина	диа- метр
ИН-1	Цифровая	200	220	2,5	1	1000	-60 ÷ +100	65	35
ИН-2	»	200	200	1,5	1	5000	-60 ÷ +100	40	19
ИН-3	»	65—85	200	0,2	—	500	+10 ÷ +50	27	07
ИН-4	»	170	200	2,5	1	1000	-60 ÷ +100	46	31
ИН-5А	Знаковая	200	—	1,5	1	1000	-60 ÷ +100	42	19
ИН-6	Индикация в трансис- торных схемах	140	—	0,15	2	1000	-60 ÷ +85	37	11
ИН-7	Знаковая	170	200	2,5	1	1000	-60 ÷ +85	45	31
ИН-8	Цифровая	170	200	2,5	0,5	5000	-60 ÷ +70	62	19
ИН-9	Визуальный индикатор электросигнала	140	—	12	—	1000	—	140	10
ИН-12	Цифровая	170	200	2,5	1	5000	-60 ÷ +70	35	21
ИН-13	Линейная индикация	140	140	4	1	1000	-60 ÷ +60	225	11
ИН-14	Цифровая	170	200	2,5	1	5000	-60 ÷ +70	55	19
ИН-15	Знаковая	170	200	2,5	—	1000	-60 ÷ +70	28	31
ИН-16	Цифровая	170	190	2	1	5000	-60 ÷ +70	45	13
ИН-17	»	170	200	1,5	1	9000	-60 ÷ +70	22	20
ИН-18	»	170	200	6	1	2000	-60 ÷ +70	86	32
ИН-19	Знаковая	170	200	2,5	1	3000	-60 ÷ +70	55	19
ИН-20	Точечная	400	400	—	—	1000	-60 ÷ +85	235	25
ИНС-1	Универсальная	65—90	95	0,2	—	1000	-60 ÷ +85	30	7
ТН-1, 5Д	Визуальная	150	160	1	2	10000	-60 ÷ +85	35	10
ТМУ-2	»	230—3000	330	0,5	1	500	-40 ÷ +70	72	10

Тип неоновой или индикаторной лампы	Назначение	Напряже- ние зажи- гания $U_3$ , В	Напряжение источника питания $U$ (наименьшее), В	Ток индика- ции / ин, мА	Время запады- вания $t_3$ , с	Долго- вечность, ч	Интервал рабочих температур, $t$ , °С	Габариты, мм	
								длина	диаметр
СН-1	Сигнальная миниатор- ная	150	—	20,0	—	—	—	90	56
СН-2	То же	82	—	30,0	—	—	—	90	56
МН-3	»	65	—	1,0	—	—	—40÷+70	37	15
МН-4	»	80	—	2,0	—	—	—	37	15
МН-5	»	150	—	0,2	—	—	—	35	10
МН-6	»	90	—	0,8	—	—	—	28	7
МН-7	»	90	—	2,0	—	—	—	40	15
МН-8	»	75	—	1,0	—	—	—	30	10
МН-11	»	85	—	5,0	—	—	—	42	15
ПН-1	»	200	—	1,0	—	—	—	45	16
ПН-3	»	90	—	0,5	—	—	—	45	16
ВМН-1	Волномерная	160	—	2,0	—	—	—	51	19
УВН-1	Указатель высокого напряжения	550	—	—	—	—	—	70	10

Таблица 25

Тип ИЭЛ	Потребляемый ток, мА	Цвет свечения *	Воспроизводимое изображение	Габариты, мм	Масса, г
ИЭЛ-М-I	0,5	З, Г, Ж	Светящееся поле	15×20×18	6
ИЭЛ-М-II	0,5	Г и Ж одновременно	Два светящихся поля	15×20×18	6
ИЭЛ-О-II	1,0	З, Г, Ж	Светящееся поле	17×40×40	50
ИЭЛ-О-III**	0,5	З, Г, Ж	Символы, фигуры	21×29×41	50
				21×29×18	20
ИЭЛ-М-II	1,0	З и З, Г и Г, Ж и Ж	Два светящихся поля	17×40×18	20
				17×40×40	55
ИЭЛ-О-IV**	0,1	З	Цифры от 0 до 9 и запятая	22×42×17	20
ИЭЛ-О-V**	0,5—2,0	З, Г, Ж	Геометрические фигуры, символы, два чистых поля	33×33×40	65
				33×33×18	25
ИЭЛ-М-V	0,5—2,0	З и Ж, Г и З, Г и Ж	Чистые поля двух разных цветов	33×33×40	65
ИЭЛ-О-VI	0,5—3,0	З, Г, Ж	Буквы, чистые поля, знаки и символы	43×59×25	80
ИЭЛ-Р-VI**	3,5—7,0	Растр—Г, растр—Ж, оба вместе—Б	Геометрические фигуры, светящиеся поля	43×59×25	80
				43×59×56	120

Тип ИЭЛ	Потребляемый ток, мА	Цвет свечения *	Воспроизводимое изображение	Габариты, мм	Масса, г
ИЭЛ-О-VII	4,5	З, Г, Ж	Светящееся поле	45×85×25	120
ИЭЛ-Р-VII	4,5—10,0	Растр—Г, растр—Ж, оба вместе—Б	Геометрические фигуры, знаки, символы, светящееся поле	65×65×25	120
				65×65×56	180
ИЭЛ-О-IX**	4,5—12,0	З, Г, Ж	Цифры, буквы, знаки, чистые поля	65×95×25	160
ИЭЛ-Р-IX	7,0—15,0	Растр—Г, растр—Ж, оба вместе—Б	То же	65×95×56	230*
				65×95×56	160
ИЭЛ-О-X**	5,0—10,0	З, Г, Ж	Геометрические фигуры, знаки, символы, светящееся поле	105×105×25	280
ИЭЛ-Р-X	12,0—25,0	Растр—Г, растр—Ж, оба вместе—Б	То же	105×105×56	370
				105×105×25	280
ИЭЛ-О-XI**	4,5—15,0	З, Г, Ж	»	125×185×25	600
ИЭЛ-Р-XI	10,0—20,0	Растр—Г, растр—Ж, оба вместе—Б	»	125×185×25	600
				155×155×25	620
ИЭЛ-О-XII	9,0—25,0	З, Г, Ж	Геометрические фигуры, знаки, символы	155×155×56	780
				155×155×25	620
ИЭЛ-Р-XII	25,0—45,0	Растр—Г, растр—Ж, оба вместе—Б	То же	155×155×25	620
				155×155×56	780

\* Б — белый, Г — голубой, Ж — желтый, З — зеленый.

\*\* ИЭЛ обратного контраста.

угол обзора и значительная яркость позволяют широко использовать ИЭЛ в системах отображения информации.

Основные параметры выпускаемых ИЭЛ приведены в табл 25, а внешний вид изображен на рис. 20.

Общими для ИЭЛ параметрами (кроме растровых) являются условия возбуждения; в режиме постоянного питания — частота 400 Гц, напряжение 220 В; в режиме постоянной яркости — частота 1200 Гц, напряжение питания, возрастающее по мере увеличения срока службы, — от 175 до 250 В. Растровые индикаторы в режиме постоянного питания: ИЭЛ-Р-IX, ИЭЛ-Р-X, ИЭЛ-Р-XI — частота 1200 Гц, ИЭЛ-Р-XII — частота 2100 Гц.

**Полупроводниковые \* элементы индикации.** Светодиоды — полупроводниковые приборы, преобразующие электрические сигналы в световые. Действие полупроводниковых светодиодов основано на явлении спонтанного рекомбинационного излучения квантов света при больших плотностях тока — порядка сотен ампер на см<sup>2</sup>. Длина волны, определяющая цвет излучаемого света, зависит от материала проводника и типа введенных в него примесей. Так, длина волны собственного излучения фосфида галлия соответствует зеленому цвету, но введением примесей можно

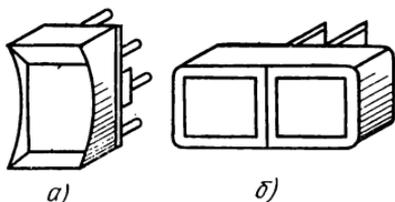


Рис. 20. Внешний вид индикаторов ИЭЛ:

а — ИЭЛ-М-1, б — ИЭЛ-М-11

Таблица 26

Тип светодиода	Прямой ток $I_{пр}$ , мА	Прямое напряжение $U_{пр}$ , В	Обратное напряжение $U_{обр}$ , В	Яркость, нт	Цвет свечения	Диапазон температуры окружающей среды, °С	Масса, г
АЛ102А	5	3,2		5	Красный	-60 ÷ +50	0,25
АЛ102Б	20	4,5	6	40	»		
АЛ102В	30	5,0		50	Зеленый		
КЛ101А	10	5,5	—	10	Желтый	-10 ÷ +70	0,05
КЛ101Б	20			15			
КЛ101В	40			20			
КЛ104А	10	6,0	10	15	Желтый	-60 ÷ +70	7
АЛ301А	10	3,0	—	10	Красный	-60 ÷ +70	—
АЛ301Б		3,8		20			

Примечание. Светодиоды АЛ301А и АЛ301Б — бескорпусные, остальные оформлены в корпусе с линзой.

\* Понятие о физических процессах в полупроводниках дается в гл. V.

получить более длинноволновое излучение, соответствующее желтому и красному цветам.

Низкие напряжения и малые токи, свойственные светодиодам, дают возможность использовать их в низковольтных транзисторных схемах. Это обстоятельство, а также малые габариты делают

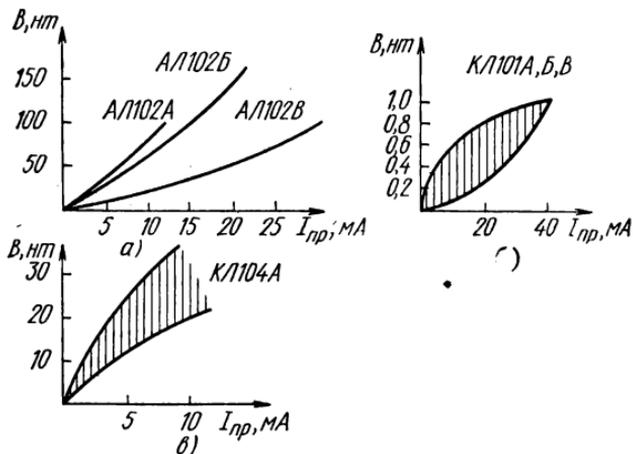


Рис. 21. Зависимость яркости от прямого тока  
 а — АЛ102А, Б, В, б — КЛ101А, Б, В, в — КЛ104А

светодиоды особенно удобными для применения в схемах современных ЭВМ, где требования высокой надежности сочетаются с необходимостью использования низковольтного питания при достаточно высокой стабильности излучения, например, в схемах индикации, в системах фотопамяти и т. п.

Малая инерционность светодиодов ( $10^{-6}$  —  $10^{-8}$  с) позволяет применять их в импульсных режимах на частотах от 1 до 100 МГц. Мощность излучения зависит от конструкции конкретного прибора и оказывается тем больше, чем больший ток пропускает прибор, не разогреваясь, так как эффективность светодиода резко уменьшается при нагреве.

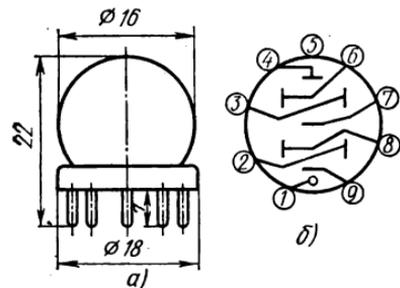


Рис. 22. Многоэлементный цифровой индикатор КЛ104А:

а — габаритный чертеж корпуса с линзой, б — цоколевка

кое применение во многих областях: во всевозможных индикаторных схемах, в цифровых часах, системах ночного видения, в ядерной радиоэлектронике, автоматике и вычислительной технике и т. п. В частности перспективным представляется использование этих приборов в интегральных и гибридных схемах с оптическими связями.

В табл. 26 приведены основные параметры выпускаемых светодиодов, а на рис. 21 изображены характеристики зависимости яркости

сти В от прямого тока  $I_{пр}$ . Внешний вид и габариты светодиодов показаны на рис. 22.

## Г Л А В А V

### ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ

#### § 15. Физические основы полупроводниковой электроники.

#### Условные обозначения полупроводниковых приборов

Полупроводниками называют вещества, занимающие по величине удельной электрической проводимости промежуточное положение между проводниками и диэлектриками и обладающие удельной электрической проводимостью  $10^{-10}$ — $10^4$  1/(Ом·см) (для проводников этот параметр равен  $10^4$ — $10^6$ , а для диэлектриков он менее  $10^{-10}$ ). Приборы, действие которых основано на использовании свойств полупроводников, называются полупроводниковыми приборами. В таких приборах наиболее часто используют германий и кремний, а также селен, титан и др.

Полупроводниковые приборы могут состоять из одного полупроводника (варисторы, термосопротивления); из двух полупроводников, находящихся в контакте (полупроводниковый диод); из трех полупроводников, находящихся в контакте (транзистор) и из многих полупроводников, также находящихся в контакте (переключающие диоды и др.).

Достоинствами полупроводниковых приборов являются малые габариты и масса, высокая надежность и экономичность. В настоящее время полупроводниковые приборы широко используют для выпрямления переменного тока, детектирования, усиления и генерирования сигналов и т. д. При этом полупроводниковые приборы могут работать как в непрерывном, так и в импульсном режимах.

Полупроводники имеют кристаллическую структуру. При температуре, близкой к абсолютному нулю, полупроводник обладает свойствами идеального диэлектрика (все электроны в атомах связаны, свободных электронов нет). При нагревании полупроводника появляются свободные электроны, не связанные с атомами кристалла, в результате чего в кристаллической решетке образуются незаполненные связи — «дырки», обладающие свойствами свободных зарядов.

Имеются два типа полупроводников: полупроводником *n*-типа (электронным) называется полупроводник с преобладающей концентрацией электронов (электроны называются в этом случае основными носителями, а дырки — неосновными); полупроводником *p*-типа (дырочным) называется полупроводник с преобладающей концентрацией дырок (в этом случае дырки называются основными носителями, а электроны — неосновными). Различие в концентрации носителей вызывает перемещение дырок из объема *p*-проводимости в объем *n*-проводимости, а электронов — в обратном направлении. В плоскости соприкосновения объемов образуется тонкий слой

с сильно изменяющимися концентрациями носителей, называемый барьерным слоем или  $p-n$ -переходом.

Носители, находящиеся в барьерном слое БС (рис. 23, а), препятствуют дальнейшему перемещению электронов и дырок и, таким образом, устанавливается равновесие. При включении внешнего источника напряжения равновесие в барьерном слое нарушается.

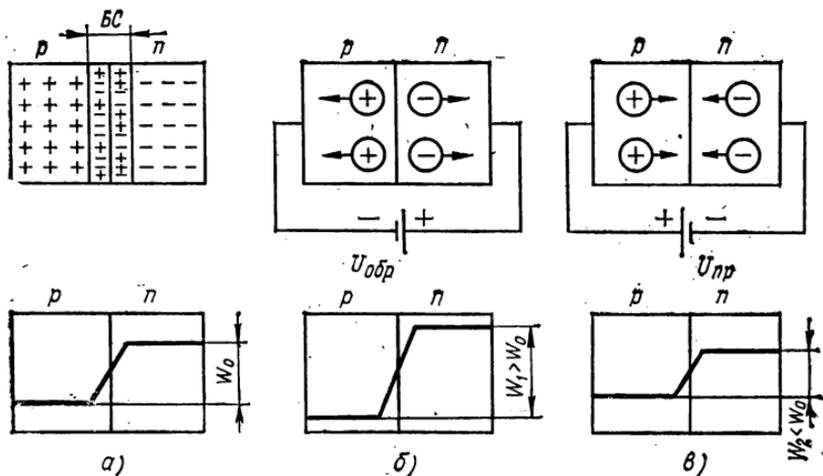


Рис. 23. Строение  $p-n$ -перехода и диаграммы потенциальной энергии  $W$ :

а — к переходу не приложено внешнее напряжение ( $W_0$ ), б — обратное включение ( $W_1 > W_0$ ), в — прямое включение ( $W_2 < W_0$ )

При обратном включении ( $U_{обр}$ ) плюс источника напряжения подключается к области  $n$ -проводимости (рис. 23, б), электроны и дырки движутся в обратном направлении, стремясь покинуть барьерный слой. Носителей в зоне  $p-n$ -перехода мало, его сопротивление велико и ток, протекающий через переход, мал. При прямом включении ( $U_{пр}$ ) плюс источника напряжения подключается к области  $p$ -проводимости (рис. 23, в), электроны и дырки движутся навстречу друг другу, обогащая носителями барьерный слой. При этом сопротивление перехода очень мало и ток, протекающий через него, велик. Таким образом,  $p-n$ -переход представляет собой клапан, пропускающий ток в прямом направлении.

В зависимости от геометрической формы  $p-n$ -перехода полупроводниковые приборы подразделяют на точечные и плоскостные (наибольшее применение имеют плоскостные приборы). Плоскостные приборы по способу образования  $p-n$ -перехода делят на силовые, диффузионные, планарные и др.

Полупроводниковые приборы, находящиеся в настоящее время в эксплуатации, имеют две разновидности условных обозначений: старые (для приборов, разработанных до 1964 г.) и новые (для приборов, разработанных после 1964 г.). Как в старой, так и в новой системах обозначений принято следующее разделение полупроводниковых приборов на группы:

по предельной (граничной) частоте усиления (передачи тока): низкие частоты (НЧ) — до 3 МГц, средние (СЧ) — от 3 до 30 МГц, высокие (ВЧ) — выше 30 МГц;

по величине рассеиваемой мощности: маломощные — до 0,3 Вт, средней мощности — от 0,3 до 1,5 Вт, большой мощности — выше 1,5 Вт.

По старым обозначениям (ГОСТ 5461—59) полупроводниковые приборы характеризуются тремя элементами:

- а) первый элемент — буква, указывающая тип прибора (Д — диод, Т — транзистор);
- б) второй элемент — число, характеризующее назначение прибора:

#### диоды

точечный германиевый . . . . .	1—100
» кремниевый . . . . .	101—200
плоскостной кремниевый . . . . .	201—300
» германиевый . . . . .	301—400
смесительный СВЧ . . . . .	401—500
умножительный . . . . .	501—600
видеодетекторный . . . . .	601—700
параметрический германиевый . . . . .	701—749
» кремниевый . . . . .	750—800
стабилитрон (опорный диод) . . . . .	801—900
варикап . . . . .	901—950
выпрямительный столб . . . . .	1001—1100

#### транзисторы

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

в) третий элемент — буква, указывающая разновидность прибора (А, Б, В и т. д.). Третий элемент обозначения может отсутствовать.

По новым обозначениям (ГОСТ 10862—64) полупроводниковые приборы характеризуются четырьмя элементами (табл. 27). Третий элемент обозначения приведен дополнительно в табл. 28.

Особенность обозначения селеновых выпрямителей состоит в том, что здесь используются три элемента (табл. 29). В специальных случаях может быть добавлен четвертый элемент — буква, обозначающая конструктивные особенности (М — малогабаритный).

## § 16. Полупроводниковые диоды

Полупроводниковый диод — двухэлектродный прибор, принцип действия которого основан на использовании явлений, возникающих при контакте двух полупроводников с разными типами проводимости. Между частями монокристалла с проводимостями  $p$ - и  $n$ -типа существует переходный слой (область  $p$ — $n$ -перехода). Полупроводниковые диоды широко применяют в схемах, работающих

в непрерывном и импульсном режимах и по назначению делят на выпрямительные (в том числе диоды универсального назначения, работающие в широком диапазоне частот), импульсные, варикапы, стабилитроны (опорные диоды), туннельные.

Таблица 27

1-й элемент — буква или цифра (характеризует материал полупроводника)	2-й элемент — буква (характеризует тип прибора)	3-й элемент — число (характеризует назначение или электрические свойства прибора)	4-й элемент — буква (характеризует разновидности технологического типа)
Г или 1 — германий, К или 2 — кремний, А или 3 — арсенид галлия	Д — диод, Т — транзистор, В — варикап, А — сверхвысокочастотный прибор, Ф — фотоприбор, И — туннельный диод, С — стабилитрон, Н — неуправляемый многослойный переключающий прибор*, У — управляемый многослойный переключающий прибор*, Ц — выпрямительные столбы и блоки	От 101 до 999	От А до Я

\* Уточненные наименования приборов см. в § 18.

Общими для всех видов полупроводниковых диодов являются основные параметры:

*прямой ток*  $I_{пр}$  — ток через диод в прямом (пропускном) направлении;

*обратный ток*  $I_{обр}$  — ток через диод в обратном (непропускном) направлении;

*допустимый выпрямленный ток*  $I_{выпр. доп}$  — значение тока (среднее за период, постоянная составляющая), который может длительно протекать через диод, не вызывая изменения его параметров;

*наибольший допустимый прямой ток*  $I_{пр. доп}$ ;

*прямое напряжение*  $U_{пр}$ ;

*обратное напряжение*  $U_{обр}$ ;

*наибольшее допустимое обратное напряжение*  $U_{обр. доп}$  — напряжение, которое может быть в течение длительного времени приложено к диоду в обратном направлении, не вызывая изменения его параметров;

*емкость диода*  $C$  — емкость между выводами диода;

*габариты; диапазон рабочих температур; долговечность.*

### Выпрямительные диоды

Выпрямительные диоды предназначены для выпрямления переменного тока низкой частоты (практически до 50 кГц). Промыш-

Тип прибора	3-й элемент обозначения
<b>Транзисторы:</b>	
<b>малой мощности:</b>	
для НЧ . . . . .	101—199
» СЧ . . . . .	201—299
» ВЧ . . . . .	301—399
<b>средней мощности:</b>	
для НЧ . . . . .	401—499
» СЧ . . . . .	501—599
» ВЧ . . . . .	601—699
<b>большой мощности:</b>	
для НЧ . . . . .	701—799
» СЧ . . . . .	801—899
» ВЧ . . . . .	901—999
<b>Диоды:</b>	
<b>выпрямительные:</b>	
малой мощности . . . . .	101—199
средней мощности . . . . .	201—299
большой » . . . . .	301—399
универсальные . . . . .	401—499
импульсные . . . . .	501—599
Сверхвысокочастотные диоды . . . . .	101—599
Варикапы . . . . .	101—199
<b>Фотоприборы:</b>	
диоды . . . . .	101—199
триоды . . . . .	201—299
<b>Неуправляемые многослойные переключающие приборы:</b>	
малой мощности . . . . .	101—199
средней » . . . . .	201—299
большой » . . . . .	301—399
<b>Управляемые многослойные переключающие приборы:</b>	
малой мощности . . . . .	101—199
средней » . . . . .	201—299
большой » . . . . .	301—399
<b>Туннельные диоды:</b>	
генераторные . . . . .	101—199
усилительные . . . . .	201—299
переключающие . . . . .	301—399
<b>Стабилитроны малой мощности с напряжением стабилизации, В:</b>	
0,2—9,9 . . . . .	101—199
10—99 . . . . .	201—299
100—199 . . . . .	301—399
<b>Стабилитроны средней мощности с напряжением стабилизации, В:</b>	
0,1—9,9 . . . . .	101—199
10—99 . . . . .	201—299
100—199 . . . . .	301—399

Тип прибора	3-й элемент обозначения
Стабилитроны большой мощности с напряжением стабилизации, В:	
0,1—9,9 . . . . .	101—199
10—99 . . . . .	201—299
100—199 . . . . .	301—399

ленность выпускает селеновые, германиевые, кремниевые, купоросные, титановые выпрямительные диоды; для выпрямления высоких напряжений и больших токов используют выпрямительные столбы.

Таблица 29

1-й элемент — буквы (характеризуют тип прибора)	2-й элемент — число	3-й элемент—число
ABC—алюминиевый выпрямитель селеновый	Для приборов средней и большой мощности: длина стороны квадратной шайбы или ее диаметр, мм	порядковый номер разработки (присваивается заводом-изготовителем)
	Для приборов малой мощности: средняя величина выпрямляемого тока, мА	подводимое переменное напряжение, В

**Селеновые диоды** изготовляют на основе кристаллического селена с проводимостью *p*-типа, наносимого на стальное или алюминиевое основание. На поверхность селена наносят слой, содержащий сплав кадмия, висмута или олова, который создает слой с

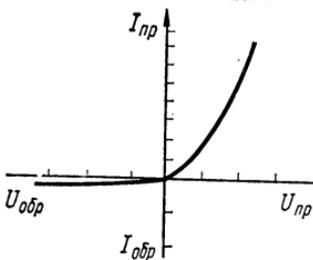


Рис. 24. Типовая вольт-амперная характеристика полупроводникового диода

электронной проводимостью, в результате чего образуется *p-n*-переход. Селеновые диоды широко используют в выпрямительных устройствах, работающих со значительными величинами выпрямленного тока (десятки ампер); соединение диодов в последовательные и параллельные группы позволяет получать различные схемы выпрямления.

В табл. 30 приведены значения выпрямленного тока  $I_{\text{выпр}}$  в различных схемах выпрямления при последовательном соединении диодов в плече выпрямителей, при активной и индуктивной нагрузках, естественном охлаждении и температуре окружающего воздуха 35° С.

**Германиевые диоды** изготовляют обычно на основе германия *n*-типа, в который вплавляют индий, в результате чего образуется *p-n*-переход.

Кремниевые диоды изготовляют на основе сплавления алюминия в кристалл кремния с *n*-проводимостью (или сплавления сплава олова с фосфором или золота с сурьмой в кристалл кремния с *p*-проводимостью), в результате чего также образуется переход.

Таблица 30

Размер элемента, мм	Номинальные значения выпрямленного тока $I_{\text{выпр}}$ в среднем на диоде, А, в схемах выпрямления				
	однофазных			трехфазных	
	однополупериодной	со средней точкой	мостовой	умножения напряжения	мостовой
15×15	0,04	0,07	0,07	0,03	0,1
22×22	0,07	0,15	0,15	0,06	0,2
30×30	0,15	0,30	0,30	0,12	0,5
40×40	0,30	0,60	0,60	0,25	0,9
60×60	0,60	1,20	1,20	—	1,8
75×75	1,20	2,40	2,40	—	3,6
90×90	1,50	3,00	3,00	—	4,5
100×100	2,00	4,00	4,00	—	6,0
100×200	4,00	8,00	8,00	—	12,0
100×300	6,00	12,00	12,00	—	18,0
100×400	8,00	16,00	16,00	—	24,00

Примечание. При однофазных схемах с емкостной нагрузкой значенные выпрямленного тока следует снизить на 20%. Допустимая плотность тока  $I_{\text{доп}}$  снимаемого с 1 см<sup>2</sup> площади поверхности вентиля, равна 0,05 А/см<sup>2</sup>; допустимая величина обратного напряжения  $U_{\text{обр.доп}}$  равна 18÷26 В; емкость *C* равна 0,01—0,02 пФ/см<sup>2</sup>.

Типовая вольтамперная характеристика диода показана на рис. 24, а габаритные чертежи некоторых типов диодов — на рис. 25.

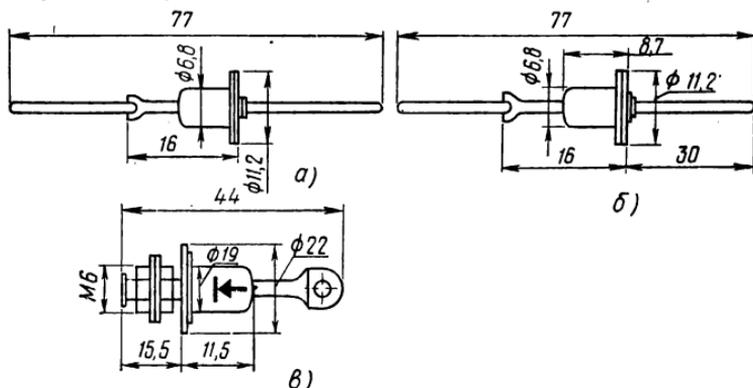


Рис. 25. Габаритные чертежи диодов:  
а — Д7А, Д217, Д218, б — Д226Б, в — Д302—Д305

Основные параметры германиевых и кремниевых выпрямительных диодов, применяющихся в различных устройствах, приведены в табл. 31.

Таблица 31

Тип диода	Допустимый выпрямленный ток (среднее значение) / выпр. доп	Обратный ток (среднее значение) / обр. ср.	Допустимое обратное рабочее напряжение $U_{обр. доп}$ , В	Прямое напряжение $U_{пр}$ , В	Долговечность, ч	Интервал рабочих температур, °С	Габариты, мм	
							диаметр	длина
Д7А* Д7Б* Д7В* Д7Г* Д7Д* Д7Е* Д7Ж*	300 мА	100 мкА	50 100 150 200 300 350 400	0,5	2000	-60+ +70	11,2	16
Д202 Д203 Д204 Д205	400 мА	500 мкА	100 200 300 400	1,0	5000	-55+ +85	18	22
Д206 Д207 Д208 Д209 Д210 Д211	100 мА	50 мкА	100 200 300 400 500 600	1,0	5000	-60+ +120	11,2	16
Д217 Д218	100 мА	50—100 мкА	800 1000	1,0	10 000	-40+ +100	11,2	16
Д226Б Д226В Д226Г Д226Д	300 мА	100 мкА	400 300 200 100	1,0	5000	-60+ +80	11,2	16
Д242 Д242А Д242Б Д243 Д243А Д243Б Д244 Д244А Д244Б	10 А 10 » 5 » 10 » 10 » 5 » 10 » 10 » 5 »	3 мА	100 200 200 200 50 50 50	1,25 1,0 1,5 1,25 1,0 1,5 1,25 1,0 1,5	—	-60+ +130	21,5	42

Тип диода	Допустимый выпрямленный ток (среднее значение) / выпр. доп.	Обратный ток (среднее значение) / обр. ср.	Допустимое обратное рабочее напряжение $U_{обр. доп.}$ В	Прямое напряжение $U_{пр.}$ В	Долговечность, ч	Интервал рабочих температур, °С	Габариты, мм	
							диаметр	длина
Д245	10 А	—	300	1,25	—	—		
Д245А	10 »	—	300	1,0	—	—		
Д245Б	5 »	—	300	1,5	—	—		
Д246	10 »	—	400	1,25	—	—60 ÷ +130	21,5	42
Д246А	10 »	—	400	1,0	—	—60 ÷ +130	21,5	42
Д246Б	5 »	—	400	1,5	—	—60 ÷ +130	21,5	42
Д247	10 »	—	500	1,25	—	—60 ÷ +130	21,5	42
Д247А	5 »	—	500	1,5	—	—60 ÷ +130	21,5	42
Д247Б	5 »	—	600	1,5	—	—60 ÷ +130	21,5	42
КД102	100 мА	0,1 мкА	250	1,2	—	—60 ÷ +120	2,7	3,2
КД202В	(4500)**		100					
КД202Г	(3000)	1 мА	100	1	—	—60 ÷ +125	13	26
КД202Д	(4500)		200					
КД202Е	(3000)		200					
КД202Ж	(4500)		350					
КД202И	(3000)		300					
КД202К	(4500)		400					
КД202Л	(3000)		400					
КД202М	(4500)		500					
КД202Н	(3000)		500					
КД202Р	(4500)		600					
КД202С	(3000)		600					

\* Габариты указаны без длины гибких выводов (20—25 мм каждый).

\*\* Для КД202В+КД202С число в скобках — величина  $I_{выпр. доп}$  с радиатором; без охлаждающего радиатора  $I_{выпр. доп} = 1500$  мА.

**Выпрямительные столбы**, выпускаемые для выпрямления напряжений и больших токов, работают при естественном или индивидуальном (водяном, воздушном) охлаждении. Внутри столбов диоды соединяют в различные схемы выпрямления (рис. 26, а, б, в). Столбы заключают в прямоугольный корпус, залитый эпоксидной смолой (рис. 26, г). Столбы могут соединяться в блоки. Основные параметры выпрямительных столбов блоков приведены в табл. 32.

### Диоды универсального назначения

Диодами универсального назначения являются германиевые и кремниевые диоды, обычно точечные, которые могут работать в

широком диапазоне частот, включая ВЧ. Основные параметры таких диодов приведены в табл. 33.

### Импульсные диоды

Импульсные диоды используют для работы в качестве ключевых элементов в схемах с малыми длительностями импульсов (мкс, доли мкс).

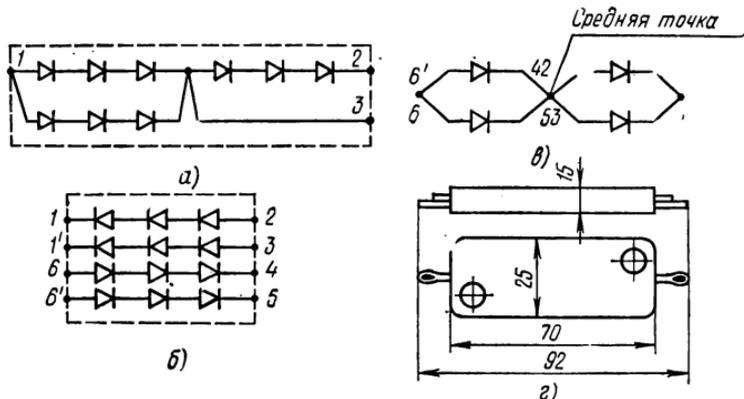


Рис. 26. Выпрямительные столбы:

*a* — блок КЦ401А, *б* — блок КЦ401А (однополупериодная схема), *в* — блок КЦ401В (удвоитель напряжения), *г* — габаритный чертеж выпрямительного столба Д1009

Кроме основных для всех диодов параметров, их работу определяют дополнительно:

значения прямого напряжения  $U_{пр-и}$  и прямого тока  $I_{пр-и}$  в импульсе;

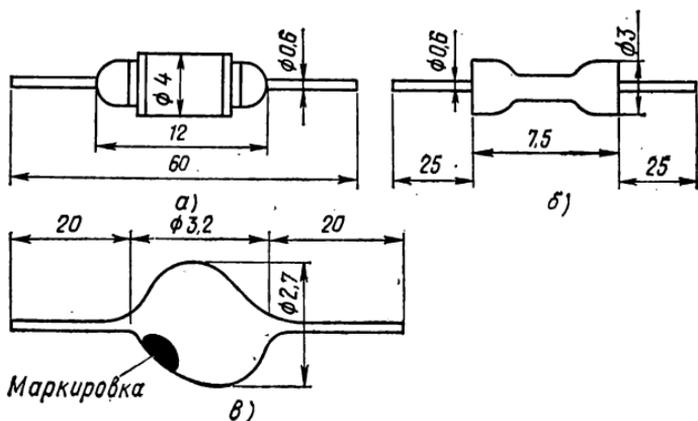


Рис. 27. Габаритные чертежи импульсных диодов:

*a* — Д219А—Д220Б, *Г, б* — ГД507, КД503А, КД503Б, *в* — КД103А, КД103Б

емкость диода  $C$ ;

время восстановления  $\tau_{восст}$ , которое характеризует инертность процессов включения и выключения.

Таблица 32

Тип выпрямительного столба блока	Допустимый выпрямленный ток (среднее значение) / выпр. доп. МА	Обратный ток (среднее значение) / обр. ср. мкА	Допустимое обратное напряжение (рабочее) / доп. обр. В	Прямое напряжение / пр. В	Долговечность, ч	Интервал рабочих температур, °С	Габариты, мм*
Д1004	100		2000	6,0	5000	-40 ÷ +100	∅18 × 57
Д1005А	50		4000	6,0			
Д1005Б	100	100	4000	11,0			
Д1006	100		6000	11,0			
Д1007	75		8000	11,0			
Д1008	50		10000	11,0			
Д1009	100	100	2000	4,0			5000
Д1009А	100		1000	3,0	25 × 92 × 15		
Д1010	300		2000	8,0	30 × 132 × 15		
Д1010А	300		1000	5,0	30 × 132 × 15		
Д1011А	30		500	2,5	25 × 92 × 15		
КЦ401А	I—400, II—400 (500)	100	500	2,5	10 000	-55 ÷ +60	30 × 132 × 15
КЦ401Б	I—300, II—400 (500)						50 × 90 × 15

\* Габариты указаны без длины гладких выводов (20—25 мм каждый).

Примечание. Для блоков КЦ401А, КЦ401Б средний ток  $I_{\text{выпр. ср}}$  приведен для схем удвоителя напряжения: I — первое плечо, II — второе плечо, в скобках — схема моста.

В зависимости от величины времени восстановления импульсные диоды разделяют на группы: обычные — миллисекундные ( $\tau_{\text{восст}} > 0,1$  мс); скоростные — микросекундные ( $\tau_{\text{восст}} = 0,1$  мс ÷ 0,1 мкс); сверхскоростные — наносекундные ( $\tau_{\text{восст}} < 0,1$  мкс).

Габаритный чертеж импульсных диодов, имеющих только букву Д в первом элементе обозначения, показан на рис. 27, а. Типы диодов обозначают маркировкой на корпусе: для диодов Д220 (А, Б) — желтая точка, для Д219А — красная; для всех типов анод указывают красной точкой. Кроме того, обычно на корпусе диода изображают номер, указывающий тип диода. Габаритные чертежи диодов, имеющих две буквы в первом элементе обозначения, показаны на рис. 27, б, в. Основные параметры импульсных диодов приведены в табл. 34.

Таблица 33

Тип диода универсального назначения	Прямой ток $I_{пр}$ , мА (при $U_{пр} = 1В$ )	Допустимый выпрямленный ток / выпр. доп. мА /	Допустимое обратное напряжение $U_{обр}$ , доп. В (при $t = 20^\circ C$ )	Обратный ток $I_{обр}$ , мА (при $U_{обр}$ , В)	Переходная емкость Спер, пФ	Максимальная рабочая частота **, Гц
<b>Германиевые диоды (диапазон рабочих температур от <math>-60</math> до <math>+70^\circ C</math>)</b>						
Д1А	2,5	16	20	250(10)	1	150
Д1Б	1,0	16	30	250(25)		
Д1В	7,5	25	30	250(25)		
Д1Г	5,0	16	50	250(50)		
Д1Д	2,5	16	75	250(75)		
Д1Е	1,0	12	100	250(100)		
Д1Ж	5,0	12	100	250(100)		
Д2А	50,0	50	10	250(7)	1	150
Д2Б	5,0—10,0	16	30	100(10)		
Д2В	9,0	25	40	250(30)		
Д2Г	2,0—5,5	16	75	250(50)		
Д2Д	4,5—10,0	16	75	250(50)		
Д2Е	4,5—10,0	16	100	250(100)		
Д2Ж	2,0—10,0	8	150	250(150)		
Д2И	2,0—5,5	16	100	250(100)		
Д9А	10,0	25	10	250(10)	1—2	40
Д9Б	90,0	40	10	250(10)		
Д9В	10,0	20	30	250(30)		
Д9Г	30,0	30	30	250(30)		
Д9Д	60,0	30	30	250(30)		
Д9Е	30,0	20	50	250(50)		
Д9Ж	10,0	15	100	250(100)		
Д9И	30,0	30	30	120(30)		
Д9К	60,0	30	30	60(30)		
Д9Л	30,0	15	100	250(100)		
Д11	100,0	20	30	250(30)	1	150
Д12	50,0		50	250(50)		
Д12А	100,0		50	250(50)		
Д13	100,0		75	250(75)		
Д14	30,0		100	250(100)		
Д14А	100,0		100	250(100)		

Тип диода универсального назначения	Прямой ток $I_{пр}$ , мА (при $U_{пр} = 1 В$ )	Допустимый выпрямленный ток $I_{выпр}$ , доп. мА	Допустимое обратное напряжение $U_{обр}$ , доп. В (при $t = 20^\circ C$ )	Обратный ток $I_{обр}$ , мА (при $U_{обр} = В$ )	Переходная емкость $C_{пер}$ , пФ	Максимальная рабочая частота $f_{макс}$ , Гц
-------------------------------------	--	--	---	--	-----------------------------------	--

**Кремниевые диоды** — диапазон рабочих температур от  $-60$  до  $+150^\circ C$ ; для диодов Д107, Д107А, Д108, Д109 — от  $-60$  до  $+125^\circ C$

Д101	2***		100	10(75)		
Д101А	1		100	10(75)		
Д102	2***	30	75	10(75)	0,5	200
Д102А	1		75	10(75)		
Д103	2***		30	30(30)		
Д103А	1		30	30(30)		
Д104	2***	30	100	10(75)	0,6	600
Д104А	1		100	10(75)		
Д105	2***		75	10(50)		
Д105А	1		75	10(50)		
Д106	2***		30	30(30)		
Д106А	1	30	30(30)			
Д107	10	3	10	1(10)	—	20
Д107А	10		10	1(10)		
Д108	10		30	1(50)		
Д109	10		50	0,1(10)		

\* В скобках даны значения  $U_{обр}$ , В, которым соответствуют указанные значения  $I_{обр}$ , мА.

\*\* Максимальная рабочая частота  $f_{макс}$  — частота, при превышении которой потери значительно возрастают.

\*\*\* При  $U_{пр} = 2 В$ .

### Варикапы

Варикап — плоскостной полупроводниковый диод, в котором емкость изменяется в зависимости от приложенного напряжения; варикапы широко применяют при настройке колебательных контуров. Кроме параметров, общих для всех диодов, свойства варикапов характеризуются величинами:

напряжение смещения  $U_{см}$ ;

номинальная емкость  $C_{ном}$  — емкость, измеренная при напряжении смещения, обычно равном 4 В, и на частоте, при которой производится классификация (порядка 50 МГц), при температуре  $20^\circ C$ ;

наименьшая емкость  $C_{наим}$  — емкость при наибольшем напряжении смещения;

Таблица 34

Тип импульсного диода	Прямой ток, мА		Обратный ток $I_{обр. мкА}$	Обратное допустимое напряжение $U_{обр. доп. В}$	Прямое напряжение, В		Время восстановления $t_{восст. мкс}$	Емкость диода $C, пФ$	Долговечность, ч	Температура рабочих тем- ператур, $^{\circ}C$	Габариты*, мм	
	среднее выпрямлен- ное значение $I_{выпр. ср}$	в импульсе $I_{пр. и}$			постоянное $U_{пр}$	в импульсе $U_{пр. и}$					Диаметр	Длина
Д18	16	50	50	20	1,0	5	0,1	0,5	5000	-40 ÷ +60	4	12
		—	100		—							
Д219А, Д220 Д220А Д22Б	50	—	1	70	1,0	2,5	0,5	15,0	5000	-55 ÷ +100	4	12
				50	1,5	3,75						
				70	1,5	3,75						
				100	1,5	3,75						
Д310	500	—	2	20	0,55	—	0,5	10 000	-55 ÷ +60	4	12	

Д311 Д311А Д311Б	40	500	100	30	0,4	1,25	1,5	10 000	—40÷+60	4	12
	80	600			0,4	1,0	0,05				
	20	250			0,5	1,5	2,0				
Д312 Д312А Д312Б	50	—	100	100 75 100	0,5	—	0,5	5000	—40÷+60	4	12
							0,5				
							0,7				
ГД507А	16	100	50	20	0,5	—	0,1	—	—40÷+60	3	7,5
КД103А КД103Б	100	2000	1	50	1,0 1,2	5,0	4,0	—	—55÷+100	2,7	3,2
							20,0				
КД503А КД503Б	20	200	10	30	1,0 1,2	2,5 3,5	0,01	5000	—40÷+70	3	7,5
							5,0 2,5				

\* Габариты диодов указаны без длины гибких выводов (20—25 мм каждый).  
Примечание. Значения  $I_{пр}$  и  $U_{пр}$  приведены при длительности импульса не более 10 мкс.

коэффициент перекрытия по емкости  $K_C$  — отношение номинальной емкости  $C_{ном}$  к наименьшей емкости  $C_{наим}$ ;

ТКЕ — температурный коэффициент емкости — параметр, характеризующий стабильность емкости варикапа в зависимости от температуры;

номинальная добротность  $Q_{ном}$  — отношение реактивного сопротивления варикапа к полному сопротивлению потерь, измеренных при

Таблица 35

Тип варикапа	Номинальная емкость $C_{ном}$ , пФ	Коэффициент перекрытия по емкости $K_C$	Номинальная добротность $Q_{ном}$	Допустимая мощность рассеяния $P_{расс. доп.}$ , Вт	ТКЕ, 1/град	Долговечность, ч	Интервал рабочих температур, °С	Габариты, мм	
								диаметр	длина
Д901А	22—32	4	25	250	500—10	5000	-55 ÷ +85	5,5	12
Д901Б	22—32	3	30						
Д901В	28—38	4	24						
Д901Г	28—38	3	30						
Д901Д	34—44	4	25						
Д901Е	34—44	3	30						
Д902	6—12	—	30	—	—	—	-40 ÷ +100	4,0	12

\* Величина  $P_{расс. доп}$  приведена при температуре не более 25°С; при более высокой температуре она уменьшается на 2 мВт на каждый градус.

напряжении смещения, равном 4 В, на частоте, при которой производится классификация, при температуре 20°С. Добротность варикапа при температуре  $t$ , отличной от 20°С, рассчитывают по формуле

$$Q(t) = Q_{ном} - \frac{0,6(t - 20)}{100} Q_{ном}$$

Основные параметры варикапов приведены в табл. 35, а условное изображение и габаритный чертеж — на рис. 28.

### Стабилитроны (опорные диоды)

Стабилитрон — полупроводниковый диод, принцип действия которого основан на использовании явления лавинного пробоя. Он обеспечивает постоянное напряжение (напряжение стабилизации) независимо от величины протекающего через диод тока. Стабилитроны используют в схемах, требующих стабилизированного

напряжения. Их изготавливают на основе кристаллов кремния с проводимостью  $n$ -типа: стабилитроны общего назначения — путем сплавления алюминия в кристалл кремния; высокостабильные прецизионные стабилитроны — диффузионно-сплавными методами, позволяющими получить три последовательно включенных  $p-n$ -пере-

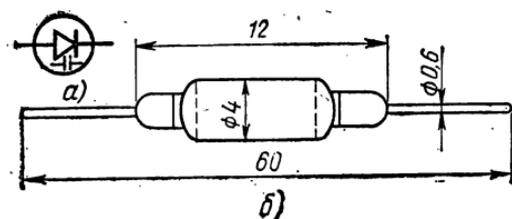


Рис. 28. Варикап:

$a$  — условное обозначение,  $b$  — габаритный чертеж варикапа Д902

хода, один из которых (основной) включен в обратном направлении, а два (термокомпенсирующих) — в прямом. Условное обозначение стабилитрона приведено на рис. 29,  $a$ .

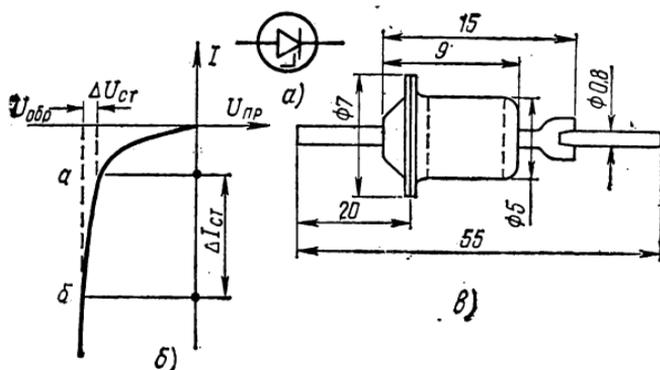


Рис 29. Стабилитрон:

$a$  — условное обозначение,  $b$  — типовая вольтамперная характеристика,  $c$  — габаритный чертеж типов Д814А—Д814Д, КС133А, КС139А, КС147А

Стабилитроны характеризуются в основном следующими параметрами:

*область стабилизации* — рабочая область вольтамперной характеристики стабилитрона, в которой большому изменению тока стабилизации  $\Delta I_{ст}$  соответствует малое изменение напряжения стабилизации  $\Delta U_{ст}$  (рис. 29,  $b$ , участок  $a-b$ );

*напряжение стабилизации*  $U_{ст}$  — напряжение на стабилитроне в области стабилизации;

*ток стабилизации*  $I_{ст}$  — ток, протекающий через стабилитрон в области стабилизации;

*ТКН* — температурный коэффициент напряжения — параметр, характеризующий стабильность напряжения стабилитрона в зависимости от температуры;

динамическое сопротивление диода  $R_d$  — определяется по формуле  $R_d = \frac{\Delta U_{ст}}{\Delta I_{ст}}$ , где  $\Delta U_{ст}$  — изменение напряжения  $U_{ст}$  на участке стабилизации,  $\Delta I_{ст}$  — изменение тока  $I_{ст}$  на участке стабилизации, соответствующее изменению напряжения  $U_{ст}$ ;

*габариты; долговечность; интервал рабочих температур.*

Основные параметры стабилитронов приведены в табл. 36, габаритный чертеж некоторых типов — на рис. 29, в. Все приведенные типы стабилитронов работают в интервале температур от  $-55$  до  $+100^\circ\text{C}$  и имеют срок службы (долговечность) не менее 5000 ч.

### Туннельные диоды

Туннельный диод — полупроводниковый прибор, принцип действия которого основан на использовании туннельного эффекта.

Туннельные диоды широко применяют для усиления и генерирования колебаний в различных схемах (в том числе в схемах СВЧ) и в быстродействующих импульсных переключающих схемах. Туннельный эффект возникает при контакте полупроводников, обладающих высокой концентрацией примесей (они называются «вырожденными» полупроводниками), и выражается в том, что при достаточно высокой напряженности поля в  $p$ - $n$ -переходе электроны могут переходить из зоны  $n$ -проводимости в зону  $p$ -проводимости без изменения величины энергии. Условное обозначение туннельного диода приведено на рис. 30, а.

Типовая вольтамперная характеристика туннельного диода показана на рис. 30, в. На участке  $O$ — $a$  с ростом напряжения растет прямой ток диода, обусловленный прямым туннельным током. На участке  $a$ — $b$  ток уменьшается за счет постепенного прекращения туннельных переходов; на этом участке внутреннее сопротивление диода отрицательно, что позволяет использовать диоды для генерирования и усиления колебаний. На участке  $b$ — $в$  прямой ток диода начинает возрастать в результате роста тока, обусловленного обычными переходами носителей.

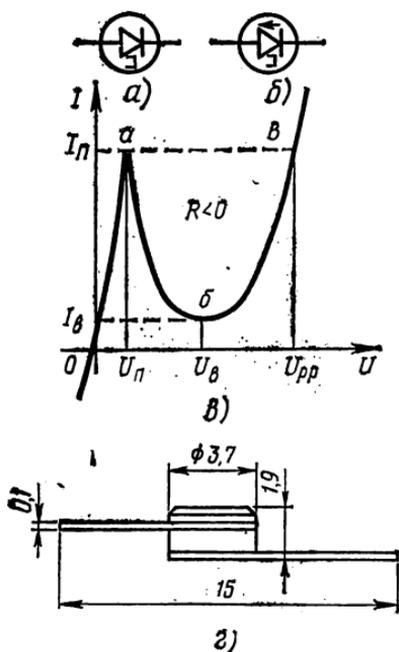


Рис. 30. Туннельный диод:

$a$  — условное обозначение туннельного диода,  $b$  — условное обозначение обращенного диода,  $в$  — типовая вольтамперная характеристика,  $г$  — габаритный чертеж типов ГИ304А, ГИ304Б, ГИ305А, ГИ305Б

Поскольку принцип действия туннельных диодов не связан с накоплением зарядов, они являются практически безынерционными

Таблица 36

Тип стабилизатора	Напряжение стабилизации $U_{ст}$ , В	ТКН, %/град	Ток стабилизации, мА		Динамическое сопротивление $R_d$ , Ом	Максимальная мощность (при $t=20^\circ\text{C}$ ), Вт $P_{\text{макс}}$	Габариты*, мм	
			$I_{\text{ст. макс}}$	$I_{\text{ст. мин}}$			диаметр	длина
КС156А	5,6	0,05	55		28—46	0,30	7	15
КС168А	6,8	0,06	45	3	10—28			
Д808	7—8,5	1,00	33	8	6	0,28	7	15
Д809	8—9,5		29	7,5	10			
Д810	9—10,5		26	6,5	12			
Д811	10—12		23	6	15			
Д813	11,5—14		20	5	18			
Д814А	7—8,5	0,07	40		6	0,34	7	15
Д814Б	8—9,5	0,08	36		10			
Д814В	9—10,5	0,09	32	3	12			
Д814Г	10—12	0,095	29		15			
Д814Д	11,5—14	0,095	24		18			
Д815А	5,6	0,056	1400	50	0,9	8,00	13	37
Д816Б	22	0,15	230	10	10	5,00		
Д817А	56	0,18	90	5	60	5,00		
КС620А (П)**	120	0,20	42	5	150	5,00	13	37
КС630 (П)	130		38	5	180			
КС650А (П)	150		33	2,5	250			
КС680А (П)	180		28	2,5	330			
Д818А	9—11,25	+0,02	33	3	25	0,30	7	15
Д818Б	6,75—9	-0,02						
Д818В	7,2—10,8	$\pm 0,01$						
Д818Г	7,45—10,35	$\pm 0,02$						
КС133А	3—3,7	—	81		65	0,30	7	15
КС139	3,5—4,3		70	3	60			
КС147А	4,1—5,2		78		56			

\* Габариты приведены без длины гибких выводов.

\*\* Стабилизаторы с буквой П в третьем элементе обозначения, например КС620 (П), имеют обратную полярность выводов по отношению к соответствующей основной разработке (в данном случае к КС620А).

Таблица 37

Тип туннельного диода	Ток пика $I_{п}$ , мА	Отношение $I_{п}/I_{в}$	Напряжение пика $U_{п}$ , мВ	Напряжение расщепления $U_{рр}$ , мВ	Емкость диода $C_{пф}$	Интервал рабочих температур, °С	Габариты, мм	
							диаметр	длина
ГИ304А	4,5—5,1	5	75	440	20	-60+ +70	3,7	17
ГИ304Б	4,9—5,5							
ГИ305А	9,1—10,0	5	85	450	30		3,7	15
ГИ305Б	9,8—11,0							
АИ101А	1±0,25	5	0,16	—	4	-60+ +85	4	17
АИ101Б	1±0,25	5	0,16		2—8			
АИ101В	2±0,3	6	0,16		5			
АИ101Д	2±0,3	6	0,16		2,5—10			
АИ101Е	5±0,5	6	0,18		8			
АИ101И	5±0,5	6	0,18		4,5—13			
АИ201А	10±1	10	0,18	—	8	-60+ +85	4	17
АИ201Б	10±1		0,18		15			
АИ201В	20±2		0,20		10			
АИ201Е	20±2		0,20		20			
АИ201Ж	50±5		0,26		15			
АИ201И	50±5		0,26		30			
АИ201К	100±10		0,33		20			
АИ201Л	100±10		0,33		50			
АИ301А	2	8	0,18	0,85—1,15 1,0—1,3	12	-60÷+70	4	17
АИ301Б	5				25			
АИ301В	5				25			
АИ301Г	10				50			

приборами, что позволяет широко использовать их для работы на высоких частотах и в импульсных переключающих схемах с малым временем переключения (единицы наносекунд).

Разновидностью туннельных диодов являются «обращенные» диоды, в которых пропускному направлению соответствует обратная ветвь вольтамперной характеристики, а непропускному — прямая. Обращенные диоды работают на более высоких частотах, чем обычные туннельные, и используются обычно для детектирования слабых сигналов. Условное обозначение обращенных диодов приведено на рис. 30, б.

Кроме общих для всех диодов параметров, туннельные диоды характеризуются величинами:

ток пика  $I_{п}$  — прямой ток в точке максимума вольтамперной характеристики;

ток впадины  $I_B$  — прямой ток в точке минимума вольтамперной характеристики;  
 напряжение пика  $U_{II}$  — прямое напряжение на диоде при токе  $I_{II}$ ;  
 напряжение впадины  $U_B$  — прямое напряжение на диоде при токе  $I_B$ ;  
 напряжение раствора  $U_{pp}$  — прямое напряжение на второй восходящей ветви вольтамперной характеристики при токе  $I_{II}$ ;  
 емкость диода  $C$  — суммарная емкость перехода и корпуса диода.

Основные параметры туннельных диодов приведены в табл. 37, а габаритный чертеж некоторых типов — на рис. 30, з.

Обращенные диоды, например ГИ401А и ГИ401Б, имеют следующие основные параметры: прямой ток  $I_{пр} = 0,3 \div 0,5$  мА, напряжения  $U_{пр} = 330$  мВ и  $U_{обр} = 90$  мВ, емкость  $C = 2,5$  пФ, габариты  $4,7 \times 18$  мм; диоды работают в диапазоне  $(-55 \div +70^\circ \text{C})$ .

## § 17. Транзисторы

Транзистор — полупроводниковый трехэлектродный прибор, предназначенный для усиления, генерирования или преобразования электрических сигналов. Он представляет собой кристалл с трехслойной структурой  $p-n-p$  или  $n-p-n$ , помещенный в гер-

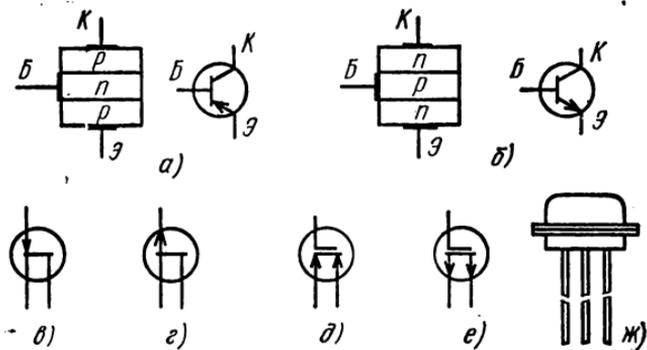


Рис. 31. Транзистор:

а — структура и условное обозначение  $p-n-p$ -типа, б — структура и условное обозначение  $n-p-n$ -типа, в — полевой с базой  $n$ -типа, г — полевой с базой  $p$ -типа, д — полевой с изолированным затвором и с базой  $n$ -типа, е — полевой с изолированным затвором и с базой  $p$ -типа, ж — внешний вид

метичный корпус с тремя выводами, связанными с тремя областями кристалла. Крайние области называются эмиттером и коллектором, средняя — базой.

Физические процессы в  $p-n-p$  и  $n-p-n$  транзисторах аналогичны. Разница заключается лишь в том, что при одинаковых рабочих режимах напряжения на одноименных электродах имеют противоположную полярность (отрицательное на коллекторе для транзисторов типа  $p-n-p$ , положительное — для типа  $n-p-n$ ) и ток в базах переносится носителями заряда противоположного знака (в транзисторах типа  $p-n-p$  — дырками, типа

$n - p - n$  — электронами). Такие транзисторы называются биполярными, поскольку в них ток переносится носителями обоих типов — основными и неосновными. Существуют также униполярные транзисторы, в которых процесс переноса тока осуществляется только одним типом носителей — основными для данного полупроводника. Такие транзисторы называются полевыми. Структуры и условные обозначения транзисторов различных типов показаны на рис. 31,  $a - e$ , внешний вид — на рис. 31,  $ж$ .

Таблица 38

Схема включения (см. рис. 33)	Параметры			
	входное сопротивление $r_{вх}$	коэффициент усиления каскада по току $K_i$	коэффициент усиления каскада по напряжению $K_U$	коэффициент усиления по мощности $K_P$
Рис. 33, $a$	$r_э + r_б(1 - \alpha)$	$\alpha$	$\frac{\alpha R_H}{r_э + r_б(1 - \alpha)}$	$\frac{\alpha^2 R_H}{r_э + r_б(1 - \alpha)}$
Рис. 33, $б$	$r_б + \frac{r_э}{1 - \alpha}$	$\beta = \frac{-\alpha}{1 + \alpha}$	$\frac{-\alpha R_H}{r_э + r_б(1 - \alpha)}$	$\frac{\alpha^2 R_H}{(1 + \alpha)[r_э + r_б(1 - \alpha)]}$
Рис. 33, $в$	$\frac{r_э}{1 - \alpha} + r_б$	$\frac{-1}{1 + \alpha}$	1	$\frac{-1}{1 + \alpha}$

В зависимости от напряжения на переходах различают несколько режимов работы транзисторов: активный (переход эмиттер-база открыт, коллектор-база закрыт), отсечки (оба перехода закрыты), насыщения (оба перехода открыты), инверсный (переход эмиттер-база закрыт, коллектор-база открыт).

Существует три схемы включения транзисторов: с общей базой (ОБ), с общим эмиттером (ОЭ), с общим коллектором (ОК). Некоторые основные параметры, характеризующие каждую из схем включения в зависимости от значений сопротивления нагрузки  $r_n$  и внутренних сопротивлений транзистора  $r_э$  и  $r_б$ , приведены в табл. 38. Типовые совмещенные характеристики транзистора при включении по схеме ОЭ приведены на рис. 32: входная — зависимость  $U_б$  от  $I_б$ , управляющая — зависимость  $I_к$  от  $I_б$ , семейство входных характеристик  $I_к = f(U_к)$  и семейство переходных характеристик  $U_б = f(U_к)$ .

Схемы включения ОК и ОЭ характеризуются наибольшим усилением по току, ОЭ и ОБ — по напряжению, ОЭ — по мощности.

Транзистор, включенный по любой из рассмотренных схем, может быть представлен в виде четырехполюсника (рис. 33), описываемого системой  $h$ -параметров и устанавливающего связь между входными и выходными напряжениями и токами  $I_1, U_1, I_2, U_2$ :

$$U_1 = h_{11}I_1 + h_{12}U_2; \quad I_2 = h_{21}I_1 + h_{22}U_2.$$

При режиме короткого замыкания по переменному току на выходе ( $U_2=0$ ) или холостого хода на входе ( $I_1=0$ ) имеем:

$h_{11}$  — входное сопротивление — отношение изменения напряжения на входе к вызванному им изменению входного тока (при  $U_2=0$ ),  $h_{11}=\Delta U_1/\Delta I_1$ ;

$h_{12}$  — коэффициент обратной связи по напряжению (безразмерная величина) — отношение изменения напряжения на входе к вызванному им изменению напряжения на выходе (при  $I_1=0$ ),  $h_{12}=\Delta U_1/\Delta U_2$ ;

$h_{22}$  — выходная проводимость — отношение изменения выходного тока к вызвавшему его изменению выходного напряжения (при  $I_1=0$ ),  $h_{22}=\Delta I_2/\Delta U_2$ ;

$h_{21}$  — коэффициент усиления по току (безразмерная величина) — отношение изменения выходного тока к вызвавшему его изменению входного тока (при  $U_2=0$ ),  $h_{21}=\Delta I_2/\Delta I_1$ .

В зависимости от схемы включения к цифровым индексам  $h$ -параметров добавляются буквенные, например  $h_{216}$  — коэффициент усиления по току в схеме ОБ,  $h_{219}$  — коэффициент усиления по току в схеме ОЭ и т. д.

Применяют и другие символы для обозначения коэффициента усиления по току: для схемы ОБ —  $\alpha$ , для схемы ОЭ —  $\beta$ . Они связаны соотношениями:

$$\alpha = +h_{216}, \quad \beta = \frac{-\alpha}{1+\alpha} = -\frac{h_{216}}{1+h_{216}}. \quad \text{Знак}$$

«—» в выражениях для  $\alpha$  и  $\beta$  получен из физических представлений о параметрах четырехполюсника без учета реальных фазовых соотношений.

С увеличением рабочей частоты усилительные свойства транзисторов уменьшаются. Предельные частотные возможности транзисторов характеризуются: *граничной частотой передачи тока*  $f_T$  — частотой, на которой коэффициент усиления по току падает до 0,7 своего значения на низкой частоте; *максимальной частотой генерации*  $f_m$  — максимальной частотой автоколебаний в генераторе, собранном на транзисторе. Быстродействие транзисторов в режиме переключения от насыщения к отсечке характеризуется *временем рассасывания*  $\tau_r$ .

Следующая группа параметров характеризует максимальные допустимые электрические и тепловые режимы, в которых могут использоваться транзисторы:

*ток коллектора* — постоянный  $I_K$  и импульсный  $I_{ки}$ ;

*ток базы*  $I_6$ ;

*напряжение коллектор-эмиттер* при включенном в цепь база-эмиттер сопротивлении  $U_{кэR}$ ;

*напряжение эмиттер-база* при отключенном коллекторе  $U_{эб0}$ ;

*напряжение коллектор-база* при отключенном эмиттере  $U_{кб0}$ ;

*мощность рассеяния на коллекторе*  $P_K$ ;

*тепловое сопротивление между переходом и корпусом*  $R_{кп}$ ; *диапазон рабочих температур*; габариты и др.

К основным параметрам полевых транзисторов относятся:

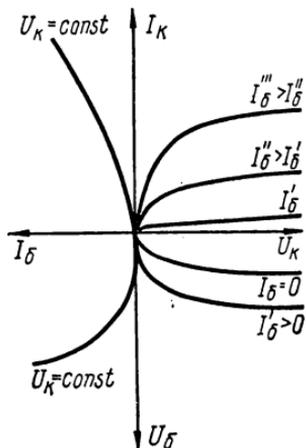


Рис. 32. Типовые совмещенные характеристики транзистора при включении по схеме ОЭ

напряжение отсечки  $U_0$  — величина приложенного к затвору напряжения, при котором перекрывается сечение канала;  
 максимальный ток стока  $I_{с.макс}$ ;  
 напряжения между затвором и стоком  $U_{зс}$ , между стоком и истоком  $U_{си}$  и между затвором и истоком  $U_{зи}$ ;  
 емкости: входная  $C_{вх}$ , проходная  $C_{пр}$  и выходная  $C_{вых}$ .

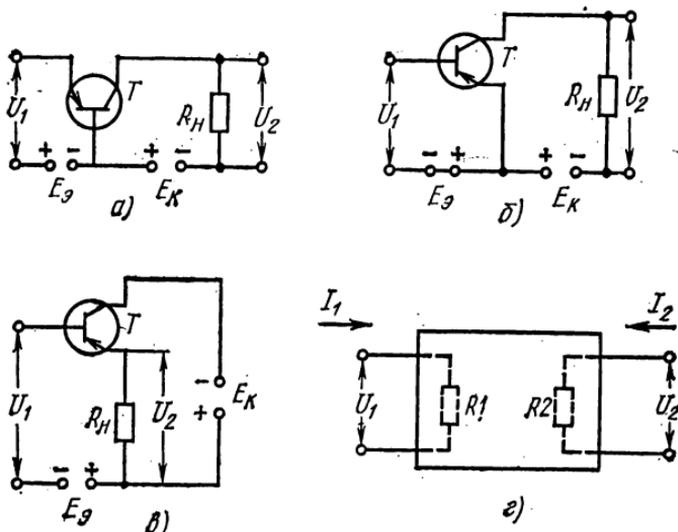


Рис. 33. Схемы включения транзисторов (а — в) и изображение транзистора в виде четырехполюсника (г):  
 а — схема с общей базой ОБ, б — схема с общим эмиттером ОЭ,  
 в — схема с общим коллектором ОК, г — транзистор в виде четырехполюсника

Транзисторы можно классифицировать по различным признакам:

по диапазону рабочих частот — низкочастотные (до 3 МГц), среднечастотные (3—30 МГц), высокочастотные (выше 30 МГц);  
 по допустимой мощности рассеяния — маломощные (до 0,3 Вт), средней мощности (0,3—1,5 Вт), мощные (выше 1,5 Вт).

В табл. 39—43 приведены основные параметры транзисторов, получивших широкое распространение: в табл. 39 — параметры маломощных транзисторов, работающих на низких и средних частотах, в табл. 40 — параметры маломощных высокочастотных транзисторов, в табл. 41 — параметры низкочастотных транзисторов средней и большой мощности, в табл. 42 — параметры транзисторов средней и большой мощности, работающих на средних и высоких частотах, в табл. 43 — параметры полевых транзисторов.

Во всех таблицах рядом со значениями параметров  $U_{кэБ}$  в скобках приведено максимальное значение величины сопротивления в цепи база-эмиттер  $R_б$ , кОм, при котором гарантируется значение  $U_{кэБ}$ ; если данные по  $R_б$  отсутствуют, то значение  $U_{кэБ}$  гарантируется даже при «оторванной» базе. Цоколевка транзисторов показана на рис. 34.

Таблица 39

Тип транзистора	Параметры при 20 °С		Максимально допустимые данные при 20 °С						Диапазон рабочих температур, °С	Геометрические характеристики		
	коэффициент усиления по току $\beta$	границная частота передачи тока $f_T$ (не менее), МГц	постоянный ток коллектора $I_{К. МА}$	импульсный ток коллектора $I_{К. МА}$	напряжение коллектор-эмиттер при включенном коллекторе * $U_{КЭ}$ , В	напряжение эмиттер-база при открытом коллекторе $U_{ЭБ}$ , В	напряжение коллектор-база при открытом эмиттере $U_{КЭ}$ , В	мощность, рассеиваемая на коллекторе, $P_{К}$ мВт		высота, мм	диаметр, мм	цоколевка (см. рис. 34)
МП20А	50—150	2,0	—	—	20	—	30	—55 ÷ +60	8	11,7	Рис. 34, а	
МП20Б	80—100	1,5	—	300	20	—	30					
МП20В	20—100	1,5	—	300	20	—	30					
МП21Г	20—80	1,0	—	300	35	—	40					
МП21Д	60—200	1,0	—	300	30	—	60					
МП21Е	30—150	0,7	—	300	35	—	70					
МП25	13—25	0,2	—	300	—	—	40	—55 ÷ +60	8	11,7	Рис. 34, а	
МП25А	20—40	0,2	—	400	—	—	40					
МП25Б	30—80	0,5	—	400	—	—	40					
МП26	13—25	0,2	—	300	—	—	70					
МП26А	20—40	0,2	—	400	—	—	70					
МП26Б	30—80	0,5	—	400	—	—	70					
П27	20—100	1,0	—	—	—	—	5					
П27А	20—170	1,0	6	—	5 (0,5)	—	—					
П28	20—200	5,0	—	—	—	—	—					

Тип транзистора	Параметры при 20°С		Максимально допустимые данные при 20°С						Геометрические характеристики		
	коэффициент усиления по току $\beta$	граничная частота передачи тока $f_T$ (не менее), МГц	постоянный ток коллектора /к, мА	импульсный ток коллектора /ки, мА	напряжение коллектор-эмиттер при включенном сопротивлении в цепи база-эмиттер * $U_{кэР}$ , В	напряжение эмиттер-база при открытом коллекторе $U_{э60}$ , В	напряжение коллектор-база при открытом эмиттере $U_{к60}$ , В	мощность, рассеиваемая на коллекторе, $P_k$ мВт	Диапазон рабочих температур, °С	высота, мм	диаметр, мм
МП35 *	10—125	0,5	20	150	—	—	15	—55 ± ÷ 60	8	11,7	Рис. 34, а
МП36А	15—45	1,0		15			15				
МП37	15—30	1,0		15			15				
МП37А	15—30	1,0		30			30				
МП37Б	25—50	1,0		15			15				
МП38	25—55	2,0		15			15				
МП38А	45—100	2,0		15			15				
МП39	Больше 12	0,5	—	150	5	15	150	—20 ± ÷ 60	8	11,7	Рис. 34, а
МП39Б	20—60	0,5				15					
МП40	20—40	1,0				15					
МП40А	20—40	1,0				30					
МП41	30—60	1,0				15					
МП41А	50—100	1,0				15					

МП42 МП42А МП42Б	20—35	1,0	—	150	15 (3)	—	15	200	—60÷+70	8	11,7	Рис. 34, а											
	30—50	1,0																					
	45—100	1,0																					
ГТ108А ГТ108Б ГТ108В ГТ108Г	20—50	0,5	50	—	—	—	10	75	—20÷+55	4	7,4	Рис. 34, г											
	35—80	1,0																					
	60—130	1,0																					
	110—250	1,0																					
ГТ109А ГТ109Б ГТ109В ГТ109Г ГТ109Д ГТ109Е ГТ109Ж ГТ109И	20—50	1,0	20	—	6 (10)	—	10	30	—20÷+55	2,5	3,4	Рис. 34, к											
	35—80	1,0																					
	60—130	1,0																					
	110—250	1,0																					
	20—70	3,0																					
	50—100	5,0																					
	Больше 100	—																					
	20—80	1,0																					
	МП111 * МП111А МП112 МП113 МП113А	10—25											0,5	20	100	20	5	20	150	—55÷+100	8	12,5	Рис. 34, а
		10—30											0,5										
15—45		0,5																					
15—45		1,0																					
35—105		1,2																					
Больше 9		0,1																					
МП114 МП115 МП116	9—45	0,1	10	50	30 (2)	10	—	150	—55÷+100	8	11,7	Рис. 34, а											
	15—100	0,5																					
	20—50	5																					
П29 П29А П30	40—100	5	—	100	—	—	12	30	—55÷+60	8	11,7	Рис. 34, а											
	80—180	10																					

\* В скобках указана величина сопротивления в Ом.

\*\* Гранзистор типа П—Р—П.

Тип транзистора	Параметры при 20 °С					Максимально	
	коэффициент усиления по току $\beta$	модуль коэффициента усиления по току (на частоте 100 МГц) $ \beta $	граничная частота передачи тока $f_T$ (не менее), МГц	максимальная частота генерации $f_M$ (не менее), МГц	время рассасывания $\tau_p$ (не более), мкс	ток коллектора постоянный $I_K$ , мА	ток коллектора импульсный $I_{КИ}$ , мА
П307 **	16—50	2	10	—	—	30	120
П307А	30—90						
П307Б	50—150						
П307В	50—150						
П307Г	16—50						
П308	30—90						
П309	16—50						
П416	20—80	Больше 2	40	—	1,0	25	120
П416А	60—125	» 3	60				
П416Б	90—250	» 4	80				
П422	30—100	—	—	60	10	10	—
П423	30—100			120			
ГТ308А	20—75	—	90	—	1,0	50	120
ГТ308Б	50—120		120				
ГТ308В	80—200		120				
ГТ309А	20—70	—	120	—	—	10	—
ГТ309Б	60—180		120				
ГТ309В	20—70		80				
ГТ309Г	60—180		80				
ГТ309Д	20—70		40				
ГТ309Е	60—180		40				
ГТ310А	20—70		Больше 8				
ГТ310Б	60—180	» 8	160				
ГТ310В	20—70	» 6	120				
ГТ310Г	60—180	» 6	120				
ГТ310Д	20—70	» 4	80				
ГТ310Е	60—180	» 4	80				
ГТ311Е	15—80	—	250	—	0,05	50	—
ГТ311Ж	50—200		300				
ГТ313И	100—300		450				

Таблица 40

допустимые данные при 20° С				Диапазон рабочих температур, °С	Геометрические характеристики			
напряжение коллектор-эмиттер при включенном сопротивлении в цепи база-эмиттер * $U_{кэД}$ , В	напряжение эмиттер-база при отключенном коллекторе $U_{эб0}$ , В	напряжение коллектор-база при отключенном эмиттере $U_{кб0}$ , В	мощность, рассеиваемая на коллекторе, $P_{к}$ , мВт		высота, мм	диаметр, мм	цоколевка (см. рис. 34)	
80 80 80 60 80 120 120	(10)	3	80 80 80 60 80 120 120	250	-40 ÷ +70	11	13	Рис. 34, е
12 (1)	3	—	100	-55 ÷ +60	8,0	11,7	Рис. 34, б	
10 (1)	—	—	50	-20 ÷ +55	8,0	8	Рис. 34, б	
12 (1)	3	20	150	-55 ÷ +60	8,0	11,7	Рис. 34, б	
10 (10)	—	—	50	-20 ÷ +55	2,4	7,4	Рис. 34, д	
10 (10)	—	12	20	-20 ÷ +55	2,5	3,4	Рис. 34, к	
12 12 12	$\left(\frac{R_6}{R_9}\right) < 10$	2,0 2,0 1,5	12 12 10	150	-40 ÷ +60	2,5	3,4	Рис. 34, к

Тип транзистора	Параметры при 20° С					Максимально	
	коэффициент усиления по току $\beta$	модуль коэффициента усиления по току (на частоте 100 МГц) $ \beta $	граничная частота передачи тока $f_T$ (не менее), МГц	максимальная частота генерации $f_M$ (не менее), МГц	время рассасывания $t_p$ (не более), мкс	ток коллектора постоянный $I_K$ , мА	ток коллектора импульсный $I_{ки}$ , мА
ГТ313А ГТ313Б	20—250 20—250	—	300 450	—	—	10	—
ГТ320А ГТ320Б ГТ320В	20—80 50—120 80—250	Больше 4	80 120 160	—	0,4 0,5 0,6	150	300
ГТ321А ГТ321Б ГТ321В ГТ321Г ГТ321Д ГТ321Е	20—60 40—100 80—200 20—60 40—120 80—200	—	60	—	1,0	200	2000
ГТ328	Больше 10	—	200	2000	—	10	—
ГТ329А** ГТ329Б ГТ329В	15	Больше 12 » 15 » 20	—	—	—	15	—
ГТ330А** ГТ330Б	15	» 10 » 15	—	—	—	20	—
ГТ346А ГТ346Б ГТ346В	10—40 10—40 10—40	—	700 600 780	— 2800 —	—	—	—
КТ301** КТ301А КТ301Б КТ301В КТ301Г КТ301Д	20—60 40—120 10—32 20—60 10—32 20—60	—	—	30 30 30 30 60 60	—	—	—

допустимые данные при 20° С				Диапазон рабочих температур, °С	Геометрические характеристики		
напряжение коллектор-эмиттер при включенном сопротивлении в цепи база-эмиттер * $U_{кзР}$ , В	напряжение эмиттер-база при отключенном коллекторе $U_{эб0}$ , В	напряжение коллектор-база при отключенном эмиттере $U_{кб0}$ , В	мощность, рассеиваемая на коллекторе, $P_{к}$ , мВт		высота, мм	диаметр, мм	цоколевка (см. рис. 34)
12 (0,5)	—	15	100	-20 ÷ +55	5,0	11	Рис. 34, з
12 11 9 (1)	3,0	20	200	-55 ÷ +55	8,0	11,7	Рис. 34, б
50 50 50 40 40 40 (0,1)	4,0 4,0 4,0 2,5 2,5 2,5	60 60 60 45 45 45	160	-55 ÷ +60	8,0	11,7	Рис. 34, б
—	0,2	15	45	-25 ÷ +55	5,0	11	Рис. 34, з
—	0,5	10	20	-20 ÷ +55	3,2	5,5	Рис. 34, к
—	0,5	10	50	-20 ÷ +55	3,2	5,5	Рис. 34, к
20	0,3 0,3 0,3	20 20 20	60 60 60	-30 ÷ +75	19	5,8	Рис. 34, з
↑	3,0	20 20 30 30 20 20	150	-55 ÷ +85	2,7	7,4	Рис. 34, д

Тип транзистора	Параметры при 20° С					Максимально	
	коэффициент усиления по току $\beta$	модуль коэффициента усиления по току (на частоте 100 МГц) $ \beta $	граничная частота передачи тока $f_T$ (не менее), МГц	максимальная частота генерации $f_M$ (не менее), МГц	время рассасывания $\tau_p$ (не более), мкс	ток коллектора постоянный $I_{К\text{п}}$ , мА	ток коллектора импульсный $I_{К\text{и}}$ , мА
КТ301Е КТ301Ж	40—120 80—300	—	—	60 60	—	—	—
КТ306А** КТ306Б КТ306В КТ306Г	20—60 40—120 20—100 40—200	Больше 3 » 5 » 3 » 5	—	—	0,03	30	50
КТ312А** КТ312Б КТ312В	10—100 25—100 50—280	—	80 120 120	—	—	30	—
КТ316А** КТ316Б КТ316В КТ316Г	20—60 40—120 40—120 20—100	Больше 6 » 8 » 8 » 6	—	—	0,01 0,01 0,015 —	30	50
КТ319А* КТ319Б* КТ319В*	Не менее 15 То же 25 » 40	» 5 » 5 » 5	—	—	0,13	—	—
КТ325А** КТ325Б КТ325В КТ325Г КТ325Д	20—60 20—60 50—150 50—150 Больше 60	» 8 » 8 » 8 » 6 » 6	—	—	—	30	50
КТ326А КТ326Б	20—70 45—160	—	—	—	—	50	—

\* В скобках указана величина сопротивления в кОм.  
\*\* Транзистор типа  $n-p-n$ .

допустимые данные при 20° С				Диапазон рабочих температур, °С	Геометрические характеристики		
напряжение коллектор-эмиттер при включенном сопротивлении в цепи база-эмиттер * $U_{кэР}$ , В	напряжение эмиттер-база при отключенном коллекторе $U_{эб0}$ , В	напряжение коллектор-база при отключенном эмиттере $U_{кб0}$ , В	мощность, рассеиваемая на коллекторе $P_{к}$ , мВт		высота, мм	диаметр, мм	цоколевка (см. рис. 34)
1	3,0	20 20	150	-55 ÷ +85	2,7	7,4	Рис. 34, д
1	4,0	15	150	-55 ÷ +120	4,0	7,8	Рис. 34, ж
15 } 30 } (10) 15 }	4	15 30 15	225	-40 ÷ +85	4,3	5,5	Рис. 34, д
10 (3)	4	10	150	-55 ÷ +120	4,0	7,3	Рис. 34, ж
5 (3)	3,5	5	100	-60 ÷ +70	1,3	1,3	Бескорпусный микро-транзистор
10 (3)	4	15	225	-60 ÷ +120	5,0	9,4	Рис. 34, к
1	4	20	250	-60 ÷ +120	5,5	6,5	Рис. 34, з

Тип транзистора	Параметры при 20° С				Максимально	
	коэффициент усиления по току $\beta$	граничная частота передачи тока $f_T$ (не менее), кГц	тепловое сопротивление между переходом и корпусом $R_{пк}$ , °С/Вт	ток базы $I_b$ , А	ток коллектора $I_k$ , А	напряжение коллектор-эмиттер при включенном сопротивлении в цепи база-эмиттер * $U_{кэ R}$ , В
П302	Больше 10	200	10	0,2	0,5	35
П303	» 6	100			0,5	60
П303А	» 6	100			0,5	60
П304	» 5	50			0,5	80
П306	7—30	50			0,4	60
П306А	5—50	50			0,4	80
ГТ404А **	30—80	15	—	—	—	25 (0,2)
ГТ404Б	60—150		—	—	—	
П210Б	Больше 10	100	1	—	12	—
П210В	» 10					
П213	20—50	—	3,5	0,5	5	55
П213А	Больше 20		4,0			55
П213Б	» 40		4,0			55
П214	20—60		4,0			55
П214А	50—150		4,0			55
П214Б	20—150		3,5			70
П214В	Больше 20		4,0			40
П214Г	» 20		4,0			30
П215	20—150		4,0			30
П216Б	Больше 10		—			—
П216В	» 30					
П216Г	» 5					
П216Д	15—30					
ГТ303А	30—60	7	3,0	—	3,5	—
ГТ303Б	50—100					

\* В скобках указана величина сопротивления в кОм.

\*\* Транзистор типа  $n-p-n$ .

Таблица 41

допустимые данные при 20° С			Диапазон рабочих температур, °С	Геометрические характеристики		
напряжения эмиттер-база при отключенном коллекторе $U_{эб0}$ , В	напряжения коллектор-база при отключенном эмиттере $U_{кб0}$ , В	мощность, рассеиваемая на коллекторе с теплоотводом $P_{кт}$ , Вт		высота, мм	диаметр, мм	цоколевка (см. рис. 34)
—	35 60 60 80 60 80	7 10 10 10 10 10	—	11	22,5	Рис. 34, ж
—	—	0,6	-25 ÷ +55	18	11,7	Рис. 34, в
25	65 45	45	-55 ÷ +60	10	30	Рис. 34, и
15 15 15 10 10 15 15 10 10	60 60 60 60 60 80 45 45 45	—	-60 ÷ +70	13	23	Рис. 34, ж
15	35 35 50	24	-60 ÷ +70	13	23	Рис. 34, ж
—	—	15	-60 ÷ +70	11	28	Рис. 34, ж

Тип транзистора	Параметры при 20° С					Максимально	
	коэффициент усиления по току $\beta$	модуль коэффициента усиления по току $\beta$ на частоте (не менее), МГц	граничная частота передачи тока $f_T$ (не менее), МГц	время рассасывания $\tau_p$ (не менее), мкс	тепловое сопротивление между переходом и корпусом $R_{\text{эк}}, ^\circ\text{C}/\text{Вт}$	постоянный ток коллектора $I_{\text{к}}, \text{А}$	импульсный ток коллектора $I_{\text{кн}}, \text{А}$
ГТ323А ** ГТ323Б ГТ323В	20—60 40—120 80—200	—	200 200 300	0,1 0,15	0,1	—	1,0
П601И П601АИ П601БИ П602И П602АИ	Больше 20 40—100 80—200 40—100 80—200	—	—	6 4 5 4 5	15	—	1,5
П607 П607А П608 П608А П608Б П609 П609А П609Б	20—80 60—200 40—120 80—240 40—120 40—120 80—240 80—240	—	60 60 90 90 90 120 120 120	3	—	0,3	0,6
КТ601А **	Больше 16	—	40	—	—	0,03	—
КТ602А ** КТ602Б КТ602В КТ602Г	20—80 Больше 50 15—80 Больше 50	—	150	—	5	0,075	0,5

Таблица 42

допустимые данные при 20° С				Диапазон рабочих температур, °С	Геометрические характеристики		
напряжение коллектор-эмиттер при включенном сопротивлении в цепи база-эмиттер $U_{кэ}$ , В	напряжение эмиттер-база при отключенном коллекторе $U_{эб0}$ , В	напряжение коллектор-база при отключенном эмиттере $U_{кб0}$ , В	мощность, рассеиваемая на коллекторе с теплоотводом, Р <sub>кТ</sub> , Вт		высота, мм	диаметр, мм	цоколевка (см. рис. 34)
10	2,0	20	0,5	-55÷+60	5	11,2	Рис. 34, к
25 30 30 30 25	(0,1) 0,5	25 30 30 30 25	3,0	-50÷+60	9,6	22	Рис. 34, и
25 25 25 25 40 25 25 40	(0,1) 1,5	30 30 30 50 30 30 50	1,5	-55÷+60	9,6	22	Рис. 34, и
—	2	100	0,5	-20÷+55	11	13	Рис. 34, ж
100 100 70 70	(1) 5	120 120 80 80	2,8	-40÷+85	9	16	Рис. 34, е

Тип транзистора	Параметры при 20° С					Максимально	
	коэффициент усиления по току $\beta$	модуль коэффициента усиления по току $\beta$ на частоте (не менее), МГц	граничная частота передачи тока $f_T$ (не менее), МГц	время рассасывания $\tau_p$ (не менее), мкс	тепловое сопротивление между переходом и корпусом $R_{пк}$ , °С/Вт	постоянный ток коллектора $I_K$ , А	импульсный ток коллектора $I_{Кн}$ , А
КТ603А ** КТ603Б	10—80 Больше 60	2 на 100 МГц	—	0,1	—	0,3	0,6
КТ603В КТ603Г	10—80 Больше 60						
КТ603Д КТ603Е	20—80 60—200						
КТ604А ** КТ604Б	10—40 30—120						
КТ605А ** КТ605Б	10—40 30—120	4 на 20 МГц	—	—	—	—	0,2
КТ608А **	20—30	2 на 100 МГц	—	—	—	0,4	0,8
П701 ** П701А П701Б	10—40 15—60 30—100	—	12,5	—	10	0,5	0,7
КТ801А ** КТ801Б	18—50 20—100	—	20	—	20	2	—

допустимые данные при 20° С				Диапазон рабочих температур, °С	Геометрические характеристики		
напряжение коллектор-эмиттер при включенном сопротивлении в цепи база-эмиттер * $U_{кэ}, В$	напряжение эмиттер-база при отключенном коллекторе $U_{эб}, В$	напряжение коллектор-база при отключенном эмиттере $U_{кб}, В$	мощность, рассеиваемая на коллекторе с теплоотводом, $P_{кт}, Вт$		высота, мм	диаметр, мм	цоколевка (см. рис. 34)
$\left. \begin{array}{l} 30 \\ 30 \\ 15 \\ 15 \\ 10 \\ 10 \end{array} \right\} (1)$	3	$\left. \begin{array}{l} 30 \\ 30 \\ 15 \\ 15 \\ 10 \\ 10 \end{array} \right\}$	0,5	-40 ÷ +85	8	11,7	Рис. 34, в
250 (1)	5	300	3	-25 ÷ +100	9	15	Рис. 34, е
250 (1)	5	300	0,4	-25 ÷ +100	8	11,7	Рис. 34, в
60	4	60	0,5	-55 ÷ +85	8	11,7	Рис. 34, в
$\left. \begin{array}{l} 40 \\ 60 \\ 35 \end{array} \right\}$	2	—	10	-55 ÷ +100	10	17	Рис. 34, ж
$\left. \begin{array}{l} 80 \\ 60 \end{array} \right\} (0,1)$	2,5	—	5	-20 ÷ +55	8	15	Рис. 34, з

Тип транзистора	Параметры при 20° С					Максимально	
	коэффициент усиления по току $\beta$	модуль коэффициента усиления по току $\beta$ на частоте (не менее), МГц	границная частота передачи тока $f_T$ (не менее), МГц	время рассасывания $\tau_p$ (не менее), мкс	тепловое сопротивление между переходом °С/Вт и корпусом $R_{пк}$	постоянный ток коллектора $I_K$ , А	импульсный ток коллектора $I_{Кн}$ , А
КТ802А **	Больше 15	—	10	—	2,5	5	—
КТ803А **	10—70	Больше 2 на 10 МГц	—	—	—	10	—
ГТ804А ** ГТ804Б ГТ804В	20—150	—	10	1	—	10	—
КТ805А ** КТ805Б	Больше 15	—	20	—	3,3	5	8
КТ902А **	Больше 15	Больше 3,5 на 10 МГц	—	—	—	5	—
КТ903А ** КТ903Б	15—70 40—180	Больше 4	—	—	3,3	3	10
КТ904А ** КТ904Б	3 *** 2,5 ***	Больше 3,5 Больше 3	—	—	—	—	—

- \* В скобках указана величина сопротивления в кОм.  
\*\* Транзистор типа  $n-p-n$ .  
\*\*\* Коэффициент усиления по мощности.

допустимые данные при 20° С				Диапазон рабочих температур, °С	Геометрические характеристики		
напряжение коллектор-эмиттер при включенном сопротивлении в цепи база-эмиттер $U_{кэ}$ , В	напряжение эмиттер-база при отключенном коллекторе $U_{эб}$ , В	напряжение коллектор-база при отключенном эмиттере $U_{кб}$ , В	мощность, рассеиваемая на коллекторе с теплоотводом, $P_{кт}$ , Вт		высота, мм	диаметр, мм	цоколевка (см. рис. 34)
130 (0,01)	3,0	150	50	-20 ÷ +100	11	28	Рис. 34, ж
60 (0,1)	4,0	—	60	-40 ÷ +100	11	28	Рис. 34, ж
45 55 75	—	—	15	-25 ÷ +60	9,5	22	Рис. 34, ж
160 } 135 } (0,01)	5,0	—	30	-55 ÷ +100	11	28	Рис. 34, ж
—	5,0	65	30	-60 ÷ +120	11	28	Рис. 34, ж
60 (0,1)	4,0	60	30	-40 ÷ +85	11	30	Рис. 34, ж
60 (0,1)	4	60	5,0	-40 ÷ +85	24	12,7	Рис. 34, ж

Таблица 43

Тип полевого транзистора	Параметры при 20° С				Максимально допустимые значения					Геометрические характеристики, мм		
	крутизна $S$ , мА/В	напряжени- е отсече- ния $U_0$ , В	Емкости, пФ		ток стока $I_c$ , мА	мощность рассеяния $P_{расс}$ , Вт	напряжения, В			рабочие темпера- туры, °С	диа- метр	высота
			вход- ная $C_{вх}$	про- ходная $C_{пр}$			выход- ная $C_{вых}$	$U_{зс}$	$U_{си}$			

Малой мощности низкочастотные

КП201Е*	0,4	1,5	20	8	—	0,08	15	10	0,5	—	—	—
КП201Ж*	0,7	2,2	20	8	—	0,08	15	10	0,5	—	—	—
КП201И*	0,8	3,0	20	8	—	0,08	15	10	0,5	—	—	—
КПС104А	0,35	0,2—1,0	4,5	1,5	—	0,045	20	15	0,5	До 85	—	—
КПС104Б	0,35	0,2—1,0	4,5	1,5	0,18	0,045	20	15	0,5	—	8,4	26
КПС104В	0,65	0,42—1,45	4,5	1,5	0,18	0,045	20	15	0,5	—	—	—

Малой мощности высокочастотные

КП302А	5,0	5	20	8	10	0,3	20	20	10	8,2	36	—
КП302Б	7,0	7	20	8	10	0,3	20	20	10	—	—	—
КП302В	—	10	20	8	10	0,3	20	20	12	—	—	—
КП303А	1,0—4,0	0,5—3,0	6	2	—	0,2	30	25	30	—	—	—
КП303Б	1,0—4,0	0,5—3,0	6	2	—	0,2	30	25	30	До 125	5,8	21
КП303В	2,0—5,0	1,0—4,0	6	2	—	0,2	30	25	30	—	—	—
КП305Д	5,2—10,5	6	5	0,8	—	0,15	15	15	15	—	—	—
КП305Е	4,0—8,0	6	5	0,8	—	0,15	15	15	15	—	—	—
КП305Ж	5,2—10,5	6	5	0,8	—	0,15	15	15	15	6	19	—

Тип полевого транзистора	Параметры при 20° С				Максимально допустимые значения					Геометрические характеристики, мм		
	крутизна $S$ , мА/В	напряжени- е отсеч- ки $U_0$ , В	Емкости, пФ		ток стока $I_c$ , мА	мощность рассеяния $P_{\text{расс}}$ , Вт	напряжения, В			рабочие темпера- туры, °С	диа- метр	высота
			вход- ная $C_{\text{вх}}$	про- ходная $C_{\text{пр}}$			выход- ная $C_{\text{вых}}$	$U_{\text{зс}}$	$U_{\text{си}}$			
КП901А **	50	—	10,0	50	$1 \cdot 10^3$	30	100	—	30	—	13	22
КП902А **	10	—	0,6	11	200	3,5	—	50	30	—	—	—
КП902Б **	10	—	0,6	11	200	3,5	—	50	30	—	—	—
КП902В **	10	—	0,8	11	200	3,5	—	50	30	—	—	—
КП903А	50	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
КП903Б	85	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
КП903В	80	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
КП904А *	400	—	7,0	300	$5 \cdot 10^3$	50	200	85	—	—	25	31

Большой мощности высокочастотные

\* Бескорпусные транзисторы (для использования в интегральных схемах).  
 \*\* Транзисторы с изолированным затвором.

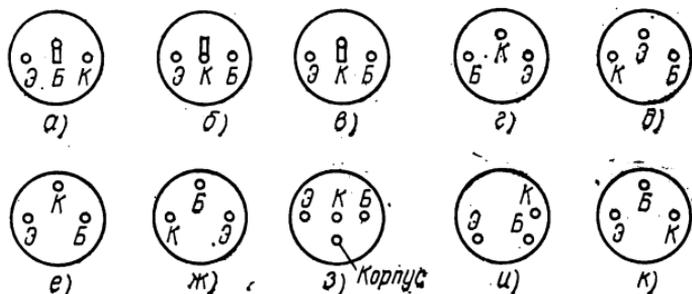


Рис. 34. Цоколевка транзисторов:  
а—к-типы цоколевок

## § 18. Тиристоры

Тиристор — полупроводниковый прибор, имеющий три последовательно соединенных  $p-n$ -перехода. Тиристоры бывают триодные и диодные; первые имеют три вывода (электрода), вторые — два. В настоящее время согласно ГОСТ 15133—69 любой полупроводниковый прибор, имеющий структуру типа  $p-n-p-n$ , называется тиристором. Триодные тиристоры называют также тринисторами или переключающими четырехслойными управляемыми диодами, а диодные — динисторами или переключающими четырехслойными неуправляемыми диодами.

Структура триодного тиристора показана на рис. 35, а. Прибор имеет три вывода: анод — вывод от внешней  $p$ -области, катод — вывод от внешней  $n$ -области, управляющий электрод — вывод от внутренней  $p$ -области. Такой тиристор, имеющий  $p-n-p-n$ -структуру, называется тиристором  $p$ -типа; аналогично образуется  $n-p-n-p$ -структура в тиристорах  $n$ -типа (эти два типа тиристоров подобны транзисторам  $p-n-p$  и  $n-p-n$ ). Условные обозначения тиристоров на схемах показаны на рис. 35, б, в.

Диодные и триодные тиристоры широко используют в качестве ключевых элементов в различных схемах автоматики и промышленной электроники: маломощные тиристоры применяют в устройствах управления, схемах автоматики и различных логических схемах, в генераторных устройствах; мощные тиристоры, рассчитанные на токи 50—500 А, служат в качестве силовых преобразователей тока (выпрямители, инверторы, генераторы мощных импульсов), особенно успешно их используют в системах регулируемого привода.

Типовая вольтамперная характеристика тиристора изображена на рис. 35, г. Диодным тиристорам соответствует кривая при токе управления  $I_y=0$ , триодным — семейство кривых при  $I_y > I_y' > 0$ . Участок  $O-a$  соответствует включенному состоянию тиристора, через который протекает ток утечки. Напряжение и ток, соответствующие точке  $a$ , называются соответственно напряжением включения  $U_{вкл}$  и током включения  $I_{вкл}$ . В диодных тиристорах величина  $U_{вкл}$  постоянна, в триодных — может изменяться в зависимости от величины тока управления (ток управления  $I_y''$  равен току спрямления, при котором «спрямляется» характеристика).

Участок  $a-b$  является неустойчивым, нерабочим, ему соответствует отрицательное динамическое сопротивление тиристора (отношение приращения напряжения  $\Delta U$  к приращению тока  $\Delta I$ ). Рабочими являются участки  $O-a$  и  $b-v$ , соответствующие включенному состоянию. Чтобы тиристор оставался во включенном состоянии на участке  $b-v$ , через него должен протекать ток, величина которого не менее тока выключения  $I_{\text{выкл}}$ , соответствующего значению тока в точке  $b$ . Процессы включения и выключения тиристора происходят не мгновенно, а спустя время включения  $t_{\text{вкл}}$  и время выключения  $t_{\text{выкл}}$ . Эти параметры характеризуют быстрдействие тиристорov.

Тиристоры характеризуются в основном следующими параметрами:

- прямой ток  $I_{\text{пр}}$ ;
- обратный ток  $I_{\text{обр}}$ ;
- ток управления  $I_{\text{у}}$ ;
- ток переключения  $I_{\text{пер}}$ ;
- прямое  $U_{\text{пр}}$  и обратное  $U_{\text{обр}}$  напряжения;
- напряжение переключения  $U_{\text{пер}}$ ;

время включения  $t_{\text{вкл}}$  — время, прошедшее с момента подачи запирающего сигнала до момента, когда напряжение на тиристоре уменьшится до заданного уровня;

время выключения  $t_{\text{выкл}}$  — минимальное время, в течение которого на тиристор должно подаваться запирающее напряжение, выключающее его;

габариты, долговечность, интервал рабочих температур; для мощных тиристорov, кроме того, указывают условия охлаждения и массу прибора.

В табл. 44 приведены основные параметры некоторых типов маломощных диодных тиристорov, имеющих широкое применение, в табл. 45 — маломощных триодных тиристорov, в табл. 46 — мощных триодных тиристорov. Габаритный чертеж тиристорov типов КУ201А — КУ201Л показан на рис. 35, д.

В табл. 47—51 приведены основные параметры различных тиристорov. Тиристоры серии ТЧ применяют в преобразователях частоты для электропривода, в установках высокочастотного нагрева, ультразвуковых генераторах и т. п. Тиристоры серии ТИ

Таблица 44

Тип диодного тиристора	Ток переключения $I_{\text{пер}}$ , мА	Обратный ток $I_{\text{обр}}$ , мА	Напряжение переключения $U_{\text{пер}}$ , В	Время, мкс		Долговечность, ч	Интервал рабочих температур, °С	Габариты, мм	
				включения $t_{\text{вкл}}$	выключения $t_{\text{выкл}}$			диаметр	высота
Д227А	5	0,5	10—20	0,5	10	5000	-60 ÷ +100	11,2	16
Д227Б			14—28						
Д227В			20—40						
Д227Г			28—56						
Д227Д			40—80						
Д227Е			56—112						
Д227Ж			80—160						
Д227И			100—200						

используют в преобразователях электроэнергии, работающих в импульсном режиме с частотой до 10 кГц в интервале температур от  $-55$  до  $+110^{\circ}\text{C}$ . Эти тиристоры характеризуются меньшими величинами  $\tau_{\text{вкл}}$  и  $\tau_{\text{выкл}}$ , а также повышенной скоростью нарастания тока и напряжения при больших импульсах тока. Тиристоры серии ТД — с повышенными динамическими параметрами — применяют в

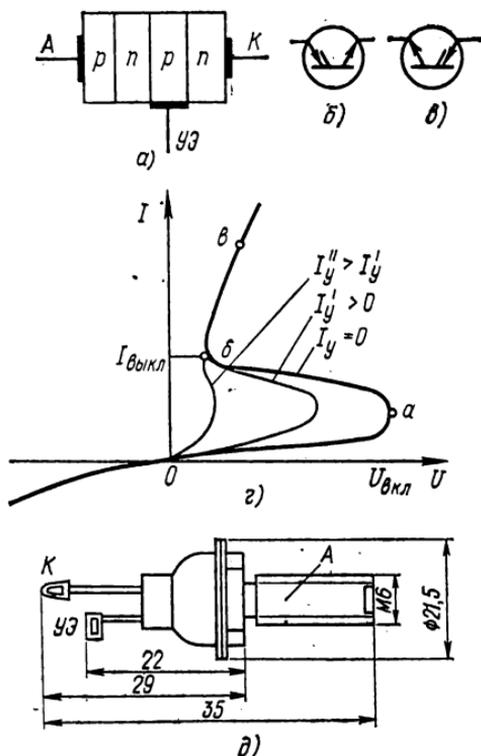


Рис. 35. Тиристоры:

*a* — структура  $p-n-p-n$ , *б* — условное обозначение  $p$ -тиристора (структура  $p-n-p-n$ ), *в* — условное обозначение  $n$ -тиристора (структура  $n-p-n-p$ ), *г* — типовая вольтамперная характеристика, *д* — габаритный чертеж типов КУ201А — КУ201Л;  
 А — анод, К — катод, УЭ — управляющий электрод

статических преобразователей электроэнергии в цепях постоянного и переменного тока различных силовых установок. Тиристоры типов Т (мощные) используют в силовых преобразователях электроэнергии в цепях постоянного и переменного тока. Тиристоры серии ТБ применяют в качестве быстродействующих исполнительных элементов преобразователей и генераторов и для работы в бесконтактной коммутационной и регулирующей аппаратуре.

Таблица 45

Тип малоомощного тщедушного тира- стора	Ток $I_{упр.д.н.а}$		Прямой ток		Прямое напряже- ние $U_{пр}$ , В	Обратное напря- жение $U_{обр}$ , В	Время, мкс		Интервал рабочих тем- ператур, °С	Габариты, мм	
	среднее $I_{пр.ср.}$ , мА	в импуль- се $I_{пр.и.}$ , А	1	10			включе- ния $\tau_{вкл}$	выключе- ния $\tau_{выкл}$		диа- метр	высота
КУ101А	15	75			1				50		
КУ101Б					50	50					
КУ101Г					80	80					
КУ101Е					150	150					
КУ201А					25	Не нормируется					
КУ201Б					25	25					
КУ201Г					50	50					
КУ201Е	200	2000	10		100	100	2	35	-60 ÷ +70	21,5	40
КУ201И					200	200					
КУ201Л					300	300					
КУ202А—КУ202Н	300	10 000	—		25—400	25—400	50	150			
КУ203А—КУ203Н	350	—	—		50—200	50—200	3	7	-60 ÷ +70	—	—
КУ208А—КУ208Г	500	5000	—		100—400	—	10	150			

\* Величина  $I_{пр.и}$  приведена для длительности импульса  $\tau_{и}$  не более 10 мкс.  
Примечание. Тирасторы имеют долговечность не менее 5000 ч.

Таблица 46

Тип мощного триодного тиристора	Вид охлаждения	Прямой ток $I_{пр}$ , А	Прямое напряжение $U_{пр}$ , В	Обратное напряжение $U_{обр}$ , В	Габариты*, мм		Масса, г	
					высота	диаметр	без радиатора	с радиатором
УПВК-50 УПВК-100	Воздушное принудительное с радиатором	50	0,6—0,9	100—1200**	75	41	170	—
		100			78		200	
ВКДУ-50 ВКДУ-100 ВКДУ-150	Водяное принудительное	50	1,25	50—700***	80	46	450	2100
		100	0,90					
		150	0,75					
ВКДУВ-100 ВКДУВ-150 ВКДУВ-200	Водяное принудительное	100	1,40					1100
		150	1,00					
		200	0,90					

\* Габариты приведены без указания размеров радиаторов.

\*\* В зависимости от величины  $U_{обр}$  тиристоры УПВК делятся на

классы:

класс тиристора . . . . . 0,5 0,75 1,0 1,5 2,0 4,0 5,0 6,0

$U_{обр}$ , В . . . . . 100 150 200 300 600 800 1000 1200

\*\*\* В зависимости от величины  $U_{обр}$  тиристоры ВКДУВ делятся на классы:

класс тиристора . . . . . 0,5 1,0 1,5 2,0 2,5 3,0 3,5 4,0 4,5 5,0 6,0 7,0

$U_{обр}$ , В . . . . . 50 100 150 200 250 300 350 400 450 500 600 700

Примечание. Время включения приведенных типов тиристоров порядка 10 мкс; ток спрямления для ВКДУВ — не более 1 А, для УПВК ток управления — от 10 до 150 мА.

Таблица 47

Тип тиристора	Прямой ток $I_{пр}$ , А	Прямое напряжение $U_{пр}$ , В	Ток управления $I_u$ , А	Отпирающее напряжение управления $U_{отп}$ , В	Время, мкс		Габариты, мм		Масса, г
					включения $t_{вкл}$	выключения $t_{выкл}$	диаметр	высота	
ТЧ-20 ТЧ-25	20 25	500—900	0,7	3	6	7—9	30	71	0,08
ТЧ-40 ТЧ-50 ТЧ-63	40 50 63	500—900	0,7 0,8 0,8	3	6	7—9	36	67,2	0,2
ТЧ-80 ТЧ-100 ТЧ-125	80 100 125	500—1000 500—1000 500—900	0,9 1,0 0,9	2,5	6	7 6 6	41	86,3	0,3

Таблица 48

Тип тиристора	Прямой импульсный ток $I_{пр.и}$ , А	Грязное напряжение $U_{гр}$ , В	Частота следования импульсов $f$ , кГц	Ток управления (амплитудное значение) $I_{у.а}$ , А	Время, мкс		Габариты с радиатором, мм	Масса, г
					включения $t_{вкл.}$	выключения $t_{выкл.}$		
ТИ-800	800	300—600	10	1,5	3	5	165×100×70	0,67
ТИ-1600	1600	300—600	10	1,5	10	10	235×80×70	2,00

Таблица 49

Тип тиристора	Прямой ток (предельное значение) $I_{пр.}$ , А	Ток управления $I_{у}$ , А	Напряжение отпирания $U_{отп.}$ , В	Время, мкс		Габариты, мм		Масса, кг
				включения $t_{вкл.}$	выключения $t_{выкл.}$	диаметр	длина	
ТД-20	20	0,45	3	5,0	70—250	30	71	0,47
ТД-25	25			5,5				
ТД-40	40			5,9				
ТД-80	80	0,60		7,0		36	55	0,85
ТД-100	100			7,5				
ТД-125	125	0,60	4	8,0		41	120	0,95
ТД-160	160			8,8				
ТД-200	200			9,5				
ТД-250	250	0,60		10		106	62	2,80
ТД-320А	320			11				

Таблица 50

Тип тиристора	Прямой ток $I_{пр}$ , А	Прямое напряжение $U_{пр}$ , В	Ток управления $I_u$ , мА	Напряжение отпирания $U_{отп}$ , В	Время, мкс		Габариты, мм		Масса (с охладителем), кг
					включения $t_{вкл}$	выключения $t_{выкл}$	диаметр	длина	
T-25	25	100—1000	350	6	4	100	32	47	0,12
T-50	50				7	110	32	57	0,19
T-100	100	100—1000	400	7	8	120	41	57	0,46
T-150	150		500	7					
T3-200	200		7						
T6-10	10	450—1200	70	3	10	2—6	21	40	0,013
T-320	320	400—1200	400	6	30	1	31	19	0,15
T-500	500	400—1200	400	8	40	3	41	21	0,3
T10-20	20	400—900	400	8	10	3	15,4	27	0,012
T10-40	40	400—900	150	4	10	4	21	41	0,045
T10-80	80	400—900	150	4	10	2	21	41	0,045

Примечание. Допустимая температура от  $-50^\circ$  до  $+125^\circ$  С.

Таблица 51

Тип тиристора	Прямой ток (предельное значение) $I_{пр}$ , А	Прямое напряжение $U_{пр}$ , В	Ток управления $I_u$ , А	Напряжение отпирания $U_{отп}$ , В	Время, мкс		Габариты, мм		Масса, кг
					включения $t_{вкл}$	выключения $t_{выкл}$	диаметр	высота	
ТБ2-160	160	800	0,35	5,5	10	35	65	96	0,47
ТБ-200	200						24	58	0,23
ТБ3-200	200						55	96	0,47
ТБ-250	250		24				58	0,23	
ТБ-320	320		24				58	0,23	
ТБ-400	400		24				76	0,47	

Примечание. Допустимая температура от  $-50^\circ$  до  $+110^\circ$  С.

## § 19. Основные правила эксплуатации полупроводниковых приборов

Для предотвращения выхода из строя полупроводниковых приборов в процессе монтажа обеспечивают неподвижность их выводов вблизи корпуса, изгибая выводы на расстоянии не менее 3—5 мм от него. Пайку полупроводниковых приборов выполняют низкотемпературным припоем ПОС-61 на расстоянии не ближе 5 мм от корпуса, обеспечивая теплоотвод между корпусом и местом пайки. При расстоянии от места пайки до корпуса 8—10 мм и более ее можно выполнить без дополнительного теплоотвода (в течение 2—3 с).

Перепайки в монтаже, подключения и замену отдельных деталей в схемах с полупроводниковыми приборами производят при отключенном питании паяльником с заземленным жалом. При включении транзистора в схему, находящуюся под напряжением, сначала присоединяют базу, затем эмиттер, потом коллектор. Отключение транзистора от схемы без снятия питания осуществляют в обратной последовательности.

Нормальная работа на полную мощность полупроводниковых приборов требует применения дополнительных теплоотводов из красной меди или алюминия, которым придается форма ребристых радиаторов, надеваемых на приборы. У многих типов полупроводниковых приборов с повышением температуры снижается не только допустимая мощность рассеяния, но и допустимые напряжения и токи переходов. Это учитывают при проектировании схем с широким температурным диапазоном работы.

В процессе эксплуатации полупроводниковых приборов не должны превышать допустимые значения следующих внешних воздействующих факторов:

- диапазон рабочих температур;*
- относительная влажность до 98% при температуре 40° С;*
- атмосферное давление от 5 мм рт. ст. до 3 атм;*
- вибрации с ускорением до 7,5 g в диапазоне частот 10—600 Гц;*
- многократные удары с ускорением до 75 g;*
- линейные ускорения до 25 g.*

Если внешние механические воздействующие факторы имеют более широкий диапазон частот и ускорений, конструкции с полупроводниковыми приборами амортизируют. Для улучшения влагостойкости их покрывают слоем защитного лака УР-231.

## § 20. Микроэлектроника

Микроэлектроника — область электроники полупроводников, обеспечивающая создание схемных элементов различного назначения, характеризующихся высокой надежностью, быстродействием, малыми габаритами и малой потребляемой мощностью.

В табл. 52 приводится относительная оценка некоторых основных параметров электронной аппаратуры, построенной из элементов различных поколений («поколениями» принято называть последовательные этапы, которые проходит в своем развитии электронная аппаратура). Условно за единицу выбраны значения соответствующих параметров для аппаратуры, построенной на интегральных микросхемах (ИС).

Поколения	1	2	3	4
	электро- вакуумные приборы	полупро- воднико- вые при- боры	интеграль- ные ми- кросхемы (ИС)	большие интегральные микросхемы (БИС) *
Объем аппаратуры	50	80	1	0,2
Потребляемая мощность	1670	17	1	0,3
Частота отказов **	30	6	1	0,2

\* БИС отличается от ИС степенью интеграции (см. табл. 53).

\*\* С уменьшением частоты отказов надежность возрастает.

Благодаря минимальным размерам активных элементов в одном корпусе создается целая электронная схема, называемая интегральной (объединенной) микросхемой. В интегральной микросхеме элементы нераздельно связаны и так электрически соединены, что устройство это рассматривается как единое целое.

По технологии изготовления ИС делятся на пленочные, полупроводниковые (монокристалльные) и гибридные.

Пленочные ИС состоят из элементов, которые выполнены в виде пленок, нанесенных на поверхность диэлектрического материала: тонкие пленки (толщина не более  $10^{-6}$  м) наносятся обычно методами термовакuumного осаждения и катодного распыления, толстые пленки (толщина более  $10^{-6}$  м) — методом шелкографии, «вторичная» необходимого состава через «маску». С помощью пленочной технологии обычно изготавливают пассивные элементы схемы — резисторы, конденсаторы и индуктивности.

В гибридных микросхемах сочетаются пленочные пассивные элементы с бескорпусными активными элементами (диодами, транзисторами) и проводящими соединениями.

В полупроводниковых (монокристалльных) ИС все составляющие элементы выполняются в объеме или на поверхности одного кристалла полупроводникового материала, помещаемого в корпусе.

В зависимости от количества элементов, входящих в ИС, различают ИС разной степени интеграции (они также называются часто «поколениями ИС» \*). Эти данные приведены в табл. 53.

Схемными элементами, имеющими массовое применение, являются логические элементы устройств цифровой автоматики и вычислительной техники.

Существует три основных типа логических схем:

«И» — многоходовая схема, сигнал на выходе которой возникает только при одновременных сигналах на всех входах;

«ИЛИ» — многоходовая схема, сигнал на выходе которой возникает при сигнале хотя бы на одном входе;

\* Не путать с «поколениями» электронной аппаратуры.

«НЕ» — инвертор — одноходовая схема, сигнал на выходе которой возникает при отсутствии сигнала на входе.

Таблица 53

Категория ИС	Поколение ИС	1	2	3	4
	Обозначение	ИС-1	ИС-2	ИС-3	ИС-4, БИС
Степень интеграции (число элементов ИС)		До 10	10—100	100—1000	Свыше 1000

Возможны более сложные логические схемы, представляющие собой соединения нескольких простейших схем, например «И — НЕ», «ИЛИ — НЕ», «И — ИЛИ — НЕ» и т. д.

Для запоминания результатов преобразований, выполняемых логическими схемами, используют элемент памяти — триггер, представляющий собой схему с двумя выходами (единичным и нулевым) и несколькими входами (единичный, нулевой, счетный). Триггер может находиться в одном из двух возможных устойчивых состояний (единичное или нулевое), определяемых сигналами на его входах. Работа триггера простейшего типа происходит следующим образом.

При подаче сигнала на вход  $x_1$  «установка единицы» (табл. 54) триггер принимает единичное состояние, в котором на его единичном выходе  $y_1$  устанавливается уровень напряжения, соответствующий наличию сигнала на входе логической схемы «И» или «ИЛИ» — рабочий уровень сигнала, а на нулевом выходе  $y_2$  — уровень напряжения, соответствующий отсутствию сигнала на входе логических схем. При подаче сигнала на вход  $x_2$  «установка нуля» триггер принимает нулевое состояние, в котором на его нулевом выходе  $y_2$  устанавливается рабочий уровень сигнала, а на единичном выходе  $y_1$  сигнал отсутствует. При подаче сигнала на счетный вход  $x_2$  триггер каждый раз меняет свое состояние на противоположное, независимо от того, в каком состоянии он находился до прихода сигнала.

Условные обозначения основных логических элементов в схемах приведены в табл. 54.

Логические схемные элементы характеризуются в основном следующими параметрами:

*напряжение питания  $E_n$ ;*

*время распространения сигнала  $t_p$ , показывающее задержку в срабатывании элементов по выходу относительно входного сигнала;*

*длительность фронтов переключения элементов из одного состояния в другое  $t_f$ ;*

*высокий уровень выходного напряжения элемента  $U_v$ ;*

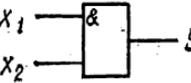
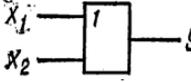
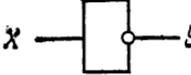
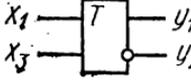
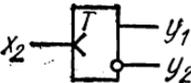
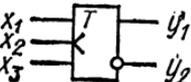
*низкий уровень выходного напряжения элемента  $U_n$ ;*

*средняя мощность, потребляемая элементом,  $P$ ;*

*нагрузочная способность элемента (число элементов нагрузки, на которые данный элемент может работать одновременно)  $N$ ;*

*коэффициент объединения по входу (число элементов, которое может быть объединено на входе данного элемента)  $L$ ;*

*помехоустойчивость, показывающая, какой величины сигнал помехи может быть подан на вход элемента без нарушения правильности его работы,  $\Delta U$ ,*

Функциональное назначение	Условное обозначение		
Схема «И»		$x_1, x_2$ — входы, $y$ — выход	
Схема «ИЛИ»			
Схема «НЕ»		$x$ — вход, $y$ — выход	
Триггер	с раздельным запуском		$x_1$ — установка единицы, $x_2$ — счетный вход, $x_3$ — установка нуля,
	со счетным запуском		$y_1$ — единичный выход, $y_2$ — нулевой выход,
	комбинированный		

Конструктивно гибридные интегральные микросхемы выполняют в корпусах различного типа (рис. 36).

Принятые ГОСТ 18682—73 обозначения вновь разрабатываемых и модернизируемых ИС приведены в табл. 55.

Микросхемы выпускают сериями (группами), элементы которых согласованы по электрическим параметрам и выполнены на единой конструктивно-технологической базе. Это позволяет использовать элементы одной серии в аппаратуре совместно, без каких бы то ни было согласующих промежуточных устройств. В зависимости от назначения и области применения серии могут содержать от трех до нескольких десятков микросхем.

Для вновь разрабатываемых и модернизированных ИС ГОСТ 18682—73 принята следующая система условных обозначений:

1-й элемент — цифра — обозначает группу ИС по конструктивно-технологическому признаку: 1, 5, 7 — полупроводниковые (монокристалльные) ИС, 2, 4, 6, 8 — гибридные, 3 — прочие (пленочные, керамические и др.);

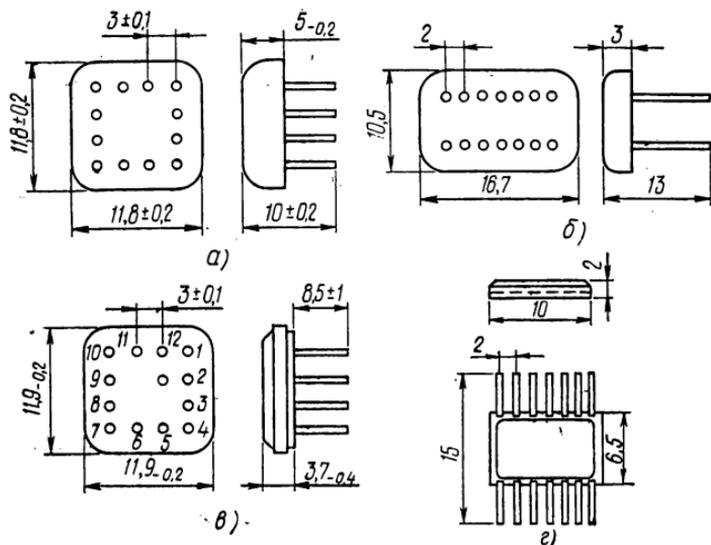


Рис. 36. Основные типы корпусов гибридных интегральных микросхем:

а — металлополимерный массой 1,5 г, б — металлополимерный массой 1,1 г, в — металлокерамический массой 1,5 г, г — корпус типа 101СТ14

2-й элемент — две цифры — обозначает порядковый номер разработки данной серии. В совокупности оба элемента образуют трехзначный номер серии;

3-й элемент — две буквы — обозначают подгруппу и вид ИС по функциональному назначению (приведен в табл. 55);

4-й элемент — цифра — обозначает порядковый номер разработки данной микросхемы в данной серии;

5-й элемент — буква — обозначает отличие по какому-либо параметру (например, по номиналу напряжения питания) одинаковых типов ИС (5-й элемент приводится в случае необходимости).

Находящиеся в настоящее время в эксплуатации ИС, разработанные до 1973 г., обозначены несколько иначе. ИС, предназначенные для широкого применения, дополнительно могут иметь символ К, стоящий перед 1-м элементом обозначения. Последовательность использования элементов обозначения по сравнению с новой системой обозначений следующая: 1-й, 3-й, 2-й, 4-й, 5-й. Например: ИС по новой системе, обозначаемая 121ЛБ1А, т. е. серия 121 (полупроводниковая ИС), логическая ИС типа «И — НЕ/ИЛИ — НЕ» и т. п., по старой системе обозначалась К1ЛБ211А, т. е. широкого применения (К), серия 121 (1 — полупроводниковая, 21 — номер серии), логическая ИС типа «И — НЕ/ИЛИ — НЕ» и т. п.

Микросхемы		Микросхемы	
функциональное назначение	обозначение	функциональное назначение	обозначение
Генераторы:		прочие	МП
гармонических сигналов	ГС	Наборы элементов:	
прямоугольных сигналов	ГГ	диодов	НД
линейно изменяющихся сигналов	ГЛ	транзисторов	НТ
сигналов специальной формы	ГФ	резисторов	НР
шума	ГШ	конденсаторов	НЕ
прочие	ГП	комбинированные	НК
Детекторы:		прочие	НП
амплитудные	ДА	Преобразователи:	
импульсные	ДИ	частоты	ПС
частотные	ДЧ	фазы	ПФ
фазовые	ДФ	длительности	ПД
прочие	ДП	напряжения	ПН
Коммутаторы и ключи:		мощности	ПМ
тока	КТ	уровня (согласователи)	ПУ
напряжения	КН	код — аналог	ПА
прочие	КП	аналог — код	ПВ
Логические:		код — код	ПР
элемент «И»	ЛИ	прочие	ПП
элемент «ИЛИ»	ЛЛ	Вторичные источники питания:	
элемент «2НЕ»	ЛН	выпрямители	ЕВ
элемент «И—ИЛИ»	ЛМ	преобразователи	ЕМ
элемент «И—НЕ/ИЛИ—НЕ»	ЛБ	стабилизаторы напряжения	ЕН
элемент «И—ИЛИ—НЕ»	ЛР	стабилизаторы тока	ЕТ
элемент «И—ИЛИ—НЕ/И—ИЛИ»	ЛК	прочие	ЕП
элемент «ИЛИ—НЕ/ИЛИ»	ЛМ	Схемы задержки:	
расширители	ЛД	пассивные	БМ
прочие	ЛП	активные	БР
Многофункциональные схемы:		прочие	БП
аналоговые	ХА	Схемы селекции и сравнения:	
цифровые	ХЛ	амплитудные (уровни сигналов)	СА
комбинированные	ХК	временные	СВ
прочие	ХП	частотные	СС
Модуляторы:		фазовые	СФ
амплитудные	МА	прочие	СП
частотные	МС	Триггеры:	
фазовые	МФ	типа <i>I-K</i>	ТВ
импульсные	МИ	типа <i>R-S</i>	ТР
		типа <i>D</i>	ТМ
		типа <i>T</i>	ТТ
		динамические	ТД

Микросхемы		Микросхемы	
функциональное назначение	обозначение	функциональное назначение	обозначение
Шмидта комбинированные (типов <i>D-T</i> , <i>R-S-T</i> и др.)	ТЛ	импульсов специальной формы	АФ
	ТК		
и др.) прочие	ТП	адресных токов разрядных токов прочие	АА
			АП
Усилители: высокой частоты	УВ	Элементы запоминающих устройств:	РМ
	УР		
промежуточной частоты	УН	матрицы-накопители ОЗУ	РВ
низкой частоты	УЕ	ПЗУ	РУ
импульсных сигналов	УМ	матрицы-накопители ОЗУ со схемами управления	РЕ
повторители	УД	матрицы-накопители ПЗУ со схемами управления	РП
считывания и воспроизведения	ФВ	Элементы арифметических и дискретных устройств:	ИР
индикации	ФЕ	регистры	ИМ
постоянного тока	ФП	сумматоры	ИЛ
прочие	АГ	полусумматоры	ИВ
ИИ	ИК		
		ИП	ИП

Условные обозначения ИС, выпущенных до 1973 г. и находящихся в эксплуатации в настоящее время, приведены в табл. 56.

Основные параметры некоторых гибридных и полупроводниковых интегральных микросхем, получивших широкое распространение при проектировании узлов и блоков систем промавтоматики и связи, вычислительных устройств и радиоэлектронной аппаратуры, приведены в табл. 57.

Дальнейшим направлением развития микроэлектроники является увеличение степени интеграции в пределах одной микросхемы, т. е. создание больших интегральных схем (БИС), представляющих собой сложные функциональные узлы. Это обеспечивает дальнейшую миниатюризацию аппаратуры и увеличение ее надежности и быстродействия. В настоящее время изготавливают многокристальные интегральные схемы, в корпусе которых объединяется несколько бескорпусных монокристаллических интегральных схем. Керамический корпус таких микросхем имеет 48 выводов и рассчитан на отвод мощности до 2 Вт. Параметры больших интегральных микросхем (БИС) приведены в табл. 58.

Микросхемы		Микросхемы	
функциональное назначение	обозначение	функциональное назначение	обозначение
Усилители:		с комбинированным запуском	ТК
синусоидальные	УС	Шмидта	ТШ
постоянного тока	УТ	динамические	ТД
видеоусилители	УВ	Логические схемы:	
импульсные	УИ	схемы «И»	ЛИ
повторители	УЭ	схемы «ИЛИ»	ЛЛ
прочие	УП	схемы «НЕ»	ЛН
Генераторы:		схемы «И—НЕ/ИЛИ—НЕ»	ЛБ
синусоидальных колебаний	ГС	схемы «И—ИЛИ»	ЛС
сигналов специальной формы	ГФ	схемы «И—ИЛИ—НЕ»	ЛР
Преобразователи:		прочие	ЛП
частоты	ПС	Линии задержки:	
фазы	ПФ	схемные	ШС
формы	ПМ	прочие	ШТ
напряжения	ПН	Запоминающие устройства:	
кодирующие	ПК	на магнитных пленках	ЯЛ
декодирующие	ПД	матрицы	ФМ
прочие	ПП	прочие	ЯП
Модуляторы:		Наборы элементов:	
амплитудные	МА	резисторов	НС
частотные	МС	конденсаторов	НЕ
фазовые	МФ	диодов	НД
импульсные	МИ	транзисторов	НТ
прочие	МП	комбинированные	НК
Детекторы:		Арифметические и дискретные устройства:	
амплитудные	ДА	регистры	ИР
частотные	ДМ	сумматоры	ИС
фазовые	ДФ	полусумматоры	ИЛ
импульсные	ДИ	счетчики	ИЕ
прочие	ДП	шифраторы	ИШ
Фильтры:		дешифраторы	ИД
верхних частот	ФВ	комбинированные	ИК
нижних частот	ФН	прочие	ИП
полосовые	ФП	Схемы селекции и сравнения:	
заградительные	ФГ	аналоговые	СА
сглаживающие	ФС	импульсные	СИ
Электронные ключи:		логические	СЛ
транзисторные	КТ	аналого-импульсные	СЕ
диодные	КД	аналого-логические	СВ
оптоэлектронные	КЭ	импульсно-логические	СГ
прочие	КП	аналого-импульсно-логические	СК
Триггеры:			
со счетным запуском	ТС		
с отдельным запуском	ТР		

Таблица 57

Серия ИС	Входные параметры серии	Тип микросхемы	Функциональное назначение	Потребляемая микросхемой мощность $P$ , мВт	Время распространения сигнала $t_{нс}$	Нагрузочная способность $N$	Коэффициент объединения по входу $L$	Конструкция корпуса
К107	$E_{п} = -15 \text{ В} \pm 10\%$ $U_{в} = 11 \text{ В}$ $U_{н} = 2 \text{ В}$ $\Delta U = 1 \text{ В}$	К1ЛР071	2 логических элемента «И—ЗЛИ—НЕ»	24	—	—	4	Рис. 36, г
		К1ПР071	8-разрядный статический последовательный параллельный сдвиговый регистр	100	3 мкс	10	—	
109	$E_{п} = +3,0 \text{ В};$ $+5,0 \text{ В}$ $U_{в} > 2,5 \text{ В}$ $U_{н} < 0,3 \text{ В}$ $\Delta U = 0,9 \text{ В}$	1ЛБ091 А, Б, В, Г	3-входовая схема «И—НЕ»	12	35	12; 10; 8,5*	—	Рис. 36, г
		1ЛБ092 А, Б	3-входовая схема «И—НЕ» повышенной мощности	19	50	20; 16*	—	
		1ЛП091	Два 3-входовых расширителя по «И»	—	—	—	—	

Серия ИС	Входные параметры серии	Тип микросхемы	Функциональное назначение	Потребляемая микросхемой мощность $P_{\text{мВт}}$	Время разпространения сигнала $t_{\text{р, нс}}$	Нагрузочная способность $N$	Коэффициент объединения по входу $L$	Конструкция корпуса
113	$E_{\text{п}} = \pm 4,0 \text{ В}$ $U_{\text{в}} > 0,8 \text{ В}$ $U_{\text{н}} < 0,2 \text{ В}$ $\Delta U = 0,15 \text{ В}$	1ЛБ131 А, Б, В	Четыре 2-входовые схемы «ИЛИ—НЕ»	8	400; 300; 200 *	4	—	Рис. 36, з
		1ЛБ132 А, Б, В	Две 4-входовые схемы «ИЛИ—НЕ»	4	400; 300 *	4		
		1ЛБ133 А, Б, В	2-входовая схема «ИЛИ—НЕ» и 3-входовая схема «ИЛИ—НЕ» повышенной мощности	7, 11, 17	400; 300; 200 *	50		
		1ЛБ134 А, Б, В	3-входовая схема «ИЛИ—НЕ» повышенной мощности	7, 11, 17	400; 300; 200 *	50		
		1ЛБ135 А, Б, В	2-входовая схема «ИЛИ—НЕ» и три 2-входовых расширителя по «ИЛИ»	8	400; 300; 200 *	4		

113	$\left. \begin{array}{l} U_B > 2,2 \text{ В} \\ U_H < 0,5 \text{ В} \\ \Delta U = 0,7 \text{ В} \end{array} \right\}$	ПИЛ131 А, Б, В	Полусумматор	8	400; 300; 200 *	4
		1ТР131 А, Б, В	Триггер и 2-входовая схема «ИЛИ—НЕ»	8	400; 300; 200 *	4
115	$E_H = \pm 4,0 \text{ В} \pm \pm 10\%$ $U_H = 200 \text{ мВ}$	1ЛБ151	Четыре 2-входовых логических элемента «ИЛИ—НЕ»	—	100	4
		1ЛБ152	Два 4-входовых элемента «ИЛИ—НЕ»	—	100	4
		1ЛБ153	3-входовой логический элемент «ИЛИ—НЕ» с повышенной нагрузочной способностью и 2-входовой логический элемент «ИЛИ—НЕ»	—	200	10
		1ЛБ154	3-входовой логический элемент «ИЛИ—НЕ» с повышенной нагрузочной способностью	—	200	10

Рис. 36, з

Серия ИС	Входные параметры серии	Тип микросхемы	Функциональное назначение	Потребляемая микросхемой мощность $P_{\text{мк}}$ , мВт	Время распространения сигнала $t_{\text{р}}$ , нс	Нагрузочная способность $N$	Коэффициент объединения по входу $L$	Конструкция корпуса
115	$E_{\text{п}} = \pm 4,0 \text{ В} \pm 10\%$ $U_{\text{н}} = 200 \text{ мВ}$	1ЛП151	2-входовой логический элемент «ИЛИ—НЕ» и три 2-входовых логических расширителя по «ИЛИ»	—	100	4	—	
		1ЛС151	4-входовой логический элемент «ИЛИ—И» и 2-входовой логический элемент «ИЛИ—НЕ»	—	100	4		
		1МР151	Триггер и 2-входовой логический элемент «ИЛИ—НЕ»	—	100	4		
133	$E_{\text{п}} = \pm 5,0 \text{ В}$ $U_{\text{в}} > 2,4 \text{ В}$ $U_{\text{н}} < 0,4 \text{ В}$ $\Delta U = 0,4 \text{ В}$	1ЛБ331 А, Б	Две 4-входовые схемы «И—НЕ»	40	17; 27 *	10		Рис. 36, з

1ЛБ332 А, Б	8-входовая «И—НЕ»	20	26; 30 *	10
	Четыре 2-входовые схемы «И—НЕ»	80	17; 27 *	10
1ЛБ334 А, Б	Три 3-входовые схемы «И—НЕ»	60	17; 27 *	10
	Две 4-входовые схемы «И—НЕ» повышенной мощности	50	25; 38 *	30
1ЛБ337	Две 4-входовые схемы «И—НЕ» повышенной мощности с открытым коллектором	—	—	30
	Четыре 2-входовые схемы «И—НЕ» с откры- тым коллектором	—	—	10
1ЛР331 А, Б	Две схемы «2И— 2ИЛИ—НЕ»	60	21; 30 *	10

Рис. 36, з

—

8

$$\left. \begin{array}{l}
 U_B \geq 2,4 B \\
 U_H \leq 0,4 B \\
 \Delta U = 0,4 B
 \end{array} \right\}$$

133

Серия ИС	Входные параметры серии	Тип микросхемы	Функциональное назначение	Потребляемая микросхемой мощность $P$ , мВт	Время распространения сигнала $t_p$ , нс	Нагрузочная способность $N$	Коэффициент объединения по входу $L$	Конструкция корпуса
133	$\left. \begin{aligned} U_B &\geq 2,4 \text{ В} \\ U_H &\leq 0,4 \text{ В} \\ \Delta U &= 0,4 \text{ В} \end{aligned} \right\}$	1ЛР333 А, Б	Схема «2-2-2-ЗИ-ИЛИ-НЕ»	60	22, 33*	10	8	Рис. 36, з
		1ЛП331	Два 4-входовых расширителя по «ИЛИ»	20	—	—	—	
		1ЛП333	8-входовой расширитель по «ИЛИ»	10	—	—		
		1ТК331	Триггер	—	—	—		
		1ТК332	Триггер	—	—	—		
156	$\left. \begin{aligned} E_{п} &= +3,0 \text{ В}; \\ &+5,0 \text{ В} \\ U_B &\geq 2,5 \text{ В} \\ U_H &\leq 0,3 \text{ В} \\ \Delta U &= 0,4 \text{ В} \end{aligned} \right\}$	1ЛБ561 А, Б, В	6-входовая схема «И-НЕ»	23	45	6; 4; 2*	—	Рис. 36, з
		1ЛБ562	6-входовая схема «И-НЕ» повышенной мощности	34	40	16		

	1ЛБ563 А, Б, В	Две 4-входовые схемы	46	45	6; 4; 2*	
	1ЛБ564 А, Б, В	Два 4-входовых расширителя по «ИЛИ»	46	45	6; 4; 2*	
156	1ЛП561	Четыре 2-входовых расширителя по «И»	—	—	—	Рис. 36, а
166	К1НТ661 А	Коммутирующий элемент	0,1 Вт	—	—	Рис. 36, а
204	2ТК041	Триггер	37	250	8	6
	2ЛБ041	Две 3-входовые схемы «ИЛИ—НЕ»	68	100	10	6
	2ЛБ042	Две 2-входовые схемы «И—НЕ»	50	100	10	4
	2НҚ041	Четыре 2-входовых вентиля	—	10	1	4

$$E_{\text{п}} = \begin{cases} +4,0 \text{ В;} \\ -4,0 \text{ В} \end{cases}$$

$$\Delta U = 0,3 \text{ В}$$

Серия ИС	Входные параметры серии	Тип микросхемы	Функциональное назначение	Потребляемая микросхемой мощность $P_{\text{мвт}}$	Время распространения сигнала $t_{\text{нс}}$	Нагрузочная способность $N$	Коэффициент объединения по входу $L$	Конструкция корпуса
204	$E_{\text{п}} = +4,0 \text{ В}$ $-4,0 \text{ В}$ $\Delta U = 0,3 \text{ В}$	2ЛИ041	Схема совпадения для образования счетного входа триггера	18	10	1	4	Рис. 36, б
215	$E_{\text{п}} = +4,0 \text{ В};$ $+0,25 \text{ В};$ $\Delta U = 0,3 \text{ В}$	2ЛС151	Схема «2—2И—2ИЛИ»	—	25	5	—	Рис. 36, а
		2ЛС152	Две 2-входовые схемы «И—ИЛИ»	—	25	5	—	
		2ЛН151	Две схемы «НЕ»	—	40	5	—	
		2УИ151	Усилитель — разноститель сигнала	40	25	25	—	
217	$E_{\text{п}} = +3,0 \text{ В};$ $+6,0 \text{ В}$ $U_{\text{в}} > 2,7 \text{ В}$ $U_{\text{п}} < 0,3 \text{ В}$ $\Delta U = 0,5 \text{ В}$	2ЛБ171 А, Б	8-входовая схема «И—НЕ»	12	25	4; 6*	8	

2ЛБ172 А, Б	Две 3-входовые схемы «И—НЕ»	24	25	4; 6*	8
2ЛБ173	6-входовая схема «И—НЕ» повышенной мощности	25	25	8	8
2ЛБ174 А, Б	Три 2-входовые схемы «И—НЕ»	36	25	4; 6*	8
2ЛП171	Два расширителя «И—ИЛИ»	12	—	—	—
2ЛП172	Расширитель «8И—ИЛИ»	6	—	—	—
2ТК171 А, Б	Триггер комбинированный	50	2 МГц, 5 МГц	4	—
2ТР171 А, Б	Триггер с раздельным запуском	50	5 МГц	3; 4*	—
2ЛР171	Схема «2—3И—2ИЛИ—НЕ»	15	100	8	8

Рис. 36, в

Рис. 36, в

$$\left. \begin{aligned}
 U_B &> 2,7 \text{ В} \\
 U_H &\leq 0,3 \text{ В} \\
 \Delta U &= 0,5 \text{ В}
 \end{aligned} \right\}$$

217

Серия ИС	Входные параметры серии	Тип микросхемы	Функциональное назначение	Потребляемая микросхемой мощность $P_{нс}$ , мВт	Время распространения сигнала $t_{нс}$	Нагрузочная способность $N$	Коэффициент объединения по входу $L$	Конструкция корпуса
217	$\left. \begin{aligned} U_B &\geq 2,7 \text{ В} \\ U_H &\leq 0,3 \text{ В} \\ \Delta U &= 0,5 \text{ В} \end{aligned} \right\}$	2ЛП173	Диодный расширитель 2 («4И—ИЛИ»)	—	—	—	—	Рис. 36, в
		1НТ173	Четыре транзистора	—	—	—	—	
223	$\left. \begin{aligned} E_{п} &= -4 \text{ В} \pm \\ &\pm 10\% \end{aligned} \right\}$	2ЛБ231	4 логических элемента «ЗИЛИ—НЕ» (вентили)	128	15	—	—	Вага 1Б
		2ЛБ232	Логические элементы «4ИЛИ/4ИЛИ—НЕ—8ИЛИ» (сборки)	112	15	—	—	
		2ИЛ231	Полусумматор	250	30	—	—	
		2ИД231	Дешифратор	171	15	10	—	

223	$U_{в} = 1,45 \text{ В}$ $U_{н} = 0,85 \text{ В}$ $\Delta U = 0,15 \text{ В}$	2ИЕ231	Счетчик — сдвиговой регистр	185	50	—	—
		2ТР231	2 триггера с разделенными входами	128	35	—	—
	$E_{пз} = +5 \text{ В} \pm 10\%$	2ЛБ401 А, Б, В	Логические элементы «И—НЕ»	210	50	6; 4; 2 *	—
		2ЛБ402	Логические элементы «И—НЕ» с повышенной нагрузочной способностью	450	70	16	—
	$E_{пз} = 38 \pm 10\%$ (кроме 2ЛБ402)	2ЛБ403 А, Б, В	Логические элементы «И—НЕ» без коллекторных сопротивлений	135	50	6; 4; 2 *	—
		2ЛБ404 А, Б, В	Логические элементы «И—НЕ»	300	50	6; 4; 2 *	—
240	$U_{в} = 2,5 \text{ В}$ $U_{н} = 0,3 \text{ В}$ $\Delta U \leq 0,4 \text{ В}$	2ЛБ405	Логические элементы «И—НЕ» с возможностью расширения	300	50	2 (4)	—
		2ЛБ406 А, Б, В	Логические элементы «И—НЕ» с бездиодными выходами	190	50	6, 4, 2 *	—

Серия ИС	Входные параметры серии	Тип микросхемы	Функциональное назначение	Потребляемая микросхемой мощность, P, мВт	Время распространения сигнала, $t_{нс}$ , пс	Нагрузочная способность, N	Коэффициент объединения по входу, L	Конструкция корпуса
240	$\left. \begin{aligned} U_B &= 2,5 \text{ В} \\ U_H &= 0,3 \text{ В} \\ \Delta U &\leq 0,4 \text{ В} \end{aligned} \right\}$	2ЛП401	Расширители по входу «И»	135	—	—	—	254БМС36-1
		2ИЛ401 Б, В	Полусумматоры	360	190	4; 2*		
		2ИС401 А, Б	Сумматор	300	430	6; 4*		
		2ИР401 А, Б	Регистр	420	340	6; 4*		
		2ИР402 А, Б	Регистр хранения	380	180	6; 4*		
		2ИР403 А, Б	Реверсивный регистр сдвига	430	180	6; 4*		
		2ИЕ401 А, Б	Реверсивный счетчик	250	275	6; 4*		

\* Приведенные параметры относятся соответственно к модификациям А, Б, В и Г.

Тип БИС	Функциональное назначение	Потребляемая мощность $P$ , Вт	Рабочая частота $f$	Тип монокристалла, использованного в микросхеме
2ИЕ5Т1	Четыре независимо работающих триггера со счетными входами	35 мВт	300 кГц	Серия 113
2ЖЛ9Т4	Запоминающий регистр на 8 разрядов	1,2		
2ЖЛ9Т5	Сдвиговый регистр на 4 разряда	1,2		
2ЖЛ9Т1	Универсальный асинхронный счетчик на 4 разряда	1,0	10 МГц	Серия 133
2ЖЛ9Т2	Универсальный реверсивный счетчик на 4 разряда	1,8		
2ЖЛ9Т3	Универсальный синхронный счетчик на 4 разряда	1,5		

## Г Л А В А VI

## ФОТОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ

## § 21. Общая характеристика и условные обозначения

Фотоэлектронные приборы (фотоприборы) основаны на принципе использования фотоэлектронной эмиссии. Фотоэлектронная эмиссия — вылет электронов из катода, вызванный воздействием видимого света, ультрафиолетовых, инфракрасных или рентгеновских лучей на поверхность металла (фотокатода). Закон Столетова (первый закон фотоэффекта) определяет зависимость между количеством освобожденных электронов  $N$  и величиной светового потока  $\Phi$ , падающего на поверхность фотокатода:  $N = K\Phi$ , где  $K$  — коэффициент пропорциональности, определяемый материалом катода и типом излучающего источника. Явление фотоэмиссии используют для создания фотоприборов, широко применяющихся в промышленной электронике.

Вторичная электронная эмиссия — вылет электронов из катода в результате бомбардировки его быстро движущимися электронами и ионами. Отношение тока  $I_2$ , образуемого вторичными электронами, к току  $I_1$  первичных электронов называется *коэффициентом вторичной эмиссии* и обозначается  $\sigma$ . Вторичная эмиссия используется для усиления фототоков в фотоэлектронных умножителях.

В группу фотоприборов входят фотоэлементы (вакуумные, газонаполненные или полупроводниковые), фотоэлектронные умножители, фоторезисторы, фотодиоды и фототриоды.

Различают фотоприборы, основанные на использовании внешнего и внутреннего фотоэффекта. Под внешним фотоэффектом понимают выход свободных электронов поверхностного слоя вещества фотокатода в окружающее пространство под воздействием света, под внутренним фотоэффектом — изменение электропроводности или возникновение э. д. с. на границе двух веществ под воздействием света.

Фотоприборы широко применяют в автоматических контрольных и измерительных системах, вычислительной технике, фототелеграфии, звуковоспроизводящей аппаратуре, в кинематографии, в спектрофотометрии, а также для преобразования световой энергии в электрическую (солнечные батареи).

Условные обозначения вакуумных и газонаполненных фотоэлементов состоят из трех элементов (табл. 59).

Условные обозначения фотоэлектронных умножителей состоят из трех элементов: 1-й элемент — буквы ФЭУ, 2-й элемент — число — порядковый номер разработки, 3-й элемент — буква — разновидность типа прибора (А, Б и т. п.).

Условные обозначения полупроводникового фоторезистора состоят из четырех элементов (табл. 60).

Условные обозначения фотодиодов и фототриодов состоят из двух (табл. 61) или трех элементов. 3-го элемента обозначения — буква, буква и цифра (характеризуют разновидность типа прибора) может не быть.

Общими для всех видов фотоэлектронных приборов являются следующие основные характеристики:

*световая (интегральная) характеристика* — зависимость фототока  $I_{\phi}$  от светового потока  $\Phi$ , падающего на фоточувствительный слой. При этом интегральная чувствительность  $K = I_{\phi} / \Phi$  мкА/лм при постоянном напряжении  $U_a$  между фотокатодом и анодом; анодная чувствительность  $K_a = I_{a, \text{вых}} / \Phi$  А/лм, где  $I_{a, \text{вых}}$  — выходной анодный фототок;

Т а б л и ц а 59

1-й элемент — буквы — характеризуют материал фотокатода	2-й элемент — буква — характеризует тип прибора	3-й элемент — число (порядковый номер разработки)
Ц — кислородно-цезиевый СЦ — сурьмяно-цезиевый СЦВ — висмутосурьмяно-цезиевый	В — вакуумный Г — газонаполненный	Присваивается заводом-изготовителем

Примечание. Вакуумные фотоэлементы могут иметь букву Ф вместо первых двух элементов обозначения, например Ф-3.

Таблица 60

1-й элемент — буквы — характеризуют тип прибора	2-й элемент — буква — характеризует тип светочувствительного материала	3-й элемент — буква — характеризует конструктивные особенности прибора	4-й элемент — число (порядковый номер разработки)
ФС — фотосопротивление	А — сернистый свинец Б — сернистый висмут К — сернистый кадмий Д — селенистый кадмий	М — монокристаллический Г — герметизированный	Присваивается заводом-изготовителем

Примечание. 3-го элемента обозначения может не быть.

Таблица 61

1-й элемент — буквы — характеризуют тип прибора	2-й элемент — число (порядковый номер разработки)
ФД — германиевый фотодиод ФДК — кремниевый фотодиод ФТ — фототриод	Присваивается заводом-изготовителем

*вольтамперная характеристика* — зависимость фототока  $I_{\Phi}$  от напряжения между фотокатодом и анодом  $U_a$  при постоянном световом потоке  $\Phi$ ;

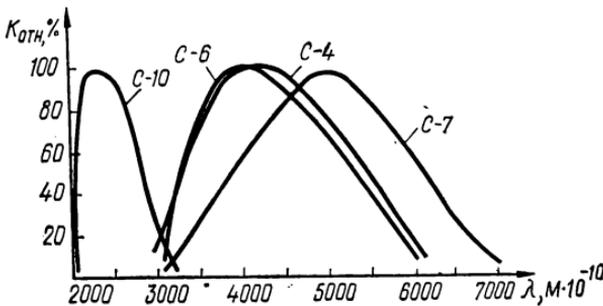


Рис. 37. Спектральные характеристики фотокатодов:

$K_{отн}$  — относительная чувствительность фотокатода,  
 $\lambda$  — длина волны

*характеристика спектральной чувствительности* — зависимость относительной величины фототока  $I_{\Phi}$  от длины волны  $\lambda$  падающего на фотокатод излучения.

Область максимальной спектральной чувствительности основных типов фотокатодов показана на рис. 37 и приведена в табл. 62.

Т а б л и ц а 62

Тип фотокатода	Материал фотокатода	Область максимальной спектральной чувствительности при длине волны, $\cdot 10^{-10}$
С-1	Кислородно-серебряно-цезиевый	6000—9000
С-3	Сурьмяно-цезиевый	3000—5000
С-4		4000—5000
С-6		3500—5000
С-15		3000—5000
С-5		Висмута-серебряно-цезиевый
С-7	3500—6500	
С-10	Магниевоый	2100—2600
С-8	Сурьмяно-натриево-калиево-цезиевый	3500—5500
С-11		3500—5500
С-13		3000—4500

## § 22. Вакуумные фотоэлементы

Вакуумный фотоэлемент (ВФ) основан на внешнем фотоэффекте и представляет собой стеклянный баллон, внутри которого создан вакуум и помещены два электрода — анод и катод (рис. 38). Под воздействием света изменяется фотоэлектронная эмиссия, и фототок  $I_{\Phi}$  в цепи источника, подключенного к фотоэлементу, равен  $K R_i / (R_i + R_n)$  при постоянном напряжении  $U_a$ , где  $K$  — интегральная чувствительность.

Типовые вольтамперные характеристики вакуумного фотоэлемента приведены на рис. 39, а, а световая характеристика  $I_{\Phi} = f(\Phi)$  — на рис. 39, б.

Фотоэлементы характеризуются в основном следующими параметрами:

Таблица 63

Тип вакуумного фотоэлемента	Материал фотокаатода	Напряжение питания $U_a, В$		Темновой ток $I_T, мкА$	Интегральная чувствительность $K, мкА/лм$	Долговечность, ч	Габариты, мм	
		номинальное	наибольшее				длина	диаметр
СЦВ-3	Сурьмяно-цезиевый	240	300	0,01	80—140	1000	62	26
СЦВ-4		240		0,10	80—170	1000	129	40
СЦВ-51		240		0,01	80—140	5000	63	31
Ф-1		100		$10^{-8}$	70—130	—	105	42
Ф-2 (двух-анодный)		100		0,01	15—70	—	67	20
Ф-3	Висмутосеребряно-цезиевый	50		$10^{-8}$	40—115	—	163	90
Ф-4	Сурьмяно-цезиевый	100		$5 \cdot 10^{-5}$	62	—	104	42
Ф-5		100		$7 \cdot 10^{-5}$	—	—	104	42
Ф-6		100		$10^{-5}$	40—80	500	76	33
Ф-7	Магнисвый	100		$10^{-5}$	—	—	97	44
Ф-8	Сурьмяно-цезиевый	150	0,01	80	—	62	26	
Ф-9	Сурьмяно-калиево-натриево-цезиевый	100	$3 \cdot 10^{-7}$	100	—	88	40	
Ф-10		100	$10^{-6}$	80	—	100	62	
Ф-13		100	$10^{-7}$	40	3000	62	40	
Ф-16	Мультищелочной	100	—	100	100	55	55	
Ф-18	Сурьмяно-цезиевый рублидиевый	100	0,01	—	100	26	30	

Тип вакуумного фотоэлемента	Материал фотокаатода	Напряжение питания $U_a$ , В		Темновой ток $I_T$ , мкА	Интегральная чувствительность $K$ , мкА/лм	Долговечность, ч	Габариты, мм	
		номинальное	наибольшее				длина	диаметр
Ф-19	Сурьмяно-цезиевый	100	300	$10^{-6}$	65	1000	32	60
Ф-21	Кислородно-серебряно-цезиевый	100		$10^{-4}$	—	5000	33	41
Ф-22	Сурьмяно-калиево-натриево-цезиевый	100		$10^{-7}$	—	5000	37	45
Ф-23	Кислородно-серебряно-цезиевый	100		$10^{-5}$	10	200	48	42

Примечание. Указанные типы фотоэлементов устойчиво работают в диапазоне температур  $(10 \div 30)^\circ \text{C}$ .

*интегральная чувствительность  $K$ ;*  
*темновой ток  $I_T$  — ток, возникающий от термоэмиссии, измеренный в абсолютной темноте;*  
*материал фотокаатода;*  
*напряжение питания;*  
*габариты; долговечность; интервал рабочих температур.*

Характерным свойством фотоэлементов с внешним фотоэффектом является «старение» («утомляемость»), т. е. изменение параметров в процессе эксплуатации (особенно за первые 100—200 ч).

Параметры некоторых основных типов вакуумных фотоэлементов, имеющих широкое применение, приведены в табл. 63, а габаритные чертежи и цоколевка — на рис. 40.

## § 23. Газонаполненные фотоэлементы

Газонаполненный фотоэлемент основан на внешнем фотоэффекте и представляет собой стеклянный баллон, наполненный инертным газом (обычно аргоном), в который помещены два электрода — анод и катод. Схема включения в цепь газонаполненного фотоэлемента аналогична схеме для вакуумного фотоэлемента (см. рис. 38). Наполнение инертным газом вызывает самостоятельный разряд и повышает чувствительность фотоэлемента.

Типовая вольтамперная характеристика газонаполненного фотозлемента показана на рис. 41, а. На участке  $O-a$  рост  $U_a$  вызывает увеличение тока  $I_\phi$  (как и в вакуумном фотозлемента), на участке  $a-b$  ток  $I_\phi$  практически постоянен — режим насыщения, на участке  $b-e$  (при больших значениях  $U_a$ ) ток растет вследствие воз-

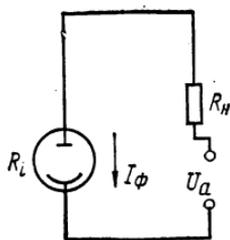


Рис. 38. Схема включения вакуумного фотозлемента:  
 $R_n$  — сопротивление нагрузки,  $R_i$  — внутреннее сопротивление фотозлемента

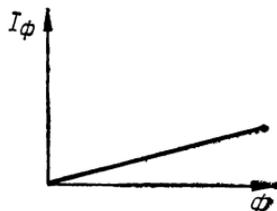
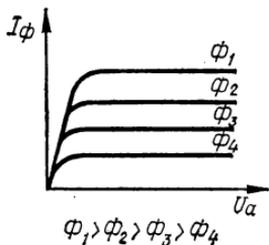


Рис. 39. Типовые характеристики вакуумного фотозлемента:  
 а — вольтамперная, б — световая  
 а — вольтамперная, б — световая

никновения ударной ионизации газа. Световая характеристика газонаполненного фотозлемента изображена на рис. 41, б. Большая величина интегральной чувствительности (до 300 мкА/лм) позволяет

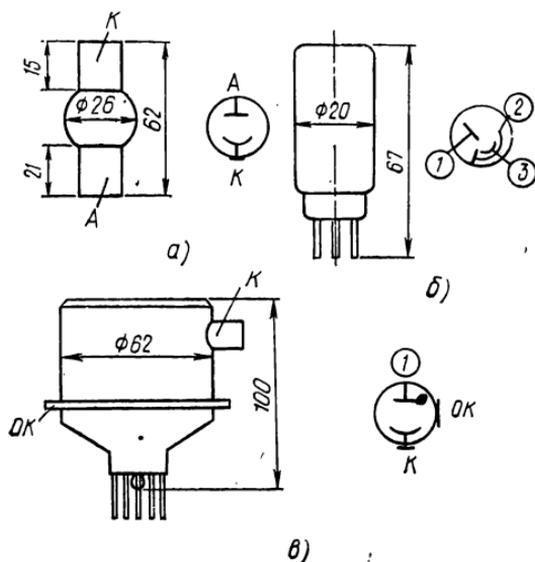


Рис. 40. Габаритные чертежи и цоколевка вакуумных фотозлемента:

а — СЦВ-3 (А — анод, К — катод), б — Ф-2 (1 — основной анод, 2 — дополнительный анод, 3 — катод), в — Ф-10 (1 — анод, К — катод, ОК — охранный кольцо)

Таблица 64

Тип газонаполненного фотоэлемента	Напряжения питания $U_a$ , В		Темновой ток $I_T$ , мкА	Интегральная чувствительность $K$ , мкА/лм	Долговечность, ч	Габариты, мм	
	номинальное	наибольшее				длина	диаметр
ЦГ				75		131	56
ЦГ-3	240	300	0,2	100	700	62	26
ЦГ-4				100		129	40

Примечание. Указанные приборы устойчиво работают в диапазоне температур  $(10+30)^\circ\text{C}$ .

использовать эти фотоэлементы при работе со слабыми световыми потоками.

Газонаполненные фотоэлементы характеризуются в основном теми же параметрами, что и вакуумные, и, кроме того, коэффициентом

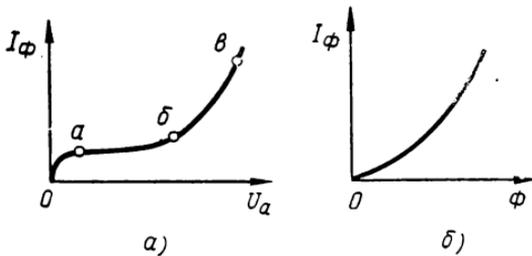


Рис. 41. Типовые характеристики газонаполненного фотоэлемента:

*a* — вольтамперная, *b* — световая

том газового усиления  $K_r$ , который определяет степень увеличения фототока за счет ионизации газа:  $K_r = I_\phi / I_0$ , где  $I_\phi$  — фототок при наличии ионизации,  $I_0$  — ток при отсутствии ионизации. Обычно  $K_r = 3+7$ .

Параметры некоторых основных типов газонаполненных фотоэлементов, имеющих широкое применение, приведены в табл. 64, а условное обозначение и габаритный чертеж прибора ИГ-3 — на рис. 42.

## § 24. Фотоэлектронные умножители

Фотоэлектронный умножитель (ФЭУ) — прибор, основанный на использовании вторичной эмиссии, представляет собой стеклянный баллон, внутри которого создан вакуум и помещены электроды — анод, фотокатод (первичный) и диоды (вторичные катоды). Под воздействием освещения возникает фотоэлектронная эмиссия из

первичного катода. Электроны, эмиттируемые им, направляются к вторичному катоду.

Однокаскадный фотоэлектронный умножитель (рис. 43, а) осуществляет небольшое усиление фототока. Многокаскадные фотоумножители (рис. 43, б) содержат до 13 динодов; электроны, эмиттируемые фотокатодом, направляются к первому диноду  $K1$ ; эмиттируемые им вторичные электроны направляются ко второму диноду  $K2$  и т. д. Коэффициент вторичной электронной эмиссии каждого динода  $\sigma = 4 \div 7$ ; общее усиление фототока многокаскадным умножителем определяется из соотношения  $K_i = I_0 \sigma^i$ , где  $K_i$  — коэффициент усиления по току;  $i$  — число динодов (число каскадов усиления);  $I_0$  — фототок первичного катода;  $\sigma$  — коэффициент вторичной эмиссии (отношение числа вторичных электронов к числу первичных, поступивших на данный динод).

Интегральная чувствительность фотоэлектронного умножителя  $K_{\Sigma} = K K_i$ , где  $K$  — интегральная чувствительность фотокатода. Фотоэлектронные умножители, сочетающие управление током с его усилением (коэффициент усиления многокаскадных приборов достигает  $10^6$ ), применяют для усиления фототоков.

Фотоэлектронные умножители характеризуются в основном теми же параметрами, что и вакуумные фотоэлементы, и, кроме того, всегда указывается количество каскадов усиления  $i$ .

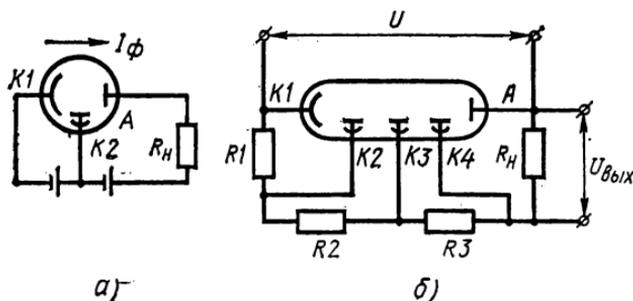


Рис. 43. Фотоэлектронный умножитель: а — однокаскадный, б — многокаскадный; А — анод,  $K1$  — первичный катод,  $K2 - K4$  — вторичные катоды (диноды)

Параметры основных типов фотоэлектронных умножителей приведены в табл. 65.

## § 25. Фоторезисторы

Фоторезистор основан на внутреннем фотоэффекте и представляет собой полупроводниковую пластинку или пленку, сопротивление которой изменяется под действием освещения. Структура фоторезистора показана на рис. 44, а. Светочувствительный слой 1 нанесен на стеклянную пластинку 2, от которой отходят электроды 3. Когда на фоторезистор подано напряжение  $U$ , но не падает свет, протекает небольшой темновой ток  $I_T$ . При освещении через фото-

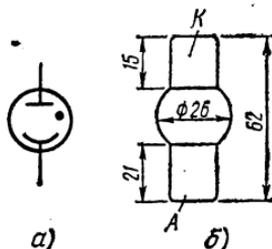


Рис. 42. Газонаполненный фотоэлемент: а — условное обозначение, б — габаритный чертеж прибора ИГ-3

Таблица 65

Тип фото-электронного умножителя	Число каскадов $i$	Напряжение питания $U$ , В	Анодная чувствительность $K_a$ , А/лм	Темновой ток $I_T$ , мкА	Выходной анодный ток $I_{a.вых}$ , мкА	Долговечность, ч	Интервал рабочих температур, °С	Габариты, мм	
								длина	диаметр
ФЭУ-1	1	220	0,4	0,10	5	100		106	38
ФЭУ-2	1	250	0,4	0,10	5	100	-20 ÷ +45	71	30
ФЭУ-4	1	240	0,6	1·10 <sup>-8</sup>	—	—	/	100	38
ФЭУ-5	1	240	—	—	—	100	-20 ÷ +45	103	66
ФЭУ-15	12	2000	30	0,02	—	1000	-60 ÷ +70	113	36
ФЭУ-16	12	2200	30	0,4	5000	1000	-60 ÷ +50	113	36
ФЭУ-17А	13	900	10	0,003	100	—	-50 ÷ +50	181	60
ФЭУ-20	8	1000	1	0,008	100	800	-60 ÷ +50	95	34
ФЭУ-24	13	1400	10	0,3	200	—	-50 ÷ +60	236	80
ФЭУ-27	11	1200	1	0,005	200	500	-50 ÷ +50	106	30
ФЭУ-28	11	1500	1	0,3	100	500	-50 ÷ +50	122	34
ФЭУ-29	13	1000	10	0,01	200	2000	-50 ÷ +50	200	60

ΦЭУ-30	14	2500	1000	8	400	1000	-50 ÷ +50	210	68
ΦЭУ-31A	8	850—1300	10	0,5	50	500	-60 ÷ +50	79	22
ΦЭУ-35	8	900	1	0,002	50	3000	-60 ÷ +50	113	34
ΦЭУ-35A		1200	10	0,01		1000			
ΦЭУ-36	11	1300	10	0,03	200	1500	-50 ÷ +50	178	48
ΦЭУ-39A		1200		0,003	100	1000			
ΦЭУ-49Б	12	1800	10	0,3	10 000	1000	-60 ÷ +70	170	190
ΦЭУ-51	11	2300	100	0,3	100	100	-50 ÷ +50	110	34
ΦЭУ-52Б	12	1700	10	0,06	10 000	1000	-60 ÷ +70	120	80
ΦЭУ-54	14	1550	10	0,04	500	1000	-60 ÷ +70	90	22
ΦЭУ-55				0,06					

Тип фото-электронного умножителя	Число каскадов $i$	Напряжение питания $U$ , В	Анодная чувствительность $K_a$ , А/лм	Темновой ток $I_r$ , мкА	Выходной анодный ток $I_{a, \text{вых}}$ , мкА	Долговечность, ч	Интервал рабочих температур, °С	Габариты, мм	
								длина	диаметр
ФЭУ-58	12	2000	30	0,2	90 000 в импульсе	1000	-60 ÷ +70	90	22
ФЭУ-60	10	1400	10	0,01	50	1000	-40 ÷ +50	70	15
ФЭУ-68			1						
ФЭУ-62	11	1300	1	0,06	100 000	—	-40 ÷ +50	95	35
ФЭУ-63	14	2700	100	0,03	400	—	—	295	125
ФЭУ-65		2900	100						
ФЭУ-66	11	1300	1	0,002	30	—	-40 ÷ +120	193	44
ФЭУ-67	8	1050	3	150	5	800	-50 ÷ +50	79	22
ФЭУ-67Б		1350	10						
ФЭУ-72	13	2100—2900	100—1000	10	200	1000	-50 ÷ +50	160	70
ФЭУ-73	11	4000	1000	500	800	1000	—	562	320

ΦЭУ-74	11	1300—1900	1—30	0,002	30	1000	—40÷+120	118	29
ΦЭУ-78 ΦЭУ-78А	14	2200	100	—	300	2000	—50÷+60	160	52
ΦЭУ-79	11	1900—2500	100—1000	0,04	100	750	—50÷+50	97	30
ΦЭУ-80	11	1750	100	—	50	1000	—50÷+50	97	30
ΦЭУ-81	10	1600—2000	10—100	0,005—0,8	10 000	2000	—190÷+70	120	52
ΦЭУ-82 ΦЭУ-82А	12	1600—2000	10—100	0,08—10	10 000	2000	—60÷+70	150	80
ΦЭУ-83	12	1300—2100	1—10	0,09—9	3000	1000	—60÷+50	119	83
ΦЭУ-84	12	1900	100	0,05	5000	1000	—60÷+70	118	34
ΦЭУ-85	11	900—1250	10—100	0,02—0,01	50	2000	—60÷+60	170	44
ΦЭУ-86	10	1600	100	—	5	500	—50÷+50	87	20
ΦЭУ-87	11	2200—3300	100—3000	0,1—5	50	1000	—50÷+50	127	30

Тип фото- электронного умножителя	Число каскадов $i$	Напряжение питания $U$ , В	Анодная чувствитель- ность $K_a$ , А/лм	Темновой ток $I_1$ , мкА	Выходной анодный ток $I_{a.вых}$ , мкА	Долговеч- ность, ч	Интервал работы тем- ператур, °С	Габариты, мм	
								длина	диаметр
ФЭУ-91	12	2000	30	0,05	50	2000	-60 ÷ +60	180	40
ФЭУ-92	12	2000	30	0,0025	2000	2000	-60 ÷ +60	170	40
ФЭУ-93	12	1600—2100	10—100	0,05—0,8	10 000	2000	-60 ÷ +70	120	52
ФЭУ-94	11	1500	10	0,06	10 000	2000	-60 ÷ +70	190	130
ФЭУ-95	12	1500	100	0,3	10 000	2000	-60 ÷ +70	260	200
ФЭУ-96	14	1800	—	0,0005	500	1000	-60 ÷ +70	90	22
ФЭУ-97	14	1700	30	0,06	10 000	2000	-60 ÷ +70	117	52
ФЭУ-99	11	1700	—	—	50	1000	-50 ÷ +50	100	34
ФЭУ-100	11	1500—2700	1—1000	0,0004—0,003	10	1000	-50 ÷ +50	100	34
ФЭУ-102	10	2000	10	0,003	30	1000	-40 ÷ +150	30	20
ФЭУ-103	14	1800	30	0,005		1000	-50 ÷ +50	85	15

резистор протекает дополнительная составляющая  $I_\Phi$ , образующая вместе с темновым током световой ток  $I_c = I_T + I_\Phi$ , т. е.  $I_\Phi = I_c - I_T$ . Отношение  $I_\Phi/I_T$  обычно равно 10—25. Типовая вольтамперная характеристика фоторезистора изображена на рис. 44, б, типовая световая характеристика — на рис. 44, в.

В отличие от фотоэлемента с внешним фотоэффектом фоторезисторы обладают большой инерционностью, что препятствует их

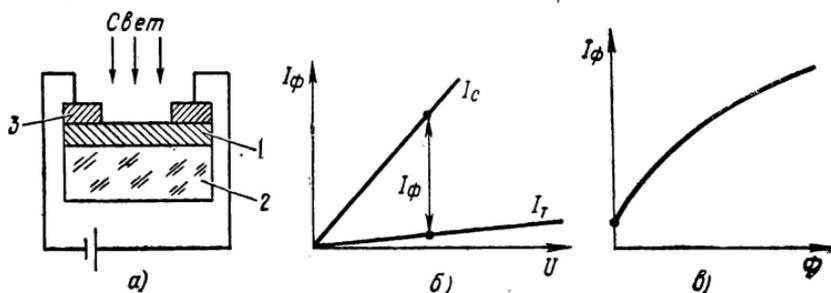


Рис. 44. Фоторезистор

а — структура (1 — светочувствительный полупроводниковый слой, 2 — стеклянная пластинка, 3 — металлический электрод), б — вольтамперная характеристика, в — световая характеристика

использованию в быстродействующих устройствах. Однако фоторезисторы широко применяют благодаря ряду ценных качеств: их чувствительность значительно больше чувствительности фотоэлементов с внешним фотоэффектом, что позволяет обходиться без усилителей фототока; фоторезисторы обладают малыми габаритами и малой утомляемостью. Сурнисто-свинцовые фоторезисторы используют в устройствах автоматики, металлургических фотореле и радиационной пирометрии, селенисто-кадмиевые — в приборах автоматического контроля (в мостовых и дифференциальных фотоэлектрических схемах, вычислительных устройствах и т. п.).

Фоторезисторы характеризуются в основном следующими параметрами:

*приложенное напряжение  $U$ ;*

*допустимая мощность рассеяния  $P_{\text{доп}}$ ;*

*темновое сопротивление  $R_T$  — сопротивление затемненного фоторезистора;*

*световое сопротивление  $R_c$  — сопротивление освещенного фоторезистора;*

*кратность изменения сопротивления при освещении фоторезистора — отношение светового сопротивления к темновому  $R_c/R_T$ ;*

*удельная чувствительность  $K_0 = I_\Phi/\Phi U$  — чувствительность, характеризующая величину фототока  $I_\Phi$ , протекающего через фоторезистор, при освещении световым потоком  $\Phi = 1$  лм и напряжении  $U = 1$  В;*

*интегральная чувствительность  $K = K_0 U$ ;*

*габариты; долговечность; диапазон рабочих температур.*

Параметры некоторых основных типов фоторезисторов, имеющих широкое применение, приведены в табл. 66, габаритные чертежи — на рис. 45, а, б, в.

Фоторезисторы широко используют в фотодатчиках, которые обозначают указанным в табл. 67 способом.

Таблица 66

Тип фоторезистора	Рабочее напряжение $U$ , В	Темновое сопротивление $R_T$ , Ом	Мощность рассеяния $P$ доп. Вт	Удельная чувствительность $K_0$ , мкА/(лм·В)	Кратность изменения сопротивления * $R_C/R_T$	Габариты, мм	
						высота	диаметр
ФС-А0	15—60	$10^4—10^5$	0,002	500	1,2	17	28
ФС-А1						18	33
ФС-А4						18	33
ФСА-Г1						15	22
ФСА-Г2						32	33
ФС-А6	15—30	$5 \cdot 10^4$	0,010	500	1,2	16	28
ФС-К0	400	$10^7$	0,200	6000	140,0	16	28
ФС-К1						16	28
ФСК-Г1						15	22
ФС-К2	300	$10^6$	0,150	2500	35,0	16	28
ФС-К4	400	$10^7$	0,200	6000	140,0	19	24
ФС-К5	100	$5 \cdot 10^6$	0,050	6000	140,0	—	—
ФС-К6	300	$2 \cdot 10^6$	0,300	6000	140,0	16	28
ФС-К7	100	$2 \cdot 10^7$	0,600	3500	7,5	—	—
ФС-Д0 ФС-Д1 ФСД-Г1	300	$2 \cdot 10^6$	0,050	30 000	500,0	16	22

\* Значения  $K_0$  и  $R_C/R_T$  приведены при освещенности 200 лк.

Таблица 67

1-й элемент — буквы — характеризуют тип приборов	2-й элемент — буква — характеризует конструктивные особенности	3-й элемент — буква — характеризует электрические особенности	4-й элемент — число — характеризует диаметр входного светового отверстия, мм	5-й элемент — буква — характеризует спектральные особенности
ФД — фотодатчики	М — малогабаритный (приборы обычного размера не имеют этого элемента)	У — с усилением сигнала (приборы без усиления сигнала не имеют этого элемента)		К — красный З — зеленый С — синий (приборы обычного — белого — цвета не имеют этого элемента) Т — реагирует на тепловое излучение

Таблица 68

Тип фотодатчика	Диаметр входного отверстия, мм	Величина выходного сигнала / вых., мА	Время срабатывания фотодатчика $t_{с.с}$	Габариты, мм
ФД-М-У10	10	5	0,10	Диаметр 30, длина 100
ФД-У10	10	5	0,10	120 × 100 × 50
ФД-20 ФД-Б20 ФД-У20 ФД-У20С ФД-У20З ФД-У20К ФД-20Т ФД-У20Т	20	2 5 5 5 5 5 2 5	0,15 0,02 0,10 0,10 0,10 0,10 0,15 0,10	120 × 100 × 60
ФД-40 ФД-Б40 ФД-У40 ФД-40Т ФД-У40Т	40	2 5 5 2 5	0,15 0,02 0,10 0,15 0,10	150 × 100 × 60

Параметры некоторых основных типов фотодатчиков, имеющих широкое применение, приведены в табл. 68.

## § 26. Фотодиоды и фототриоды

**Фотодиод** основан на внутреннем фотоэффекте (фотоэффекте в запирающем слое) и представляет собой два полупроводника с различным характером проводимости, разделенные  $p-n$ -переходом.

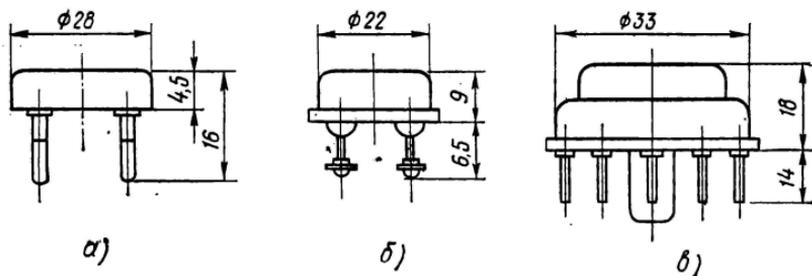


Рис. 45. Габаритные чертежи фоторезисторов:

*a* — ФС-А6, ФС-К6, *б* — ФСА-Г1, *в* — ФСА-Г2.

В зависимости от наличия или отсутствия источника э. д. с. фотодиоды могут работать в режиме фотопреобразователя (рис. 46, *a*) или в режиме фотогенератора (рис. 46, *б*). При отсутствии освещенности через фотодиод протекает темновой ток  $I_T$ , при освещении диода — световой ток  $I_c$ .

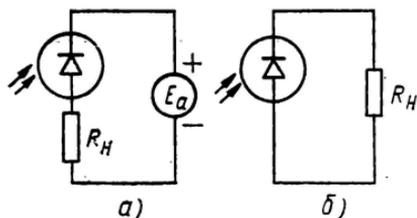


Рис. 46. Схемы включения фотодиода:

*a* — в режиме преобразователя, *б* — в режиме фотогенератора

Для обеспечения наилучшего попадания света на  $p-n$ -переход фотодиоды снабжают миниатюрными собирательными линзами, смонтированными в корпусе прибора.

Типовые вольтамперные характеристики фотодиода показаны на рис. 47 (*I* — четверть — прямое включение, *II* — вентильный режим, *III* — фотодиодный режим), типовые

световые характеристики — на рис. 48.

Фотодиоды широко применяют в различных областях:

германиевые — в качестве индикаторов инфракрасного излучения;

кремниевые — для преобразования световой энергии в электрическую («солнечные батареи» для автономного питания различной аппаратуры, работающей, например, в космосе);

селеновые — для фотоэкспометров и светотехнических измерений, так как их спектральная характеристика близка к характеристике человеческого глаза.

**Фототриод** основан на внутреннем фотоэффекте и представляет собой полупроводниковый кристалл с двумя  $p-n$ -переходами, включенными последовательно. Управление током осуществляется

Таблица 69

Тип фотоприбора	Рабочее напряжение $U_a$ , В	Темновой ток $I_T$ , мкА	Долговечность, ч	Габариты, мм	
				длина	диаметр
ФД-1	15	30	500	18,0	8,20
ФД-2 (гр. 1)	30	25	500	2,2×10,0×15,0	
ФД-2 (гр. 2)	30	25	500		
ФД-3	10	10	100	9,0	3,85
ФД-3А	10	10	1000	9,0	3,85
ФД-5Г	15	8	—	10,0	8,00
ФД-6К	20	1	5000	14,0	5,50
ФД 7К	27	5	2000	6,5	19,60
ФД-9Э111А	10	10	—	17,1	8,00
ФД-9Э111Б	10	20	—	17,1	3,00
ФД-9Э111Г	10	25	—	17,1	8,00
ФД-9К	10	10	2000	9,0	11,00
1690	20	1	5000	12,5	3,87
1960-Б	20	1	5000	12,5	3,87
1690-В	20	3	1000	12,5	3,87
1691	0	3	5000	12,5	3,87
КФДМ	20	1	5000	12,0	3,87
ФТГ-3	5	50	10 000	6,3	8,70
ФТ-1К (гр. 1)	5	3	2000	10,0	3,90
ФТ-1К (гр. 2)	5	1	2000	10,0	3,90

путем воздействия светового потока на область базы. Чувствительность фототриода значительно больше чувствительности фотодиода и достигает 1 А/лм.

Параметры некоторых основных типов фотодиодов и фототриодов, имеющих широкое применение, приведены в табл. 69.

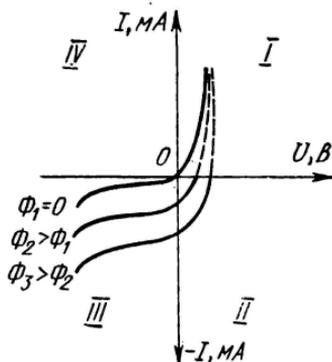


Рис. 47. Типовые вольт-амперные характеристики фотодиода

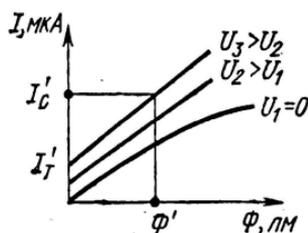


Рис. 48. Типовые световые характеристики светодиода:  $I'_\Phi$  — темновой ток при напряжении  $U_s$ ,  $I'_0$  — световой ток при напряжении  $U_s$  и световом потоке  $\Phi'$

## Г Л А В А VII

### ВЫПРЯМИТЕЛИ

#### § 27. Общая характеристика выпрямителей. Схемы выпрямления

Выпрямители — вентиляльные устройства для преобразования переменного тока в постоянный (выпрямления переменного тока) — используют в качестве источников питания электронных устройств автоматики в схемах регулируемого привода и автоматических устройствах различных технологических процессов. В зависимости от типа применяемых приборов (вентилей) различают кенотронные, газотронные, тиратронные и полупроводниковые (селеновые, германиевые и кремниевые) выпрямители. Основные элементы выпрямителей — трансформатор, вентиляльная группа и сглаживающий фильтр.

В зависимости от числа фаз, характера нагрузки выпрямителя и требований к пульсации выпрямленного тока схемы выпрямления делят на однофазные, трехфазные и многофазные, отличающиеся количеством плеч\*.

\* Плечо — совокупность обмотки трансформатора и выпрямляющих приборов, включенных последовательно с этой обмоткой.

В табл. 70 приведены наиболее распространенные схемы выпрямления, формы кривых выпрямленного тока и токов в первичной и вторичной обмотках трансформатора при работе выпрямителя на активную нагрузку.

В схеме 1 используется только часть мощности трансформатора, имеется большая переменная составляющая выпрямленного напряжения, высокое обратное напряжение, приложенное к диоду, и соответственно низкий к. п. д. выпрямителя. При работе на емкостную нагрузку обратное напряжение выпрямителя может достигать примерно тройной амплитуды переменного напряжения.

Схема 2 применяется в мощных выпрямителях для выпрямления низких напряжений, когда величины обратных напряжений допускают установку одного вентиля в плече. При этих условиях схема 2 предпочтительнее, чем схема 3, так как в последней используются минимум два вентиля, что удваивает потери от прямого тока.

В схеме 3 для двухполупериодного выпрямления используется только одна вторичная обмотка трансформатора, напряжение которой в два раза меньше суммарного напряжения двух обмоток, соединяемых последовательно по схеме 2; соответственно и обратное напряжение на каждой группе вентилях в два раза ниже, чем в схеме 2. Применение схемы наиболее целесообразно при больших токах и малых напряжениях.

Схема 4 в основном применяется при низких напряжениях. В схеме не полностью используется мощность трансформатора, получается значительная пульсация и вентили оказываются под действием большого обратного напряжения.

Схемы 5—8 преимущественно распространены в силовых выпрямителях. Они имеют трансформатор простой конструкции, высокий к. п. д., шестифазное выпрямление и дают наименьшую пульсацию.

Схемы выпрямления характеризуются следующими коэффициентами:

*коэффициент пульсации*  $K_{\text{п}}$  — отношение наибольшей величины (амплитуды) основной гармонической составляющей  $I_{\text{осн.м}}$  (или  $U_{\text{осн.м}}$ ) к величине среднего значения выпрямленного тока  $I_d$  (или  $U_d$ ):

$$K_{\text{п}} = \frac{I_{\text{осн.м}}}{I_d} = \frac{U_{\text{осн.м}}}{U_d};$$

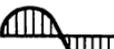
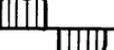
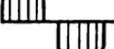
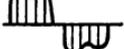
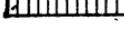
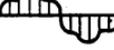
$$K_1 = \frac{I_1}{I_d}; \quad K_2 = \frac{U_2}{U_d}; \quad K_3 = \frac{I_2}{I_d}; \quad K_4 = \frac{U_{\text{обр}}}{U_d}; \quad K_5 = \frac{I_1}{I_d}; \quad K_{\text{тр}} = \frac{P_d}{P_{\text{тр}}},$$

где  $U_d$ ,  $I_d$  — среднее значение выпрямленного напряжения и тока;  $U_{\text{осн.м}}$ ,  $I_{\text{осн.м}}$  — амплитуда основной гармоники напряжения и тока;  $U_2$ ,  $I_2$  — действующее значение напряжения и тока во вторичной обмотке трансформатора;  $U_{\text{обр}}$  — амплитудное значение обратного напряжения;  $P_{\text{тр}}$  — мощность трансформатора;  $P_d$  — выпрямленная мощность;  $I_1$ ,  $I_d$  — действующее значение тока в первичной обмотке трансформатора и в линии.

В расчет полупроводникового выпрямителя входит: 1) выбор схемы; 2) выбор размера и класса вентилях; 3) определение количества вентилях, соединенных в последовательные и параллельные группы; 4) расчет режима вентилях; 5) расчет величины действующей

Номер	Схема выпрямления	Тип схемы
1		Однофазная однополупериодная
2		Однофазная двухполупериодная со средней точкой
3		Однофазная мостовая (Гретца)
4		Трехфазная однополупериодная $\Delta/\lambda$
5		Трехфазная мостовая (Ларионова) $\lambda/\lambda$
6		Трехфазная мостовая (Ларионова) $\Delta/\lambda$
7		Трехфазная мостовая (Ларионова) $\lambda/\Delta$
8		Трехфазная мостовая (Ларионова). $\Delta/\Delta$

Таблица 70

Формы кривых			Число фаз выпрямителя, $m$	Число плеч выпрямителя
Получаемый постоянный ток	в трансформаторе			
		вторичный фазовый ток	первичный фазовый ток	
			1	1
			2	2
			2	2
			3	3
			6	3
			6	3
			6	3
			6	3

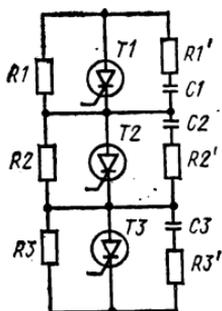
шего напряжения переменного тока, подводимого к выпрямительной части при холостом ходе и под нагрузкой; 6) установка параметров трансформатора, питающего выпрямительную часть; 7) определение потерь и к. п. д.

Расчетные параметры выпрямителя для активной нагрузки могут быть получены из табл. 71; исходными для расчета данными являются выпрямленный ток  $I_d$  и напряжение  $U_d$ .

Для получения напряжений, превышающих напряжение одного вентиля, включают последовательно нужное количество вентиляй.

При этом выравнивают падение напряжений в прямом и обратном направлениях. С этой целью параллельно вентилям  $T1 \div T3$  подключают конденсаторы  $C1 \div C3$  емкостью от 0,1 до 0,3 мкФ, последовательно с которыми подсоединяют ограничивающие сопротивления  $R1' - R3'$  (рис. 49) величиной от 5 до 20 Ом.

Точную величину этих сопротивлений подсчитывают по формуле



$$R' = \frac{0,8}{\sqrt{C}} \ln \left( \frac{\pi U_{\text{отп}} \sqrt{C}}{2(I_{\text{пр. доп}} - I_a)} \right),$$

Рис. 49. Схема последовательного включения тиристоров.

где  $C = t_{\text{восст}} I_a / U_{\text{отп}}$ ,  $t_{\text{восст}}$  — время восстановления запирающих свойств тиристора,  $I_a$  — постоянный (анодный) ток, которым заряжается конденсатор  $C$ ;  $U_{\text{отп}}$  — напряжение переключения;  $I_{\text{пр. доп}}$  — максимально допустимое значение тока для момента  $t_1 = \sqrt{C}$ , мкс.

Резисторы выбирают таким образом, чтобы напряжение на первом вентиле было меньше  $U_{\text{отп}}$ . Ток, ответвляющийся через резисторы, должен быть в три раза больше максимального тока утечки тиристоров. В качестве резисторов могут быть использованы варисторы или два встречно включенных стабилитрона. Если требуется равномерное распределение напряжений только в прямом направлении, то могут быть использованы лавинные диоды.

Для получения нужных величин токов (если один вентиль не может обеспечить заданные параметры), вентиляы включают параллельно. Для обеспечения равенства температур целесообразно параллельно включаемые вентиляы располагать на одном охлаждающем радиаторе.

Разбаланс, вызванный неточным совпадением характеристики или неравномерным старением вентиляй, устраняют включением малых сопротивлений  $R_{y1}$ ,  $R_{y2}$  последовательно с вентилями (рис. 50, а) или применением уравнительного реактора (рис. 50, б). В последнем случае управляющий импульс подается на управляющий электрод тиристора  $T1$ , который при включении подает напряжение на зажимы обмотки  $B1$  и  $B2$ , а это вызывает включение тиристора  $T2$ . Диоды  $D1$  и  $D2$  исключают появление обратного напряжения на управляющих электродах.

Таблица 71

Наименование схемы	Схема соединения обмоток трансформатора		Число фаз выпрямителя $m$	Число плеч выпрямителя	Выпрямитель		Трансформатор			Коэффициент использования трансформатора $K_{TP}$		Коэффициент пульсации	
	первичная	вторичная			$K_1$	$K_2$	вторичная обмотка	первичная обмотка $K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_{II}$	$K_{II}^*$ %	
			$K_5$	$K_6$									

Однофазные схемы

Однополупериодная	—	—	1	1	1,21	3,14	2,22	1,57	1,21	0,324	1,57	157
Двухполупериодная со средней точкой	—	—	2	2	1,11	3,14	1,11	0,785	1,11	0,674	0,667	66,7
Мостовая	—	—	2	2	1,11	1,57	1,11	1,11	1,11	0,812	0,667	66,7

Трёхфазные схемы

Однополупериодная с нулевым выводом			3	3	0,82	2,1	0,855	0,58	0,47	0,74	0,250	25
-------------------------------------	---	--	---	---	------	-----	-------	------	------	------	-------	----

Продолжение табл. 71

Наименование схемы	Схема соединения обмоток трансформатора		Число фаз выпрямителя	Число плеч выпрямителя	Выпрямитель		Трансформатор			Коэффициент пульсации		
	первичная	вторичная			$K_1$	$K_4$	вспомогательная обмотка	$K_2$	$K_3$	первичная обмотка $K_5$	$K_{II}$	$K_{II}'$ %
Двухполупериодная			6	3	1,42	1,05	0,43	0,82	0,82	0,956	0,057	5,7
Мостовая (Ларионова)			6	3	0,47	1,05	0,74	0,47	0,47	0,956	0,057	5,7

Для параллельного включения большого количества вентилях применяют схемы с трансформаторами и несколькими реакторами.

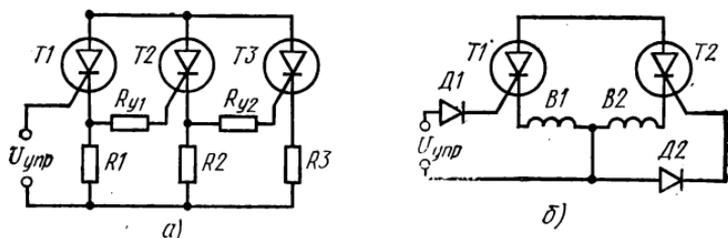


Рис. 50. Схемы параллельного включения тиристоров: а — зависимое отпирание цепочкой параллельно включенных тиристоров, б — зависимое каскадно отпирание с уравнивающим реактором

## § 28. Специальные выпрямительные схемы

### Управляемые тиристорные выпрямители

Выпрямители, собранные на тиристорах, применяют для питания регулируемых приводов, в устройствах автоматического управления — для питания электромагнитных муфт и т. п. Тиристорные выпрямители удобнее и экономичнее ионных приборов, применяемых для мощных выпрямителей, так как из-за отсутствия накала они всегда готовы к использованию, имеют больший срок службы и меньшие габариты. Управление углом отпирания и за-пирания тиристоров обеспечивает большие, чем у неуправляемых полупроводниковых элементов, возможности получения нужных параметров и форм кривых выпрямленного тока и напряжения.

Схемы, кривые выпрямленного напряжения и расчетные соотношения напряжений и токов однофазных и трехфазных управляемых тиристорных выпрямителей приведены в табл. 72.

#### Шестифазный выпрямитель с уравнивающим реактором

Относительно малые пульсации получают в шестифазном выпрямителе с уравнивающим реактором (рис. 51), что во многих случаях позволяет отказаться от сглаживающих фильтров. Трехфазный трансформатор выпрямителя

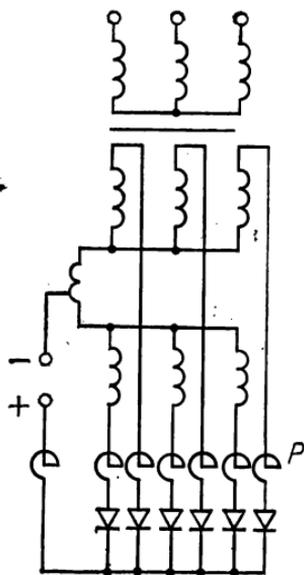
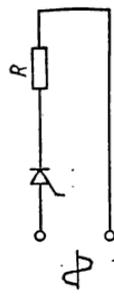
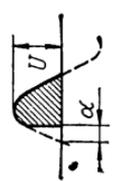
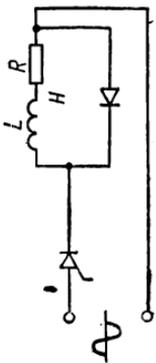
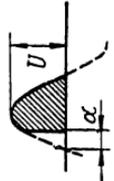


Рис. 51. Схема шести-фазного выпрямителя с уравнивающим реакто-ром P

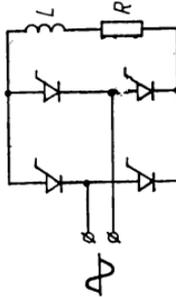
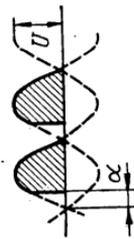
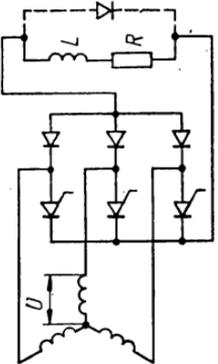
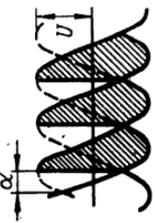
Таблица 72

название	Схема		Кривая напряжения на нагрузке	Амплитуда прямого напряжения на тиристоре		Амплитуда обратного напряжения	
	начертание	2		4	5	6	
1							
Однополупериодная при R-нагрузке				$U$	$U$	—	
То же, при RL-нагрузке с буферным диодом				$U$	$U$	$U$	

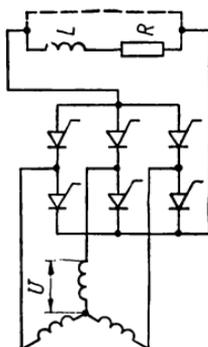
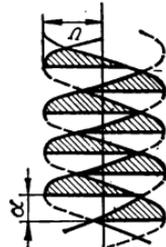
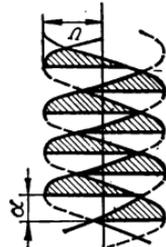
7	Зависимость напряжения на нагрузке от $\alpha$	Диапазон измерения $\alpha$	Расчетный ток тиристор.		Расчетный ток диодов	
			среднее значение	угол проводимости	среднее значение	угол проводимости
8	$U_d = \frac{U}{2\pi} (1 + \cos \alpha);$ $U_{\text{действ}} = \frac{U}{2} \sqrt{\frac{1}{\pi - \alpha} + \frac{1}{2} \sin 2\alpha}$	9	10	11	12	13
7	$U_d = \frac{U}{\pi};$ $U_{\text{действ}} = U/2$	180°	$\frac{U}{\pi R}$	180°	—	—
7	$U_d = \frac{U}{2\pi} \cdot (1 + \cos \alpha)$	180°	$\frac{U}{2\pi R}$ (при большем $L$ )	180°	$0,54 \frac{U}{\pi R}$	210°

название	Схема	начертание	Кривая напряжения на нагрузке	Амплитуда прямого напряжения на тиристоре			Амплитуда обратного напряжения	
				4	5	6	на тиристоре	на диоде
1		2	3	4	5	6		
Однофазная с нулевым выводом с тиристором в цепи постоянного тока и буферным диодом (последнее при $RL$ -нагрузке)			$U$	0	$2U$ на $D1$ ; $U$ на $D2$			
Однофазная мостовая несимметричная (тиристоры в одной фазе при $R$ - или $RL$ -нагрузке)			$U$	$U$	$U$	$U$		

Наибольшее напряжение на нагрузке (при $\alpha=0$ )	Зависимость напряжения на нагрузке от $\alpha$	Диапазон измерения $\alpha$	Расчетный ток тиристорov		Расчетный ток дiodов	
			среднее значение	угол проводимости	среднее значение	угол проводимости
7	8	9	10	11	12	13
$U_d = \frac{2U}{\pi}$	$U_d = \frac{U}{\pi} \cdot (1 + \cos \alpha)$	180°	$\frac{2U}{\pi R}$	360°	Для $D1$ $\frac{U}{\pi R}$	180°
$U_d = \frac{2U}{\pi}$	$U_d = \frac{U}{\pi} \cdot (1 + \cos \alpha)$	180°	$\frac{U}{\pi R}$	180°	Для $D2$ $\frac{2U}{\pi R}$ 0,26 $\frac{2U}{\pi R}$ (при большем $L$ )	148°

название	схема	Кривая напряжения на нагрузке	Амплитуда прямого напряжения на тиристоре	Амплитуда обратного напряжения
1	<p data-bbox="424 859 440 974">начертание</p> 	<p data-bbox="424 520 440 545">3</p> 	<p data-bbox="424 330 440 355">4</p> <p data-bbox="497 330 518 355">U</p>	<p data-bbox="424 247 440 272">5</p> <p data-bbox="497 247 518 272">U</p>
<p data-bbox="766 1156 870 1486">Трехфазная мостовая несимметричная при R- или RL-нагрузке с буферным дном</p>		<p data-bbox="699 520 714 545">3</p> 	<p data-bbox="699 330 714 355">U</p>	<p data-bbox="699 247 714 272">U</p>

7	8	9	10		11		12		13
			среднее значение	угол проводимости	среднее значение	угол проводимости			
<p>Наибольшее напряжение на нагрузке (при <math>\alpha=0</math>)</p> $U_d = \frac{2U}{\pi}$	<p>Зависимость напряжения на нагрузке от <math>\alpha</math></p> $U_d = \frac{2U}{\pi} \cos \alpha$ <p>(при непрерывном токе нагрузки),</p>	180°	$\frac{U}{\pi R}$	180°	—	—	—	—	
$U_d = \frac{U\sqrt{3}}{\pi}$	$U_d = \frac{U\sqrt{3}}{2\pi} \cdot (1 + \cos \alpha)$	180°	$\frac{U\sqrt{3}}{\pi R}$	120°	<p>Для <math>\Pi 1</math></p> $\frac{U\sqrt{3}}{\pi R}$	120°	<p>Для <math>\Pi 2</math></p> $\frac{U\sqrt{3}}{\pi R}$	132°	

название	Схема	Кривая напряжения на нагрузке	Амплитуда прямого напряжения на тиристоре	Амплитуда обратного напряжения
1			4	5
Трехфазная мостовая симметричная при $R$ - или $RL$ -нагрузке с буферным диодом			$U\sqrt{3}(U\sqrt{1,5}, \text{ если тиристоры зашунтированы резисторами})$	$U\sqrt{3}U\sqrt{3}$
6				6

Продолжение табл. 72

7	8	9	10		11		12		13
			среднее значение	угол проводимости	среднее значение	угол проводимости			
<p>Наибольшее напряжение на нагрузке (при <math>\alpha=0</math>)</p>	<p>Зависимость напряжения на нагрузке от <math>\alpha</math></p>	<p>Диапазон измерения <math>\alpha</math></p>	<p>Расчетный ток тиристорov</p>		<p>Расчетный ток диодов</p>				
$U_d = \frac{U\sqrt{3}}{\pi}$	<p>При <math>0 &lt; \alpha &lt; 60^\circ</math></p> $U_d = \frac{U\sqrt{3}}{\pi} \cos \alpha;$ <p>при <math>60^\circ &lt; \alpha &lt; 120^\circ</math></p> $U_d = \frac{U\sqrt{3}}{\pi} \times$ $\times \left( 1 + \cos \frac{\alpha}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2} \sin \alpha \right)$	<p>120°</p>	<p>120°</p>		<p>120°</p>		$0,56 \frac{U\sqrt{3}}{\pi R}$		<p>212°</p>

имеет первичную обмотку, соединенную звездой, и вторичную, соединенную в две обратные звезды с уравнивающим реактором  $R$ . Образуются две группы фазных обмоток, каждая с тремя вентилями, работающими как две трехфазных однополупериодных схемы, в результате чего получается шестифазное выпрямление с малой пульсацией выпрямленного тока. Каждый из шести концов вторичных обмоток присоединен к аноду отдельного вентиля, а катоды всех вентиляей присоединены к нагрузке.

Каждый вентиль проводит ток только в течение  $1/6$  части периода напряжения питающей сети, так как приложенное к аноду этого вентиля напряжение переменного тока больше, чем приложенное к любому вентилю. В течение этого интервала времени все другие вентили не проводят ток, так как их аноды отрицательны

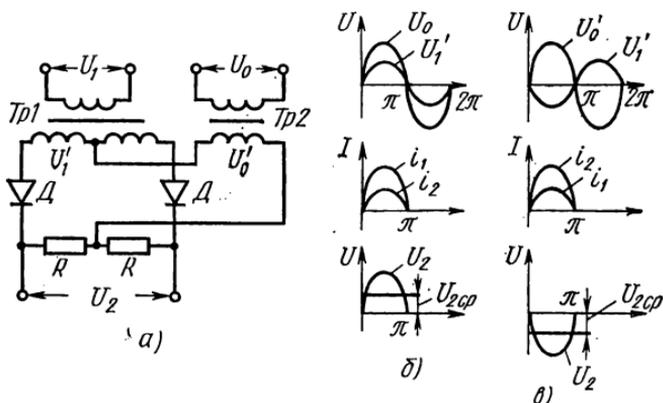


Рис. 52. Фазочувствительный однополупериодный выпрямитель:

*a* — схема, *б, в*, — временные диаграммы тока и напряжения

относительно катодов. Таким образом, вентили поочередно проводят ток. Поскольку каждый вентиль проводит ток в течение малой доли периода, то пульсация напряжения на нагрузке получается небольшой. Пульсации имеют частоту 30 Гц, и в случае необходимости их легче сгладить, чем пульсации меньшей частоты. Уравнивающий реактор включается между нулевыми точками звезды вторичной обмотки и обеспечивает возможность параллельной работы групп.

Схема выпрямителя характеризуется параметрами:  $K_1=0,166$ ;  $K_2=1,480$ ;  $K_4=2,470$ ;  $K_{TP}=0,956$ .

### Фазочувствительные выпрямители

Фазовый дискриминатор, фазовый детектор, демодулятор представляют собой фазочувствительные выпрямители, преобразующие переменное напряжение в напряжение, содержащее постоянную составляющую, знак которой зависит от сдвига фаз между входным и опорным (вспомогательным) напряжениями. Фазочувствительные выпрямители используют в устройствах автоматического контроля, следящих системах и автоматических регуляторах.

На рис. 52 и 53 приведены типовые схемы фазочувствительных выпрямителей. Если  $U'_0$  совпадает по фазе с  $U'_1$ , постоянная составляющая  $U_{2cp}$  положительна; если  $U'_0$  в противофазе с  $U'_1$ , постоянная составляющая  $U_{2cp}$  отрицательна. Постоянная составляющая выходного напряжения для однополупериодного выпрямителя (рис. 52, а)

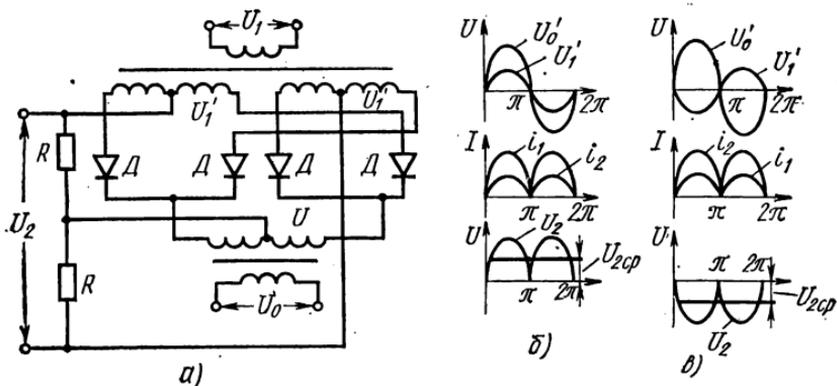


Рис. 53. Фазочувствительный двухполупериодный выпрямитель: а — схема, б, в — временные диаграммы тока и напряжения

$U_{2cp} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} U'_1 \cos \varphi$  (рис. 52, б, в), а для двухполупериодного выпрямителя (рис. 53, а),  $U_{2cp} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U'_1 \cos \varphi$ , где  $U'_1$  — входное напряжение,  $\varphi$  — угол сдвига между входным и опорным напряжением  $U'_0$  (рис. 53, б, в).

Фазочувствительная кольцевая схема (рис. 54) может быть использована для преобразования частоты. При несовпадении частот источников напряжений  $U_0$  и  $U_1$  на выходе схемы будет переменное

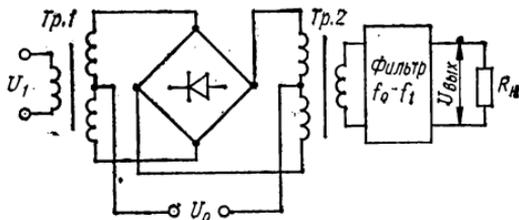


Рис. 54. Фазочувствительная кольцевая схема

напряжение с частотой  $f_{\text{вых}} = f_0 - f_1$  и амплитудным значением  $U_{\text{вых}} = KU_{m1} \cos(\omega_0 - \omega_1)t$ , где  $U_{m1}$  — амплитуда напряжения сигнала, а  $\omega_0$  и  $\omega_1$  — соответственно круговые частоты опорного и входного напряжений.

Расчетные формулы основных параметров фазочувствительных схем сведены в табл. 73.

Параметры	Тип	
	балансная	кольцевая
Ток в нагрузке	$\frac{0,45U'}{r_{TP} + r_B + \frac{R_H R_б}{2R_б + R_H}}$	$\frac{1,8U'}{3r_{TP} + r_B + 2R_H}$
Мощность $P'_0$ , потребляемая от источника $U'_0$	$\frac{(U'_0)^2}{3r_{TP2} + r_B + R_б}$	$\frac{2(U'_0)^2}{r_{TP2} + r_B}$
Мощность $P'$ , потребляемая от источника $U'$	$\frac{(U')^2}{r_{TP1} + r_B + \frac{R_б R_H}{2R_б + R_H}}$	$\frac{2(U')^2}{3r_{TP1} + r_B + 2R_H}$

### Выпрямители с умножением напряжения

В схемах умножения используют свойство конденсаторов сохранять электрический заряд. При последовательном включении нескольких конденсаторов на выходе получается напряжение, равное сумме их напряжений. Применимость схем умножения ограничивается падающей характеристикой, поэтому их обычно используют в режиме холостого хода (например, в высоковольтных установках для испытаний электрической изоляции) и при малых токах (100—150 мА). Используются одно- и двухполупериодные схемы умножения. Последние имеют более жесткие характеристики и меньшую пульсацию, но требуют несколько больших емкостей.

Схемы и характеристики однофазных бестрансформаторных выпрямителей с умножением напряжения показаны на рис. 55.

## § 29. Выпрямительные устройства и преобразователи частоты

Промышленность выпускает выпрямительные устройства, предназначенные для преобразования переменного тока в выпрямлен-

схемы

двойная мостовая на равновесии напряжений	двойная мостовая на циркуляции токов
$\frac{1,8U'R_6}{2(r_{\text{в}}+r_{\text{тп}})} \times 1/[1/(2R_6+R_H)+R_6R_H]$	$\frac{1,8U'}{R_6+2R_H+2(r_{\text{тп}}+r_{\text{в}})}$
$\frac{2(U'_0)^2}{2r_{\text{тп}2}+R_6+2r_{\text{в}}}$	$\frac{2(U'_0)^2}{2r_{\text{тп}2}+R_6+2r_{\text{в}}}$
$\frac{2(U')^2}{2r_{\text{тп}1}+2r_{\text{в}}+\frac{R_6R_H}{2R_6+R_H}}$	$\frac{(U')^2}{r_{\text{тп}1}+r_{\text{в}}+\frac{1}{2}R_6+R_H}$

ный. Они имеют разнообразное применение: для зарядки аккумуляторных батарей УЗА-150-80 и ВАЗП-380-380 (260-40/80); для питания установок постоянного тока на подстанциях, тяговых двигателей электровозов (ВУК-4000Т), обмоток возбуждения мощных синхронных машин (ТВ-630Р).

Преобразователи частоты предназначены для плавного регулирования скорости вращения асинхронных двигателей (ТПЧ-40) и преобразования трехфазного тока промышленной частоты в переменный частотой 150, 200, 400 Гц (ПЧС-10-150/200/400-36).

В табл. 74 приведены параметры некоторых типов выпрямительных устройств, а в табл. 75 — параметры преобразователей частоты.

### § 30. Сглаживающие фильтры

На выходе выпрямителя кривые тока и напряжения имеют пульсирующую форму и представляют собой периодическую функцию, содержащую постоянные составляющие ( $I_a$  и  $U_a$ ) и перемен-

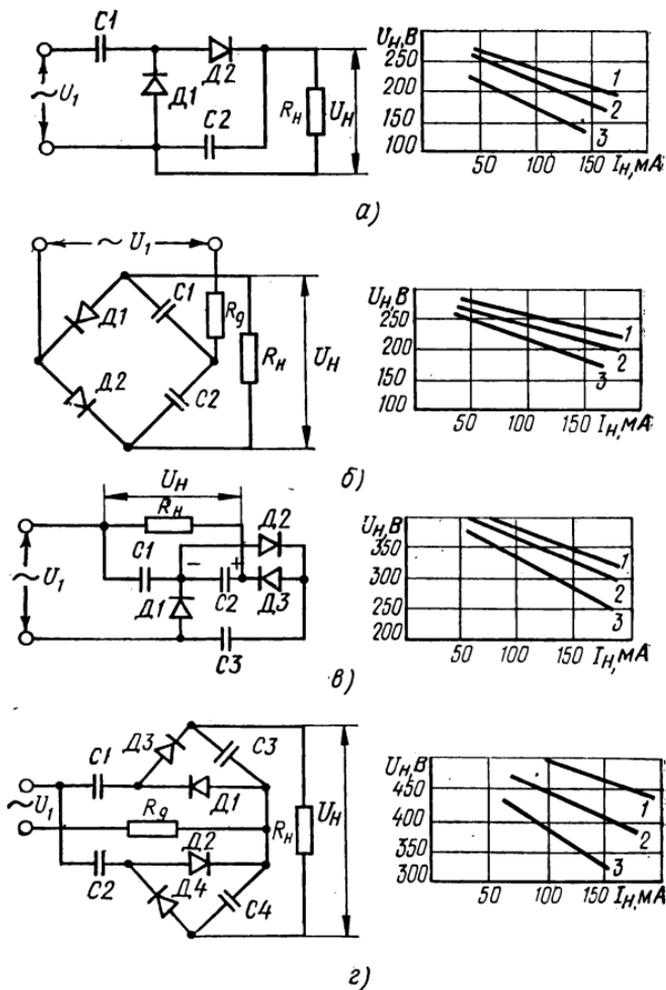


Рис. 55 Схемы однофазных бестрансформаторных выпрямителей с умножением напряжения и их внешние характеристики ( $U = 120$  В):

а — однополупериодный с удвоением напряжения (1 —  $C_1 = C_2 = 48$  мкФ, 2 —  $C_1 = C_2 = 32$  мкФ, 3 —  $C_1 = C_2 = 16$  мкФ), б — двухполупериодный с удвоением напряжения (обозначения 1, 2, 3 те же, что и в а), в — однополупериодный с утроением напряжения (1 —  $C_1 = C_2 = C_3 = 100$  мкФ, 2 —  $C_1 = C_2 = C_3 = 48$  мкФ, 3 —  $C_1 = C_2 = C_3 = 32$  мкФ), г — двухполупериодный с учетверением напряжения (1 —  $C_1 = C_2 = 60$  мкФ,  $C_3 = C_4 = 48$  мкФ, 2 —  $C_1 = C_2 = 60$  мкФ,  $C_3 = C_4 = 16$  мкФ, 3 —  $C_1 = C_2 = 20$  мкФ,  $C_3 = C_4 = 48$  мкФ).

Таблица 74

Тип выпрямительного устройства	Напряжение питающей сети * $U$ , В	Выпрямленный ток (среднее значение) $I_d$ ср. А	Выпрямленное напряжение (среднее значение) $U_d$ ср. В	К. п. д., %	Габариты, мм	Масса, кг
УЗА-150-80	380, 220	150	80	81	620 × 580 × 1595	270
ВУК-4000Т	—	3200	1350	98	1120 × 472 × 630	225
ТВ-630Р	—	630	200	97	—	600
ВАЗП-380/260-40/80 **	380, 400	80	—	90	850 × 600 × 2400	470

\* Устройство может быть изготовлено на одно из указанных напряжений.

\*\* Для ВАЗП-380/260-40/80 установлены следующие пределы регулирования тока — 4—80 А в режиме подзарядки и 4—40 А в режиме зарядки; напряжения — 220—260 В в режиме подзарядки и 260—380 В в режиме зарядки.

Таблица 75

Тип преобразователя частоты	Напряжение питающей сети $U$ , В	Частота $f$ , Гц	Выходная мощность $P_{\text{вых}}$ , кВт	К. п. д., %	Габариты, мм	Масса, кг
ТПЧ-40	380	50	30	—	2120 × 700 × 900	820
ПЧС-10-150/200/400-36	380	150, 200, 400	10	85	Вариант А * 1150 × 696 × 1018 Вариант П * 760 × 696 × 1200	350

\* Вариант А — преобразователь для наружной установки, П — для внутренней.

ные (гармоники или пульсации). Последние оценивают величиной коэффициента пульсации  $K_{\text{п}}$ . Допустимые значения  $K_{\text{п}}$  для работы электронной аппаратуры находятся в пределах: для двухтактных оконечных каскадов  $K_{\text{п}}=1\div 2\%$ , однотактных  $K_{\text{п}}=0,1\div 0,5\%$ , для каскадов усиления высокой промежуточной частоты и предварительных каскадов усиления низкой частоты  $K_{\text{п}}=0,01\div 0,05\%$ .

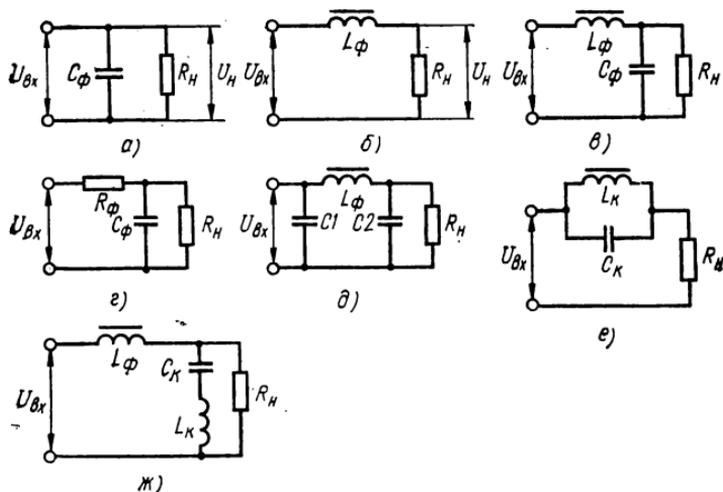


Рис. 56. Схемы фильтров:

а — С-фильтр, б — L-фильтр, в — Г-образный L — С-фильтр, г — Г-образный R — С-фильтр, д — П-образный С — L — С-фильтр, е — резонансный L — С-фильтр-пробка, включенный последовательно с нагрузкой, ж — резонансный L — С-фильтр-пробка, включенный параллельно нагрузке

Для уменьшения пульсаций на выходе выпрямителя включают сглаживающий фильтр, работа которого характеризуется коэффициентом сглаживания  $K_c$ .

$$K_c = \frac{K'_{\text{п}}}{K''_{\text{п}}} = \frac{U_{\text{м. вх}}}{U_{\text{м. вых}}} > 1,$$

где  $K'_{\text{п}}$ ,  $K''_{\text{п}}$ ,  $U_{\text{м. вх}}$ ,  $U_{\text{м. вых}}$  — соответственно коэффициенты пульсаций и амплитудные напряжения на входе и выходе фильтра. Коэффициент сглаживания показывает, во сколько раз фильтр уменьшает пульсации выпрямленного напряжения.

Применяют следующие типы сглаживающих фильтров: а) емкостные (С-фильтры) и П-образные в маломощных выпрямителях (при малых токах нагрузки); б) индуктивные L-фильтры (с одним дросселем); в) Г-образные — в выпрямителях средней и большой мощности. Для получения больших значений коэффициента сглаживания ( $K_c > 30$ ) используют двухзвенные фильтры.

Расчеты фильтров выполняют по формулам:

а) С-фильтр (рис. 56, а):

$$x_c = \frac{10^6}{\omega n C_{\phi}} \ll R_H \text{ (Ом); } C_{\phi} = \frac{K_c \cdot 10^6}{\omega n R_H} \text{ (мкФ);}$$

$$K_c = \omega n \cdot 10^{-6} C_\Phi R_H = \frac{K'_\Pi}{K''_\Pi},$$

где  $R_H$  — сопротивление нагрузки, Ом;  $\omega = 2\pi f_c$ ;  $n = \frac{f_\Pi}{f_c}$ ;  $f_\Pi$  — частота пульсаций основной гармоники данной схемы выпрямителя;  $f_c$  — частота сети;

б)  $L$ -фильтр (рис. 56, б):

$$x_L = \omega n L_\Phi \gg R_H; L_\Phi = \frac{K_c R_H}{\omega n} \text{ (Гн);}$$

$$K_c = \frac{K'_\Pi}{K''_\Pi} = \frac{x_L}{R_H} = \frac{\omega n L_\Phi}{R_H}; \eta_\Phi = \frac{P_0}{P_0 + P_{др}}; P_{др} = I_{др}^2 R_{ср},$$

где  $I_{др}$  и  $R_{др}$  — ток и активное сопротивление дросселя;

в)  $\Gamma$ -образный  $L$ — $C$ -фильтр (рис. 56, в):

$x_L$  — значительно больше параллельно соединенных  $R_H$  и  $x_C$ ,

$$x_C = \frac{10^6}{\omega n C_\Phi} \text{ (Ом); } K_c = \frac{K'_\Pi}{K''_\Pi} = \omega^2 n^2 L_\Phi C_\Phi 10^{-6} - 1.$$

Задаваясь  $C_{\Phi, \text{мин}} \gg \frac{51 \cdot 10^6}{\omega n U_d}$ , определяют  $L_\Phi = \frac{(K_c + 1) \cdot 10^6}{\omega^2 n^2 C_\Phi}$ .

Во избежание резонанса (при  $x_L = x_C$ ) должно выполняться условие

$$\omega_\Phi = \frac{1}{\sqrt{L_\Phi C_\Phi}} = \frac{\omega n}{2};$$

г) если при расчете получают слишком большие значения  $L_\Phi$  ( $L_\Phi > 100$  Гн) и  $C_\Phi$  ( $C_\Phi > 150$  мкФ), то применяют двухзвенный  $\Gamma$ -образный  $R$ — $C$ -фильтр (рис. 56, г), у которого  $K_c = K_{c1} K_{c2}$ , где  $K_{c1}$  и  $K_{c2}$  — соответственно коэффициенты сглаживания первого и второго звеньев фильтра.  $\Gamma$ -образный  $L$ — $C$ -фильтр обеспечивает  $K_c = 0,1 \div 0,2\%$  и применяется в выпрямителях, собираемых из полупроводниковых или ионных вентилей;

$\Gamma$ -образный  $R$ — $C$ -фильтр используют в выпрямителях, рассчитанных на токи 5—10 мА:

$$R_\Phi = (0,15 - 0,25) R_H; R_\Phi \gg x_C \frac{10^6}{\omega n C_\Phi};$$

$$K_c = \frac{K'_\Pi}{K''_\Pi} = \omega n R_\Phi C_\Phi \frac{R_H}{R_H + R_\Phi} \cdot 10^{-6};$$

$$C_\Phi = \frac{K_c}{\omega n R_\Phi} \cdot \frac{R_H + R_\Phi}{R_H} \cdot 10^6 \text{ (мкФ);}$$

$$\eta_\Phi = \frac{P_0}{P_0 + P_\Phi}, \text{ где } P_\Phi = I_d^2 R_\Phi.$$

д) П-образный  $C-L-C$ -фильтр (рис. 57, д) рассчитывают как двухзвенный:

$$K_c = K_{c1} K_{c2}; K_{c1} \approx \omega n C_1 \cdot 10^{-6}, C_1 = \frac{K_{c1} \cdot 10^6}{\omega n R_H} \text{ (мкФ)}$$

( $C_1$  и  $C_2$  берут 10—150 мкФ для получения нужной величины  $K_c$ )

$$K_{c2} = \frac{K_c}{K_{c1}}; L = \frac{(K_{c2} + 1) \cdot 10^6}{\omega^2 n^2 C_2} \text{ (Гн)}.$$

П-образный  $C-L-C$ -фильтр применяют в выпрямителях, собранных на полупроводниковых вентилях или кенотронах;

е) резонансный  $L-C$ -фильтр-пробка (рис. 56, е, ж) используют для сглаживания гармоник определенной частоты  $\omega_p$ :

$$\omega_p = \frac{10^3}{\sqrt{L_K C_K}},$$

необходимо, чтобы  $x_L = x_C$  или

$$\omega_p L_K = \frac{10^6}{\omega_p C_K} \text{ и } C_K = \frac{10^6}{\omega_p^2 L_K} \text{ (мкФ)}.$$

Полное сопротивление колебательного контура

$$Z_K = \frac{x_L^2}{R_a} = \frac{x_L x_C}{R_a} = \frac{L_K \cdot 10^6}{C_K R_a},$$

где  $R_a = (0,02 + 0,1) R_H$ ; величина  $C_K$  в мкФ. Коэффициент сглаживания  $K_c = \frac{Z_K}{R_H}$ .

## § 31. Стабилизаторы напряжения и тока

Стабилизатор — устройство, с помощью которого автоматически поддерживается заданное соотношение между фактической величиной стабилизируемого напряжения или тока и опорной (эталонной) величиной. Стабилизаторы устанавливают на выходе выпрямителя (после фильтра), если электронное устройство, питающееся от выпрямителя, нуждается в стабилизированном напряжении (или токе), остающемся постоянным в определенных пределах при изменении нагрузки и колебаниях питающей сети.

### Стабилизаторы напряжения

Качество стабилизатора напряжения оценивают коэффициентом стабилизации  $K_{ст}$ , %:

$$K_{ст} = \frac{\Delta U_{вх} (\%)}{\Delta U_{ст} (\%)},$$

где  $\Delta U_{вх}$  — изменение входного напряжения,  $\Delta U_{ст}$  — изменение стабилизированного напряжения.

При расчете стабилизатора задаются номинальным напряжением на его входе  $U_{вх}$ , напряжением на нагрузке  $U_n$ , током нагрузки  $I_n$  и процентным изменением входного напряжения  $\pm U_{вх} \%$ , после чего подбирают тип стабилизатора и определяют величину выходного сопротивления  $R_{вых}$  и коэффициент стабилизации  $K_{ст}$ .

Различают параметрические и компенсационные стабилизаторы.

В параметрических стабилизаторах стабилизация основана на свойствах приборов сохранять постоянство напряжения при изменении в определенных пределах протекающего через них тока. В качестве стабилизатора при небольших токах нагрузки (25—30 мА) применяют газовый стабилитрон тлеющего разряда, у которого коэффициент стабилизации 8—30. При малых величинах стабилизируемого напряжения используют кремниевые стабилитроны. Последовательным включением нескольких приборов можно обеспечить стабилизацию напряжения в несколько десятков вольт и  $K_{ст} = 80 \div 85$ .

Таблица 76

Тип схемы	Однокаскадный стабилизатор		Однокаскадный стабилизатор с цепочкой скомпенсированных стабилитронов				Двухкаскадный стабилизатор	
	$R_{вых}$	$G$	$R_{вых}$	$G_1$	$G_2$	$G$	$R_{вых}$	$G$
Расчетная формула	$R_d$	$\frac{R_d}{R_r} + R_{д.пр}$	$\frac{R_d + R_{д.пр}}{R_r}$	$\frac{R_{д.пр}}{R_{r1}}$	$\frac{R_{д.пр}}{R_{r2}}$	$G = G_1 + G_2$ при $U_{вх1} = U_{вх2} = U_{вх}$	$R_d$	$\frac{R_d R_{д1}}{R_r R_{r1}}$
Условия применения	$R_d \ll R_r; R_{вых} \ll R_n$		$R_d + R_{д.пр} \ll R_r; R_{д.пр} \ll R_{r1}; R_{вых} \ll R_n$				$R_{д1} \ll R_{r1}; R_d \ll R_r; R_{вых} \ll R_n$	

Примечания:

1.  $R_d$ ,  $R_{д1}$  и  $R_{д.пр}$  относятся соответственно к стабилитронам  $KС$ ,  $KС1$  и термокомпенсирующим элементам  $D_{пр}$ .

2.  $G_1$  и  $G_2$  учитывают соответственно изменения входного напряжения в режиме холостого хода  $U_{вх}$  и  $U_{вх1}$ .

3. Обозначения в таблице:  $R_d$  — дифференциальное сопротивление стабилитронов;  $R_r$  — гасящее сопротивление параметрического стабилизатора;  $R_n$  — сопротивление нагрузки.

Формулы для расчета выходного сопротивления  $R_{вых}$  и коэффициента неустойчивости  $G$  параметрических стабилизаторов приведены в табл. 76.

Коэффициент стабилизации

$$K_{ст} = \frac{U_{вых} A_{мин}}{(I_n + I_{ст. мин}) R_d} \left( 1 - \frac{U_{вых}}{U_{вх} A_{мин}} \right),$$

где  $A_{\text{мин}} = U'_{\text{вх}} / U_{\text{вх}}$  учитывает напряжение пульсаций;  $U_{\text{вх}}$  — входное напряжение;  $U'_{\text{вх}}$  — номинальное напряжение стабилизатора в режиме холостого хода;  $I_{\text{н}}$  — максимальное значение тока нагрузки;  $I_{\text{ст. мин}}$  — минимальное значение тока стабилизатора.

Некоторые схемы параметрических стабилизаторов напряжения на полупроводниковых приборах изображены на рис. 57. На схеме, показанной на рис. 57, а, кремниевый стабилитрон  $KC$  включен

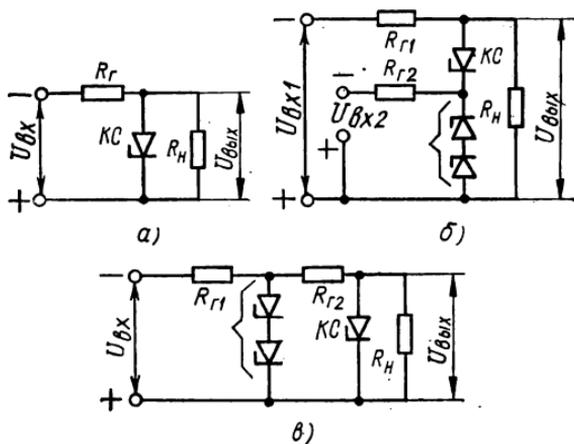


Рис. 57. Схемы параметрических стабилизаторов напряжения на полупроводниковых приборах:

а — однокаскадный на кремниевом стабилитроне, б — однокаскадный параметрический с цепочкой скомпенсированных стабилитронов, в — двухкаскадный параметрический;  $R_r$ ,  $R_{r1}$ ,  $R_{r2}$  — гасящие сопротивления (балластные)

в прямом или обратном направлении (вместо одного  $KC$  может включаться скомпенсированная по температуре цепочка из стабилитронов). В этой схеме с выходным напряжением  $U_{\text{вых}} = 8 \div 10$  В и током нагрузки  $I_{\text{н}} = 5$  мА без термокомпенсации обеспечивается  $K_{\text{ст}} = 80 \div 100$  и выходное сопротивление составляет 20—40 Ом. При изменении входного напряжения на 10% наблюдается нестабильность 0,2—0,4%. При использовании в этой схеме стабилитрона Д818  $K_{\text{ст}} = 30 \div 40$  и выходное сопротивление составляет 10—20 Ом.

В схеме с цепочкой скомпенсированных стабилитронов (рис. 57, б) через резистор  $R_{r2}$  на термокомпенсирующие стабилитроны проходит дополнительный ток. Это улучшает  $K_{\text{ст}}$  и температурную стабильность. В этой схеме  $R_{\text{вых}} = 12 \div 20$  Ом, а  $K_{\text{ст}}$  в 1,5—2 раза больше, чем в схеме, показанной на рис. 57, а. Неудобство этой схемы заключается в необходимости дополнительного источника входного напряжения  $U_{\text{вх}}$ .

На рис. 57, в приведена схема двухкаскадного параметрического стабилизатора с малым температурным коэффициентом напряжения, представляющего собой термокомпенсированную цепочку стабилитронов или стабилитрон Д818. Эта схема при равном с одно-

каскадными схемами выходном сопротивлении обеспечивает  $K_{с\tau} = 500 \div 1000$ .

**Компенсационные стабилизаторы**, или стабилизаторы с отрицательными обратными связями, применяют при более высоких напряжениях и необходимости большего коэффициента стабилизации. В качестве компенсационных стабилизаторов используют ламповые и полупроводниковые схемы, представляющие собой систему автоматического регулирования, в которой независимо от изменения входного напряжения, сопротивления нагрузки и параметров схемы с заданной точностью поддерживается постоянным ток или напряжение на выходе.

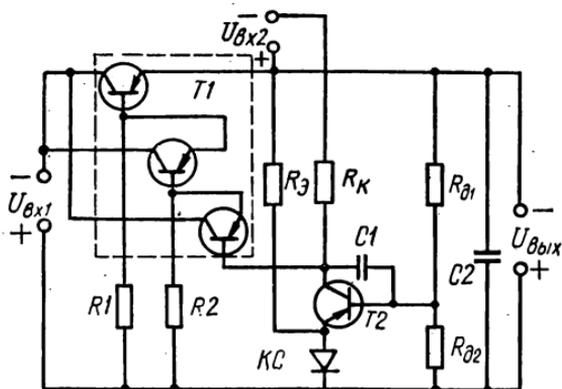


Рис. 58. Схема компенсационного транзисторного стабилизатора тока:

$T1$  — составной транзистор,  $R1, R2$  — резисторы в базах,  $R_k$  и  $R_э$  — сопротивления в цепях коллектора и эмиттера транзистора  $T2$ ,  $R_{д1}$  и  $R_{д2}$  — делитель напряжения

На рис. 58 изображена схема компенсационного транзисторного стабилизатора тока. Входное напряжение  $U_{вх1}$  поступает в регулирующий элемент, на котором падает часть напряжения и с выхода которого снимается выходное напряжение  $U_{вых} < U_{вх1}$ . Выходное напряжение поступает в нагрузку и на вход схемы сравнения, где оно сравнивается со стабильным опорным напряжением  $U_{вх2}$ . Разность  $(U_{вых} - U_{вх2})$  поступает на вход усилителя постоянного тока, а затем подается на регулирующий элемент. При этом изменение  $U_{вых}$  вызывает такое изменение напряжения на регулирующем элементе, при котором  $U_{вых}$  восстанавливается с заданной степенью точности.

Существуют три основных типа регулирующих элементов: наиболее распространенный последовательный (обеспечивающий высокий к. п. д. и небольшую мощность рассеяния регулирующего транзистора), последовательный с шунтом и параллельный.

В компенсационном стабилизаторе в качестве регулирующего транзистора  $T1$  используется тройной составной транзистор, а в качестве усилителя — транзистор  $T2$ .

### Стабилизаторы тока

Стабилизатор тока — устройство, противодействующее отклонению стабилизируемого постоянного тока от заданного значения

и представляющее собой усилитель с отрицательной обратной связью по току (рис. 59). Стабилизируемый ток  $I_H$  протекает через резистор  $R_0$ ; падение напряжения на нем сравнивается с опорным напряжением  $U_{оп}$ . Сигнал в виде разности напряжений поступает на вход усилительной схемы с токовым выходом, состоящей из усилителя напряжения с коэффициентом усиления  $K$  и усилителя тока с крутизной  $S$ . Схема, стремящаяся уменьшить разность напряжений, характеризуется крутизной стабилизации  $S_{ст} = KS$ .

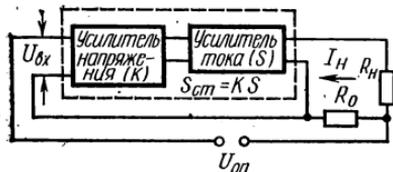


Рис. 59. Схема компенсационного транзисторного стабилизатора тока

В постоянном режиме стабилизируемый ток определяется по формуле

$$I_H = \frac{S_{ст} U_{оп}}{1 + S_{ст} R_0} = \frac{KS}{1 + KS R_0} U_{оп}.$$

При глубокой обратной связи, когда  $\frac{1}{KS R_0} = \alpha \ll 1$ , уравнение имеет вид

$$I_H = \frac{1}{1 + \alpha} \cdot \frac{U_{оп}}{R_0} \approx \frac{U_{оп}}{R_0}.$$

## Г Л А В А VIII

### ЭЛЕКТРОННЫЕ УСИЛИТЕЛИ

#### § 32. Общая характеристика

Усилитель — электронное устройство, с помощью которого усиливаются напряжение, ток или мощность за счет энергии постоянного источника переменного или постоянного тока. Усилители используются в непрерывном или импульсном режимах и широко распространены в промышленной электронике, системах автоматического управления и регулирования и в самых различных областях радиоэлектроники (телевидение, радио и др.).

Усилители могут быть разделены на группы по разнообразным признакам:

*назначению* — операционные (используются для вычислений в математических машинах), измерительные, для систем автоматики, широкодиапазонные, микрофонные, магнитофонные, телевизионные и т. п.;

*типу усилительного элемента* — ламповые, полупроводниковые, магнитные, электромашинные и др.;

*характеру усиливаемых сигналов* — усилители гармонических сигналов и импульсные;

*частоте усиливаемых сигналов* — усилители низкой и высокой частот, усилители постоянного тока (усиление постоянного напряжения и напряжения низких частот);

схеме включения усилительного элемента — для ламповых усилителей используют схемы с общим катодом, общим анодом и общей сеткой, для усилителей на транзисторах — с общим эмиттером, общим коллектором и общей базой;

количеству каскадов усиления — одно- и многокаскадные;

типу нагрузки или виду связи между каскадами — активное сопротивление, дроссель, трансформатор, колебательный контур и т. п.

Усилительные схемы характеризуются в основном значениями коэффициентов усиления:

коэффициент усиления по напряжению

$$K_U = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}},$$

где  $U_{\text{ВЫХ}}$  и  $U_{\text{ВХ}}$  — соответственно напряжения на выходе и входе усилителя. Для многокаскадного ( $n$ -каскадного) усилителя общий

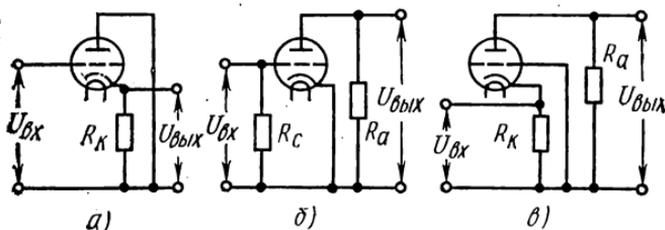


Рис. 60. Схемы ламповых усилителей;

а — с общим анодом, б — с общим катодом, в — с общей сеткой

коэффициент усиления  $K_{\Sigma} = K_1, K_2, \dots, K_n$ , где  $K_1, K_2, \dots, K_n$  — соответственно коэффициенты усиления первого, второго и т. д. каскадов;

коэффициент усиления по току

$$K_i = \frac{\Delta I_{\text{ВЫХ}}}{\Delta I_{\text{ВХ}}},$$

где  $\Delta I_{\text{ВЫХ}}$  и  $\Delta I_{\text{ВХ}}$  — соответственно приращения тока на выходе и на входе усилителя;

коэффициент усиления по мощности

$$K_P = \frac{P_{\text{ВЫХ}}}{P_{\text{ВХ}}},$$

где  $P_{\text{ВЫХ}}$  и  $P_{\text{ВХ}}$  — соответственно мощность на выходе и входе усилителя.

Усилитель должен обеспечивать постоянство коэффициента усиления (в том числе малое влияние колебаний температуры и изменений питающих напряжений на величину коэффициента усиления), минимальные фазовые сдвиги в заданном диапазоне частот, искажения сигнала, не выходящие из заданных пределов.

### § 33. Режимы работы усилителей. Классы усиления. Частотные и фазовые характеристики усилителей

Различные схемы ламповых усилителей показаны на рис. 60, а усилителей на транзисторах — на рис. 61. Режим работы усилителя переменного тока определяется выбором рабочей точки (точки покоя), соответствующей отсутствию входного сигнала на управляющей характеристике — зависимость  $I_a = f(U_c)$  для лампового усилителя (рис. 62,

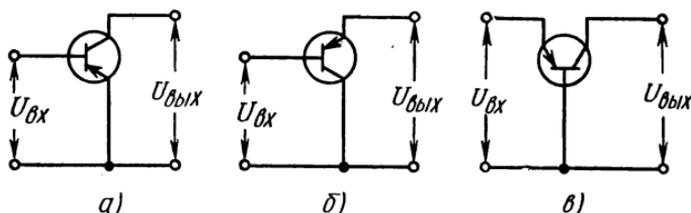


Рис. 61. Схемы усилителей на транзисторах:

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

а — б) или  $I_k = f(I_0)$  для усилителя на транзисторе (рис. 62, е). Точка покоя соответствует величине тока покоя (анодный ток покоя  $I_{a0}$  или коллекторный  $I_{к0}$ ) при подаче на вход усилителя только постоянного напряжения  $E_c$ . Классы усиления обозначают буквами А, В, С, АВ, ВС. Цифры в индексе указывают режим работы сетки в ламповом усилителе: цифра 1 — режим работы при отсутствии сеточных токов, цифра 2 — режим работы при сеточных токах (для усилителей на транзисторах сохраняются эти обозначения, но цифры 1 или 2 означают наличие или отсутствие токов базы).

В ламповых усилителях переменного тока различают два основных режима работы: без отсечки анодного тока (ток  $I_a$  существует в течение всего периода изменения входного сигнала  $U_c$ ) и с отсечкой анодного тока (ток  $I_a$  существует лишь в течение части периода изменения входного сигнала  $U_c$ ).

Режим без отсечки анодного тока — класс усиления А — характеризуется перемещением рабочей точки под действием переменного напряжения  $U_c$  в пределах линейного участка анодно-сеточной (управляющей) характеристики (рис. 62). В классе А величину напряжения сеточного смещения  $E_c$  выбирают в зависимости от амплитуды сеточного напряжения таким образом, чтобы ток покоя  $I_{a0}$  был минимальным. При слишком большом значении  $U_{c.ам}$  возможно попадание в область положительного напряжения на сетке, что приводит к появлению токов сетки  $I_c$  в течение части периода изменения  $U_c$  — класс  $A_2$  (рис. 62, б). Режим работы без сеточных токов называется классом  $A_1$  (рис. 62, а).

Режим с отсечкой анодного тока включает несколько разновидностей в зависимости от длительности существования анодного тока в течение периода изменения сеточного напряжения. Эти разновидности характеризуются величиной угла отсечки анодного тока  $\theta_a$ .

класс В — угол отсечки  $\theta_a = \pi/2$  (напряжение смещения  $E_c$  равно напряжению запаривания лампы  $U_{c0}$ , анодный ток  $I_{a0}$  существует точно в течение полупериода изменения  $U_c$ ).

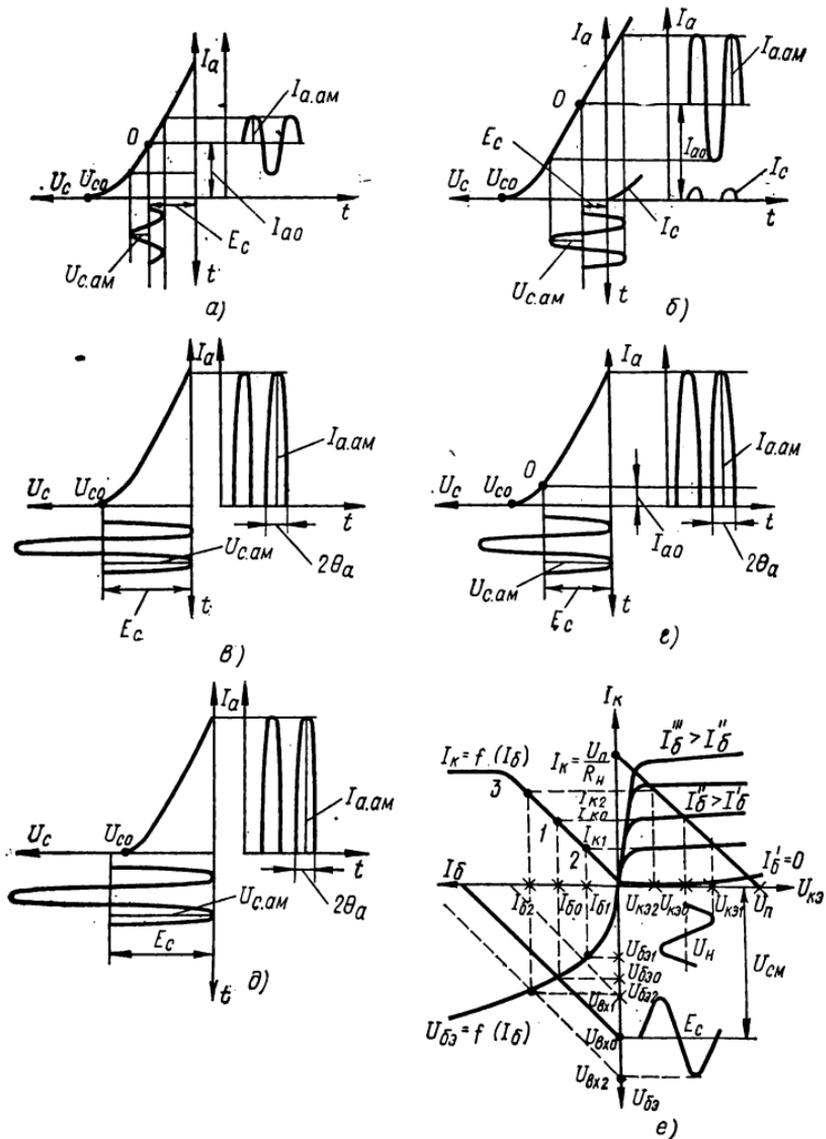


Рис. 62. Классы работы усилителей:

а — класс  $A_1$ , б — класс  $A_2$ , в — класс  $B_1$ , г — класс  $AB_1$ , д — класс  $C$ , е — типовые совмещенные характеристики транзистора; 1, 2, 3 — различные положения рабочей точки

класс АВ — угол отсечки  $\theta_a > \pi/2$  ( $E_c$  меньше  $U_{c0}$ , анодный ток  $I_{a0}$  существует больше полупериода  $U_c$ );

класс С — угол отсечки  $\theta_a < \pi/2$  ( $E_c$  больше  $U_{c0}$ , анодный ток  $I_{a0}$  существует меньше полупериода  $U_c$ , рис. 62, г).

Аналогично описанному выше режиму без отсечки анодного тока разновидности режимов с отсечкой анодного тока могут быть при отсутствии сеточных токов (классы В<sub>1</sub>, АВ<sub>1</sub> и С<sub>1</sub>, рис. 62, а, в, г) и при сеточных токах (классы В<sub>2</sub>, АВ<sub>2</sub> и С<sub>2</sub>, рис. 62, б).

Основные характеристики различных классов усиления приведены в табл. 77.

Таблица 77

Класс усиления	Величина угла отсечки, рад	К. п. д. усилителя, %	Примечания
А	$\theta_a = \pi$	15—20	Наименьшие нелинейные искажения, так как рабочая точка выбирается на середине управляющей характеристики
В	$\theta_a = \pi/2$	—	—
АВ <sub>1</sub>	$\pi > \theta_a > \pi/2$	До 50	Применяются для усиления мощности
АВ <sub>2</sub>		До 65	
С	$\theta_a < \pi/2$	75—80	Искажения велики. В усилителях низких частот не используются
ВС	$\theta_a < \pi/2$ ; $\theta_a, \theta_b, \theta_c > \theta_{ac}$	—	Значительные к. п. д. и выходная мощность

Полупроводниковые усилители так же, как ламповые, могут работать в различных классах усиления. На рис. 62, е изображены типовые совмещенные характеристики транзистора. В первой четверти показаны выходные характеристики  $f_k = f(U_{кэ})$  при различных  $I_b$ , снятые при отключенной нагрузке  $R_n$ . При включении нагрузки  $R_n$  в коллекторную цепь  $U_{кэ} = U_n - I_k R_n$ ; при изменении входного сигнала рабочая точка перемещается по нагрузочной прямой, положение которой определяется  $U_n$  и  $R_n$ .

Управляющая характеристика  $I_k = f_2(I_b)$  (построена в четвертой четверти) определяется точками пересечения нагрузочной прямой с выходными характеристиками

Входная характеристика триода  $[U_{бэ} = f_1(I_b) \text{ при } U_{кэ} \neq 0]$  изображена в третьей четверти.  $U_{бэ} = U_{вх} - I_b R_c$ , где  $U_{вх} = U_c + U_{см}$  и  $U_{бэ} = U_c + U_{см} - I_b R_c$ . Напряжение  $U_{бэ}$  и ток  $I_b$  находятся в точке

пересечения входной характеристики с нагрузочной прямой, проходящей через точки  $I_6=0$ ,  $I_{69}=U_{вх}$  и  $I_6=\frac{U_{вх}}{R_c}$ ,  $U_{69}=0$

Режим работы каскада по постоянному току ( $I_k$ ,  $I_6$ ,  $U_{кэ0}$ ,  $U_{6э0}$  и  $U_{см}$ ) при данном  $R_c$  определяется выбором рабочей точки. Наличие переменного напряжения  $U_c$  приводит к появлению переменного

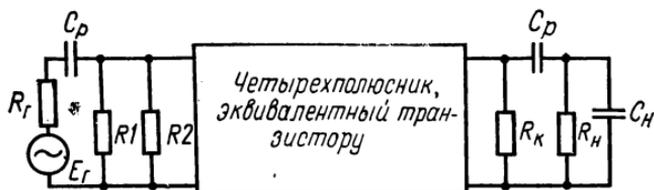


Рис. 63. Транзистор как эквивалентный четырехполюсник

напряжения  $U_n$  на нагрузке  $R_n$ . Во второй четверти показаны пределы изменения  $U_{вх}$ ,  $U_{6э}$ ,  $U_{кэ}$ ,  $I_k$  и  $I_6$ , которые находятся по статическим характеристикам.

Параметры усилителя при использовании совмещенных характеристик определяются следующим образом:

*коэффициент усиления по напряжению*

$$K_U = \frac{U_{кэ2} - U_{кэ1}}{U_{вх2} - U_{вх1}};$$

*коэффициент усиления по току*

$$K_I = \frac{I_{к2} - I_{к1}}{I_{62} - I_{61}};$$

*выходное сопротивление*

$$R_{вых} = \frac{U_{кэ2} - U_{кэ1}}{I_{к2} - I_{к1}};$$

*коэффициент усиления по мощности*

$$K_P = \frac{U_{кэ2} - U_{кэ1}}{U_{6э2} - U_{6э1}} \cdot \frac{I_{к2} - I_{к1}}{I_{62} - I_{61}} = K_I^2 \frac{R_n}{R_{вх}}.$$

Наиболее универсален для расчета усилительных схем метод четырехполюсника (транзистор заменяется эквивалентным четырехполюсником — рис. 63), однако он требует громоздких вычислений с использованием системы  $h$ -параметров. Например, для расчета основных параметров усилительного каскада предварительно по известным  $h$ -параметрам транзистора рассчитывают динамические параметры транзистора:

входное сопротивление

$$R'_{\text{вх}} = h_{11} - \frac{h_{12}h_{21}}{h_{22} + R_{\text{нэ}}^{-1}};$$

выходное сопротивление

$$R'_{\text{вых}} = \frac{h_{11} + R_{\text{гэ}}}{h_{22}(h_{11} + R_{\text{гэ}}) - h_{12}h_{21}};$$

коэффициент усиления по току

$$K'_i = \frac{h_{21}}{1 + h_{22}R_{\text{нэ}}};$$

коэффициент усиления по напряжению

$$K'_U = - \frac{h_{21}R_{\text{нэ}}}{h_{11}(1 + h_{22}R_{\text{нэ}}) - h_{12}h_{21}R_{\text{нэ}}},$$

(1)

где  $R_{\text{нэ}}$  и  $R_{\text{гэ}}$  — соответственно эквивалентные сопротивления нагрузки генератора

$$\left( R_{\text{нэ}} = \frac{R_{\text{к}}R_{\text{н}}}{R_{\text{к}} + R_{\text{н}}}, R_{\text{гэ}} = \frac{R_{\text{г}}R_{12}}{R_{\text{г}} + R_{12}} \right);$$

$R_{12}$  — эквивалентное сопротивление параллельно соединенных  $R_1$  и  $R_2$

$$\left( R_{12} = \frac{R_1R_2}{R_1 + R_2} \right).$$

Практически этот метод применяют для упрощенных расчетов усилительных схем с использованием приближенных выражений. Например, для схемы типового усилительного каскада с резисторно-емкостной связью на транзисторе (рис. 64, а) для области средних частот, пренебрегая внутренней обратной связью, присущей транзистору, можно приближенно считать:

$$R'_{\text{вх}} \approx h_{11}, \quad K'_i \approx h_{21}; \quad K'_U \approx - \frac{h_{21}}{h_{11}} R_{\text{нэ}},$$

где  $h_{11}$ ,  $h_{21}$  —  $h$ -параметры для схемы с ОЭ. Обычно практически величина выходного сопротивления усилительного каскада  $R'_{\text{вых}}$  определяется величиной сопротивления  $R_{\text{к}}$ , т. е.  $R'_{\text{вых}} \approx R_{\text{к}}$ , а остальные параметры каскада определяются по формулам

$$R_{\text{вх}} = \frac{R'_{\text{вх}}R_{12}}{R'_{\text{вх}} + R_{12}}, \quad K_i = K'_i \frac{R_{\text{вх}}}{R'_{\text{вх}}} \cdot \frac{R_{\text{нэ}}}{R_{\text{н}}},$$

$$K_U = K'_U \text{ и } K_P = -K_U K'_i.$$

Приближенно можно считать  $\tau_{\text{нэ}} \geq C_9 r'_9$ , где  $r'_9 \approx \frac{25}{I_9}$  (Ом) для любого типа транзистора и  $\tau_{\text{нр}} \approx C_P (R_{\text{н}} + R_{\text{вых}})$ . Из этих зависимостей определяются величины  $C_9$  и  $C_P$ :

$$C_9 \approx \frac{\tau_{\text{нэ}}}{r'_9} \text{ и } C_P \approx \frac{\tau_{\text{нр}}}{R_{\text{н}} + R_{\text{вых}}}.$$

Для схемы типового усилительного каскада с трансформаторной связью на транзисторе (рис. 64, б), используя метод четырехполюсника, в области средних частот приближенно можно считать:

$$R_{вх} = n_{вх}^2 R'_{вх}, \quad R'_{вх} = R'_{вых} / n_{вх}^2,$$

$$K_i = n_{вх} n_{вых} K'_i, \quad K_U = K'_U / (n_{вх} n_{вых}),$$

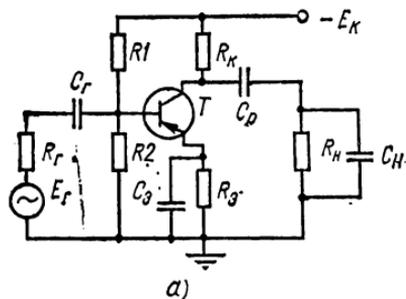
$$K_P = K_i K_U = K'_i K'_U,$$

где динамические параметры транзистора определяются по формулам (1) и пересчитываются в соответствующие параметры каскада с учетом коэффициентов трансформации  $n_{вх}$  и  $n_{вых}$ : при этом в формулах (1) используются приведенные значения  $R_{ГЭ}^n$  и

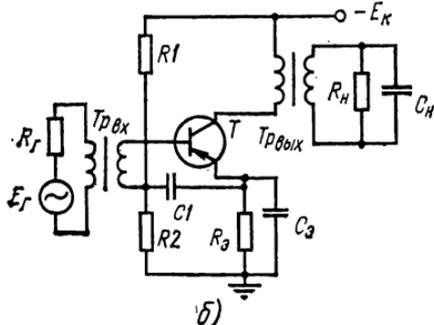
$$R_{нЭ}^n, \text{ равные } R_{ГЭ}^n = \frac{R_{Г}}{n_{вх}^2}$$

$$\text{и } R_{нЭ}^n = R_{н} n_{вых}^2.$$

Реактивные элементы в схемах усилителей переменного тока (например, в ламповых усилителях — переходные емкости между анодом предыдущей лампы и сеткой последующей лампы) вызывают фазовые и



а)



б)

Рис. 64. Схемы типовых усилительных каскадов на транзисторах:

а — усилитель с резистивно-емкостной связью, б — усилитель с трансформаторной связью

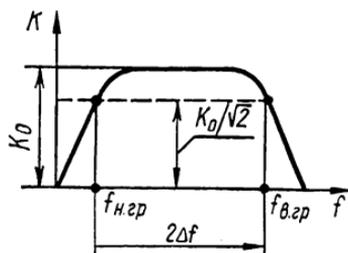


Рис. 65. Типовая частотная характеристика усилителя

частотные искажения сигналов. Фазовые искажения проявляются в виде сдвига фазы выходного напряжения относительно входного, частотные — в виде зависимости коэффициента усиления от частоты усиленного сигнала.

Типовая частотная характеристика усилителя показана на рис. 65. Граничными (нижней  $f_{н. гр}$  и верхней  $f_{в. гр}$ ) частотами называют такие частоты, на которых усиление по току (величина  $\alpha$ ) уменьшается в  $\sqrt{2}$  раз по сравнению с максимальной величиной усиления  $K_0$ . Разность  $(f_{в. гр} - f_{н. гр}) = 2\Delta f$  определяет ширину полосы пропускания

усилителя. Обычно ширина полосы составляет 5—10 кГц, в узкополосных усилителях — 1—2 Гц, в широкополосных — порядка 1 мГц. Коэффициент частотных искажений определяется отношением  $K_0/K_1$ , где  $K_1$  — коэффициент усиления на заданной (рабочей) частоте.

### § 34. Обратные связи в усилителях

Обратной связью называется воздействие выходной цепи схемы на ее входную цепь (обратное воздействие); обратные связи широко применяются в электронике, позволяя улучшать работу усилителей.

Структурная схема усилителя (рис. 66, а) включает в себя усилитель  $K$ , цепь обратной связи  $\beta$  и сопротивление нагрузки  $R_H$ .

Коэффициент усиления усилителя  $K = \frac{U_{\text{вых}}}{U'}$ , где  $U'$  — напряжение на его входных зажимах. Усилитель практически безынерционен, т. е. обратная связь действует мгновенно.

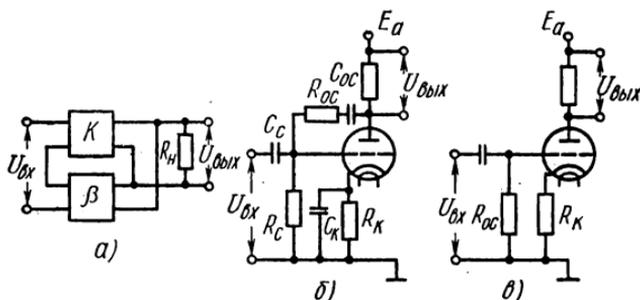


Рис. 66. Усилители с обратной связью:

а — структурная схема, б — обратная связь по напряжению, в — обратная связь по току

Усилитель и цепь обратной связи сохраняют фазу напряжения или изменяют ее на  $180^\circ$ . В первом случае напряжение обратной связи  $U_{\text{ос}}$  будет складываться с входным напряжением  $U_{\text{вх}}$ , во втором — вычитаться из него. Поэтому для первого случая  $U' = U_{\text{вх}} + U_{\text{ос}}$ , для второго  $U' = U_{\text{вх}} - U_{\text{ос}}$ . Коэффициент усиления системы с обратной связью

$$K_{\text{ос}} = \frac{U_{\text{вых}}}{U'} = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}} \pm U_{\text{ос}}} = \frac{U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}}}{U_{\text{вх}}/U_{\text{вх}} \pm U_{\text{ос}}/U_{\text{вх}}} = \frac{K}{1 \pm K\beta}$$

где  $K$  — коэффициент усиления без введения обратной связи, т. е.

$K_{\text{ос}} = \frac{K}{1 \pm K\beta}$ , где  $K\beta$  — фактор обратной связи, показывающий, какая часть входного напряжения, пройдя через усилитель и цепь обратной связи, поступает снова на вход усилителя.

Существуют два вида обратной связи: положительная и отрицательная. Если при  $K_{\text{ос}} = \frac{K}{1 - K\beta}$  имеем  $K\beta < 1$ , то  $K_{\text{ос}} > K$ , т. е. коэффициент усиления растет с введением обратной связи — такая обратная связь называется *положительной*.

При  $K\beta = 1$  величина  $K_{\text{ос}} = \frac{K}{1 - K\beta}$  стремится к бесконечности и

наступает самовозбуждение усилителя: напряжение обратной связи  $U_{oc}$  равно входному напряжению  $U_{вх}$ . Если снять входное напряжение, то напряжение  $U_{oc}$  создаст такое  $U_{вых}$ , которое через цепь обратной связи создаст, в свою очередь, прежнее напряжение  $U_{вх}$ . Таким образом, в этих условиях на выходе усилителя поддерживается определенное напряжение  $U_{вых}$ , даже если на его вход не подается никакого напряжения.

При  $K\beta > 1$  усилитель также находится в режиме самовозбуждения. Отношение изменения коэффициента усиления  $\Delta K_{oc}$  к его исходному значению  $K_{oc}$  для системы с положительной обратной связью  $\frac{\Delta K_{oc}}{K_{oc}} = \frac{\Delta K}{K} \cdot \frac{1}{1 - K\beta}$ , т. е. непостоянство усиления возрастает во столько же раз, во сколько возрастает усиление. Усилители с положительной обратной связью широко применяют в устройствах автоматики, где для повышения надежности срабатывания релейной схемы, например, необходимо увеличивать усиление, а его постоянство не имеет значения. Обычно усиление увеличивают с помощью обратной связи в 3—4 раза (при увеличении усиления в 10 раз его непостоянство становится недопустимо большим).

Если с введением обратной связи коэффициент усиления уменьшается, то такая обратная связь называется *отрицательной*; при этом напряжение входного сигнала  $U_{вх}$  и напряжение обратной связи  $U_{oc}$  находятся в противофазе, т. е.  $U' = U_{вх} - U_{oc}$  и  $K_{oc} = \frac{U_{вых}}{U_{вх}} = \frac{K}{1 + K\beta}$ .

Применение отрицательных обратных связей дает возможность обеспечить постоянство усиления, т. е. построить систему большой точности из элементов, обладающих малой точностью. Однако в системах с отрицательной обратной связью для получения той же величины усиления приходится использовать большее число каскадов усиления.

Отношение  $\Delta K_{oc}/K_{oc} = \frac{\Delta K}{K} \cdot \frac{1}{1 + K\beta}$ , т. е. непостоянство усиления уменьшается во столько раз, во сколько уменьшается усиление. Кроме того, введение обратной связи уменьшает нелинейные искажения на выходе усилителя и увеличивает его входное сопротивление.

Широко используются схемы обратной связи по напряжению и по току. На рис. 66, б показана параллельная схема отрицательной обратной связи по напряжению. Обратная связь создается цепочкой  $R_{oc}, C_{oc}$ . Выходное напряжение  $U_{вых}$  подается на вход параллельно напряжению  $U_{вх}$ . Емкость  $C_{oc}$  служит для того, чтобы положительное напряжение  $E_a$  не попало на сетку лампы. Резисторы  $R_{oc}$  и  $R_c$  представляют собой делитель, с части которого ( $R_c$ ) снимается напряжение обратной связи, подаваемое на вход. Величину обратной связи можно изменять, регулируя соотношение между сопротивлениями  $R_{oc}$  и  $R_c$ .

На рис. 66, в изображена схема отрицательной обратной связи по току. В качестве напряжения обратной связи используют падение напряжения на  $R_{oc}$  при протекании через него тока. При этом ток  $I_H = \frac{U_H}{R_H}$ , напряжение обратной связи  $U_{oc} = \beta I_H R_{oc} = \beta \frac{U_H R_{oc}}{R_H}$  и коэф-

фициент обратной связи  $K_{oc} = U_{вых}/U_{вх} = \frac{K}{1 + K\beta \frac{R_{oc}}{R_H}}$ .

## § 35. Усилители переменного тока. Одно- и многокаскадные усилители. Виды связи между каскадами

Наиболее простым и широко распространенным типом усилителя является усилитель с резистивно-емкостной связью с активной нагрузкой (рис. 67, а). В качестве усилительного элемента используется триод или пентод с короткой характеристикой. Разделительная емкость  $C_c$  служит для того, чтобы постоянная составляющая входного напряжения не попадала на сетку лампы,  $R_K C_K$  — цепочка служит для организации автоматического смещения,  $R_c$  — сопротивление утечки.

Достоинствами таких усилителей являются простота схемы, дешевизна и малые габариты составляющих ее элементов, поэтому эти схемы наиболее распространены для усилителей низкой частоты.

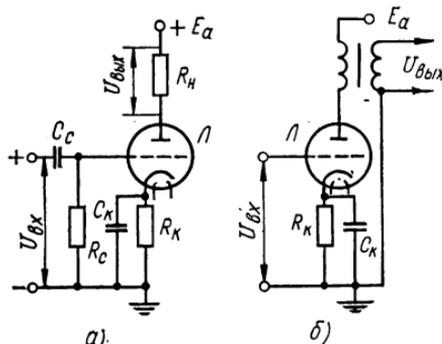


Рис. 67. Усилители с различной нагрузкой:

а — активная, б — трансформаторная

т. е. напряжение смещения поступает непосредственно на сетку через вторичную обмотку трансформатора.

Для обеспечения необходимого коэффициента усиления часто бывает недостаточно одного усилительного каскада, тогда применяют многокаскадные усилители. Они представляют собой несколько последовательно работающих друг на друга усилителей, собранных по описанным выше схемам; между каскадами может осуществляться реостатная, трансформаторная или резистивно-трансформаторная связь.

Различные виды межкаскадных связей ламповых усилителей приведены на рис. 68. Аналогично строят усилители на транзисторах (рис. 69). При этом каскады начального усиления ламповых усилительных схем называются усилителями напряжения, а транзисторных — каскадами предварительного усиления (здесь одновременно усиливается напряжение, ток и мощность). Выходные каскады усиления ламповых схем называются усилителями мощности, а транзисторных схем — окончательными каскадами.

Обычно выходные каскады собирают по двухтактной схеме, работающей в классе В или АВ: два усилительных элемента (лампы — рис. 70, а, транзисторы — рис. 70, б) работают на одну на-

грузку. Через трансформатор  $Tr1$  с нулевой точкой напряжения  $U_1$  и  $U_2$  подаются в противофазе. Каждый усилительный элемент работает только в течение полупериода изменения  $U_{вх}$ , т. е. в течение всего периода изменения  $U_{вх}$  усилительные элементы работают поочередно. Для работы в двухтактных схемах выбирают усили-

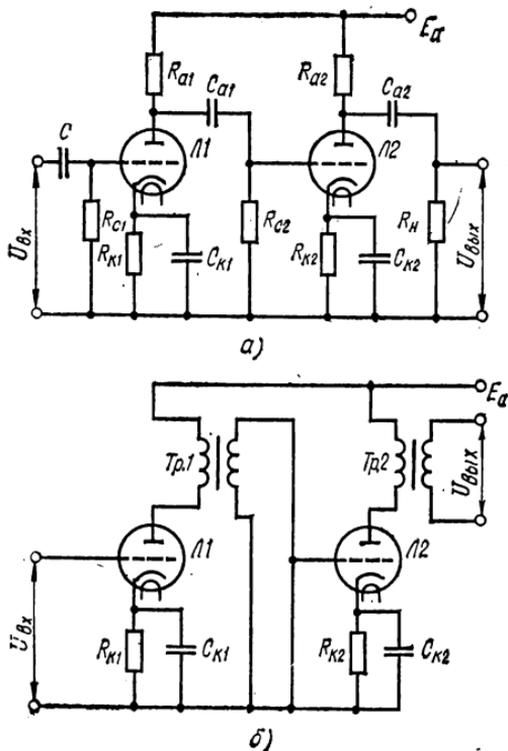


Рис. 68. Виды межкаскадных связей ламповых усилителей:  
 а — резистивно-емкостная, б — трансформаторная

тельные элементы с совпадающими характеристиками, чтобы иметь аналогичные режимы работы в течение каждого полупериода.

### § 36. Усилители постоянного тока

Усилители постоянного тока (УПТ) — это усилители медленно изменяющихся сигналов. Здесь используется непосредственно гальваническая связь между каскадами без применения емкостей или индуктивностей. Простейшая схема лампового усилителя постоянного тока показана на рис. 71, а (двухкаскадный УПТ). Здесь наглядно виден недостаток схем УПТ — большое число источников питания (этот недостаток можно исключить, используя один источник питания и делители напряжения).

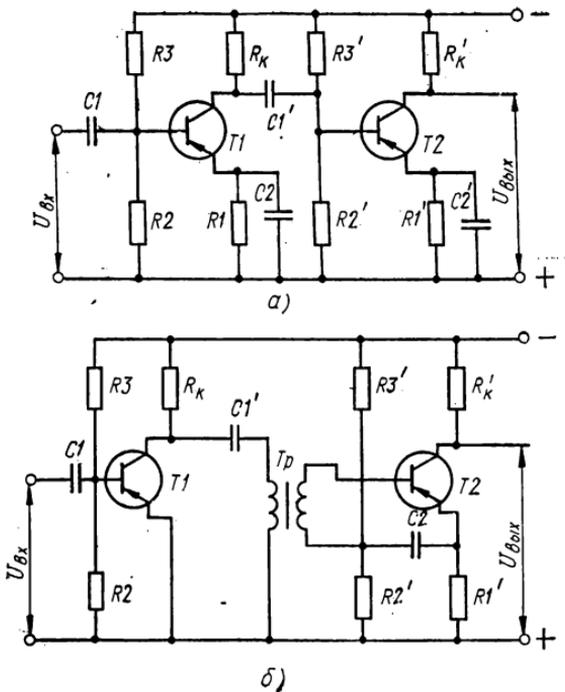


Рис. 69. Виды межкаскадных связей усилителей на транзисторах:  
 а — резистивно-емкостная, б — трансформаторная

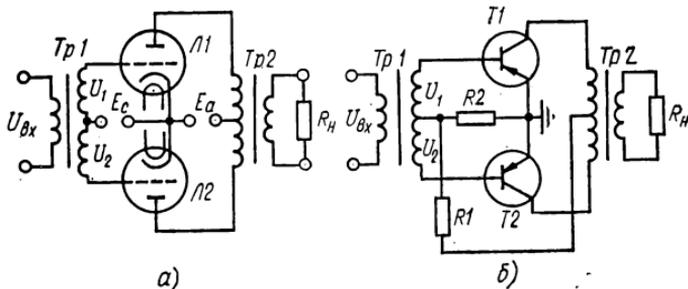


Рис. 70. Двухтактные схемы усилителей выходных каскадов:  
 а — ламповая, б — на транзисторах

Однако основным недостатком УПТ является «дрейф нуля» — нестабильность выходного напряжения при отсутствии сигнала, обусловленная нестабильностью источников питания и параметров схемы. Для УПТ на транзисторах большое значение имеет температурный дрейф нуля — непостоянство выходного напряжения при отсутствии сигнала, вызванное изменением окружающей температуры. Для уменьшения дрейфа нуля необходима стабилизация

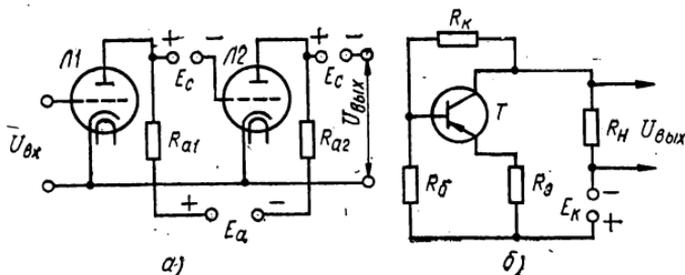


Рис. 71. Усилители постоянного тока:  
а — ламповый, б — на транзисторах

источников питания (обычно электронными стабилизаторами), стабилизация тока накала (бареттерами) или использование специальных схем УПТ: УПТ с отрицательной обратной связью или мостовых (балансных) схем УПТ.

На рис. 71, б изображена схема УПТ на транзисторе с отрицательной обратной связью: стабилизация режима работы обеспе-

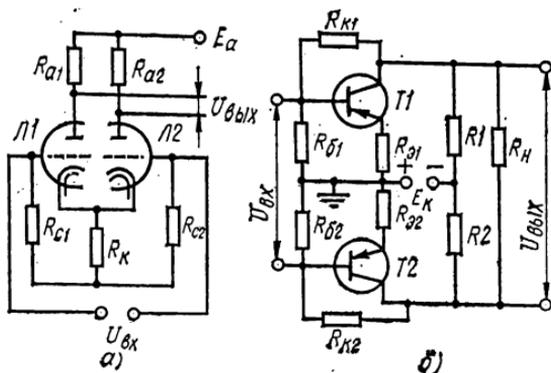


Рис. 72. Мостовая схема усилителя постоянного тока:  
а — ламповая, б — на транзисторах

чивается отрицательной обратной связью по току, которая осуществляется с помощью резистора  $R_в$ , и отрицательной обратной связью по напряжению, которая осуществляется резисторами  $R_б$ ,  $R_к$  и  $R_н$ . Работа транзистора и, следовательно, всего УПТ тем стабильнее, чем сильнее отрицательная обратная связь, но при этом соответственно уменьшается коэффициент усиления.

Наиболее эффективным методом для уменьшения дрейфа нуля является применение мостовых схем, которые строятся по принципу

сбалансированного моста. При этом изменение напряжения, приложенного к одной диагонали моста, не вызывает изменения токов и напряжений в другой диагонали. Обычно мостовые схемы симметричны и усилительные элементы, используемые в них, обладают аналогичными характеристиками.

На рис. 72, а показана мостовая схема УПТ на лампах с симметричным входом: лампы  $L1$  и  $L2$  составляют два плеча моста, а резисторы  $R_{a1}$  и  $R_{a2}$  — другие два плеча. Для симметричности схемы обычно используют двойной триод. Резистор  $R_k$  служит для образования напряжения смещения. Входное напряжение, поступающее на сетки ламп, имеет противоположную полярность на одной сетке относительно другой. При этом нарушается баланс моста: появляется напряжение на выходе  $U_{вых}$  (при сбалансированном мосте выходное напряжение равно нулю, независимо от изменения напряжения источников питания).

На рис. 72, б изображена мостовая схема УПТ на транзисторах с отрицательной обратной связью (для каждого каскада). Транзисторы включены по схеме ОЭ, нагрузка  $R_n$  включена между коллекторами транзисторов. Нестабильность тока в нагрузке зависит в основном от нестабильности коллекторных токов транзисторов. Для симметричности схемы выбирают транзисторы, у которых температурные характеристики изменения коллекторных токов близки. (Обозначения элементов на схеме, показанной на рис. 72, б, аналогичны обозначениям на рис. 71, б.)

Усилители постоянного тока особенно широко применяют в различных системах автоматического управления для создания напряжения, пропорционального величинам регулируемых параметров (причем величины параметров могут изменяться или в течение длительного времени быть постоянными).

## § 37. Номограммы для расчета транзисторных усилителей

Для облегчения расчетов транзисторных усилителей можно воспользоваться нижеприводимыми номограммами, которые обеспечивают достаточную точность расчетов для практических схем электроники (порядка 5—10%). С этой целью приведены номограммы, включающие область наиболее характерных значений соответствующих величин.

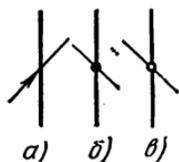


Рис. 73. Условные обозначения, принятые в ключах номограмм:

$a$  — заданные величины,  $b$  — вспомогательные точки,  $c$  — результирующие величины

Приведенные на номограммах ключи показывают последовательность действия для отыскания искомой величины (соответствующее уравнение приведено в верхней части номограммы). Порядок расчета определяется ключом, также изображенным на каждой номограмме. Заданные величины обозначены стрелками (рис. 73, а), вспомогательные точки — точкой (рис. 73, б), результирующие величины — кружком (рис. 73, в).

Для расчета на номограмме делается один или несколько шагов (шаг — определение искомой величины по двум заданным параметрам). Последовательность шагов определена ключом. Например, для определения граничной частоты коэффициента усиления по току

(рис. 74) устанавливают один конец линейки на шкалу  $f$  (на заданной частоте), а другой конец на шкалу  $h_{210}$  (на заданном значении коэффициента усиления по току). На пересечении линейки и шкалы  $f_r$  находится искомое значение граничной частоты усиления. Так, для

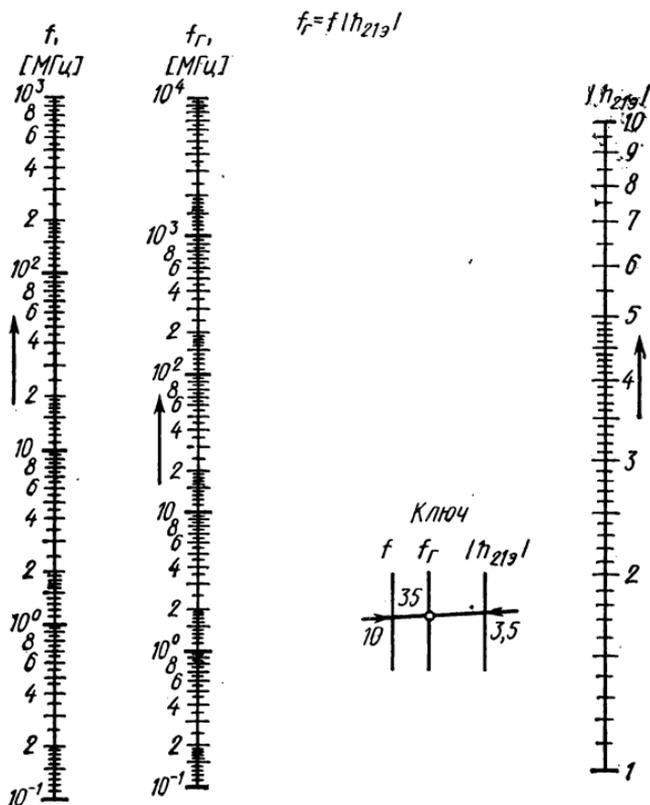


Рис. 74. Расчет граничной частоты коэффициента усиления по току

$f = 10$  МГц и  $h_{210} = 3,5$  искомая граничная частота усиления  $f_r = 35$  МГц. Аналогично используют номограммы, показанные на рис. 75—89.

При наличии на номограмме двух диапазонов (А и В) при расчете следует пользоваться только одним выбранным диапазоном на всех шкалах.

С номограммами для расчета элементов, узлов и некоторых других электронных устройств можно познакомиться в книге Томашека К. Н. «Номограммы в транзисторной технике». М., «Энергия», 1975.

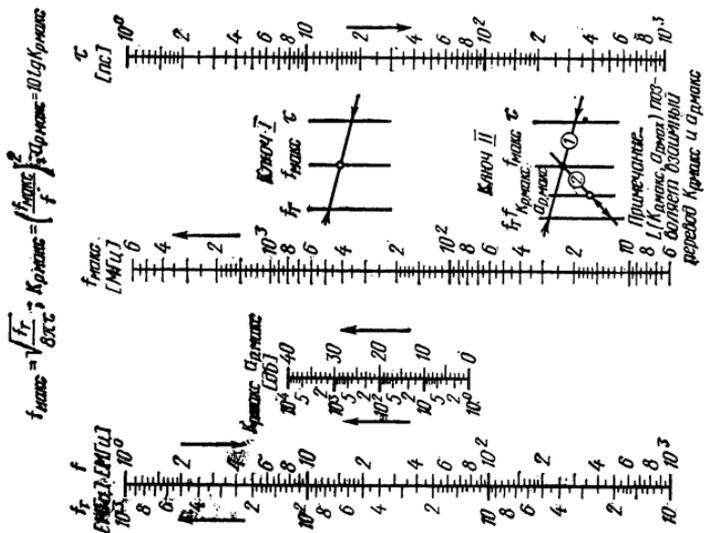


Рис. 75. Расчет максимальной частоты коэффициентов усиления по мощности (схема с ОБ)

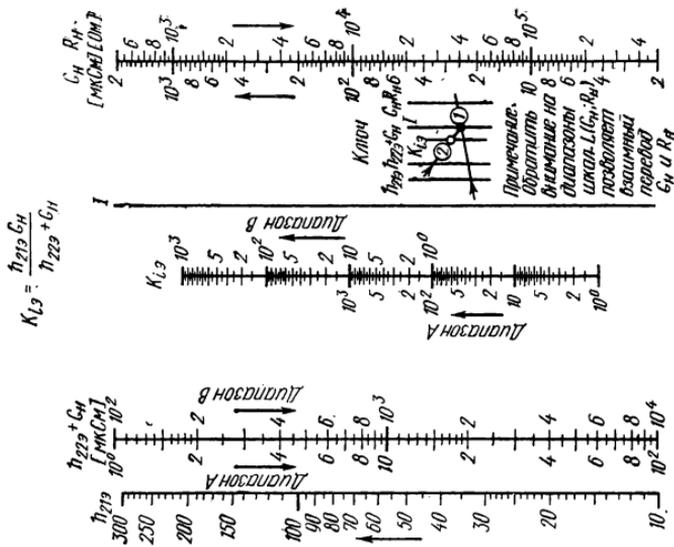


Рис. 76. Расчет коэффициента усиления по току линейного (предварительного) каскада УНЧ (схема с ОЭ)

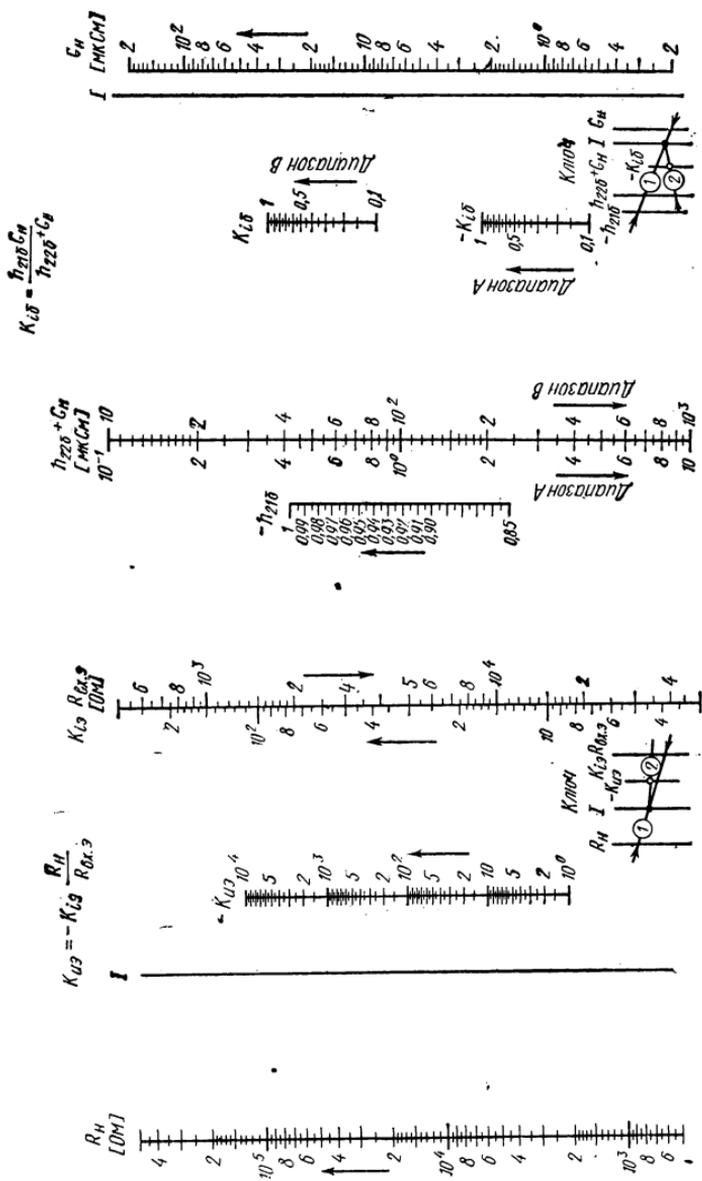


Рис. 77. Расчет коэффициента усиления по напряжению линейного (предварительного) каскада УНЧ (схема с ОЭ)

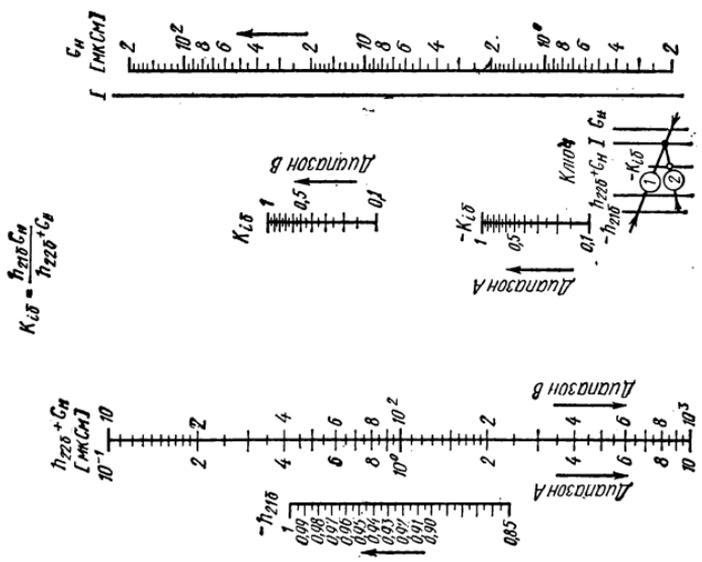


Рис. 78. Расчет коэффициента усиления по току линейного (предварительного) каскада УНЧ (схема с ОБ)





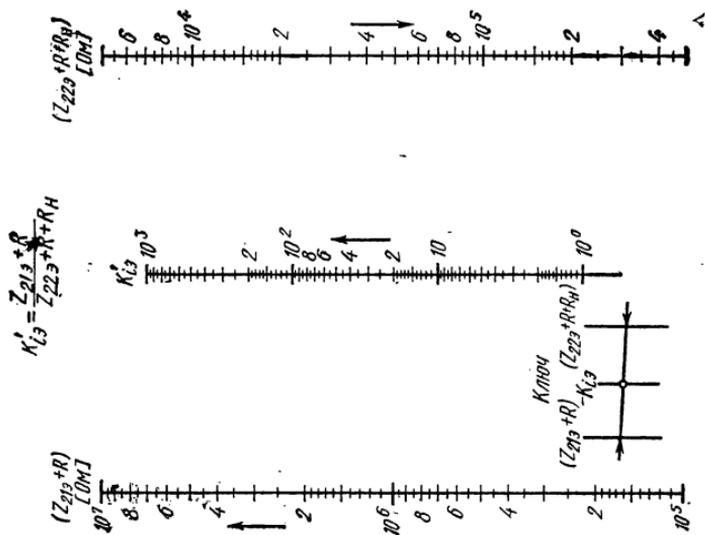


Рис. 83. Расчет коэффициента усиления по току линейного (предварительного) каскада УНЧ, включенного по схеме с ОЭ с последовательной отрицательной связью ОС по току

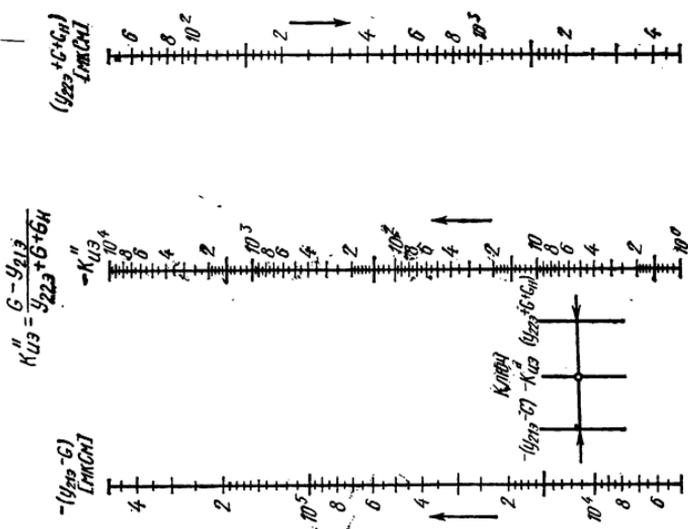


Рис. 84. Расчет коэффициента усиления по напряжению линейного (предварительного) каскада УНЧ, включенного по схеме с ОЭ с параллельной отрицательной связью ОС по напряжению

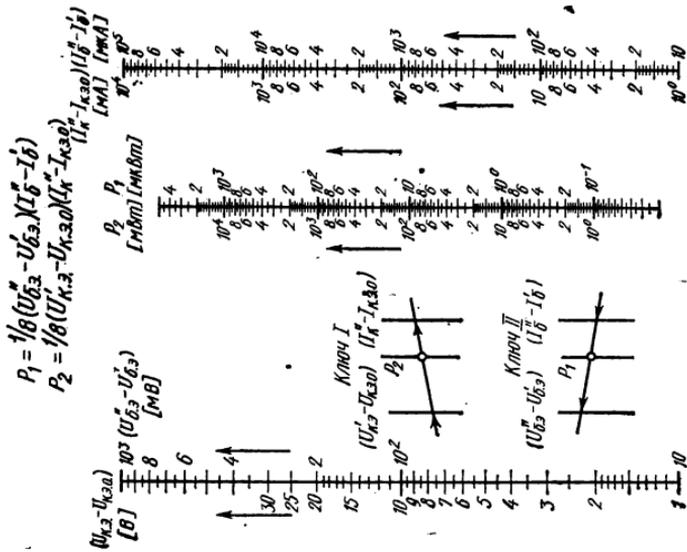


Рис. 85. Расчет входной и выходной мощностей сигнала одноконтурного оконечного каскада УНЧ (класс А, схема с ОЭ)

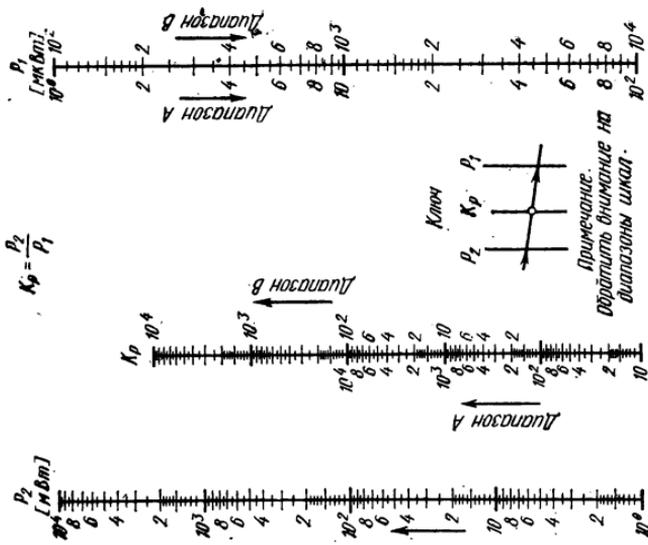


Рис. 86. Расчет коэффициента усиления по мощности

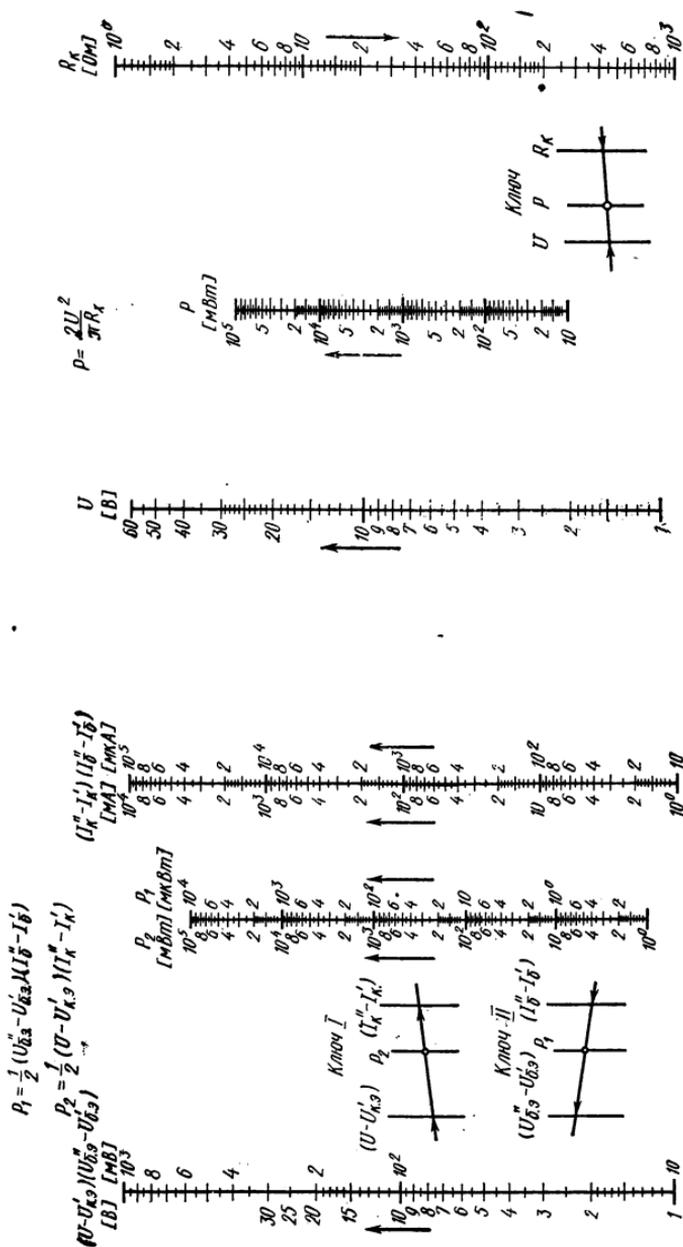


Рис. 87. Расчет входной и выходной мощностей сигнала двухтактного оконечного каскада УНЧ (класс В, схема с ОЭ)

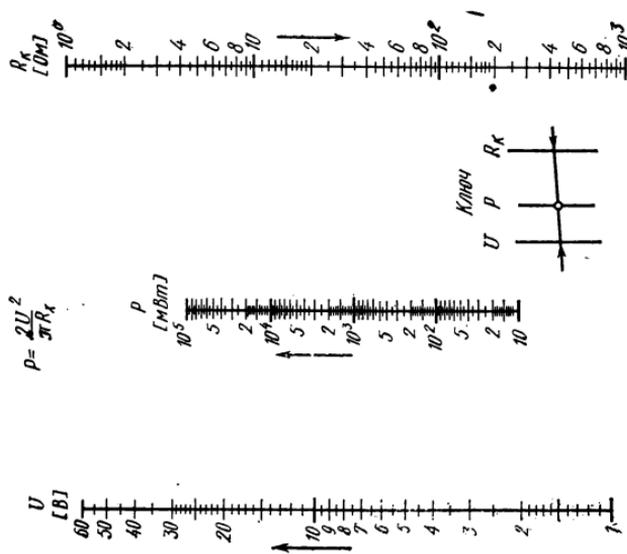


Рис. 88. Расчет потребляемой мощности двухтактного оконечного каскада УНЧ

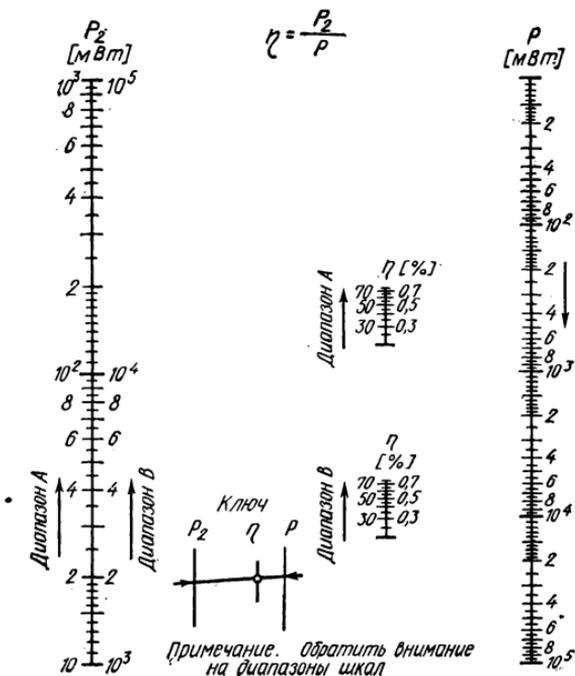


Рис. 89. Расчет к. п. д. двухтактного оконечного каскада УНЧ

## Г Л А В А IX

### ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ И АППАРАТУРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ И ПРОВЕРКИ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ

#### § 38. Электронные измерительные приборы

Обозначения электронных измерительных приборов приведены в табл. 78.

Подключение измерительного прибора к электронной цепи может нарушить процессы, происходящие в измеряемой цепи, а неправильный выбор прибора может быть причиной ошибочных измерений. Степень вносимых измерительными приборами искажений надо оценивать, поэтому нужно знать параметры входных цепей используемых приборов.

Влияние входной цепи прибора уменьшается с уменьшением его входной емкости и увеличением входного активного сопротивления. Сравнение входных параметров измеряемой цепи с входными параметрами прибора позволяет выполнять измерения.

Таблица 78

Назначение измерительного прибора	Обозначение
Приборы для измерения тока	А
Приборы для измерения напряжения	В
Приборы для измерения мощности	М
Приборы для измерения параметров в устройствах с сосредоточенными постоянными	Е
Приборы для измерения параметров в устройствах с распределенными постоянными	Р
Приборы для измерения частоты	Ч
Приборы для измерения сдвига фаз и времени запаздывания	Ф
Приборы для наблюдения и исследования формы сигналов и спектра	О
Приборы для наблюдения и исследования характеристик радиоустройств	Х
Специальные приборы для импульсных измерений	И
Измерительные усилители	У
Приборы для измерения напряженности поля, радиопомех и антенных измерений	П
Аттенюаторы и делители напряжения	Д
Измерительные генераторы	Г
Элементы коаксиальных и волноводных трактов	Э
Приборы для измерения параметров ламп и полупроводниковых приборов	Л
Источник питания для измерительных приборов	В

### Ламповые вольтметры

Ламповые вольтметры основаны на преобразовании при помощи электронных ламп измеряемого напряжения высокой частоты в постоянное напряжение. Эти вольтметры различают по типам схем входа и режиму детектирования — вольтметры с открытым входом и закрытым входом.

Параметры ламповых вольтметров приведены в табл. 79.

### Полупроводниковые вольтметры

Полупроводниковые приборы основаны на преобразовании при помощи полупроводниковых выпрямителей измеряемого напряжения высокой частоты в постоянное напряжение. Параметры полупроводниковых вольтметров приведены в табл. 80.

Таблица 79

Тип лампового вольтметра	Пределы измерения	Погрешность измерения, %	Входные параметры		Диапазон частот	Длительность импульса, мкс
			$R_{вх}$	$C_{вх}$ , пФ		
ВЗ-4 (МВЛ-1)	800 мкВ—100 В	2,5—12	1 МОм	12	40 Гц—30 МГц	—
ВЗ-6 (МВЛ-6)	150 мкВ—200 В	6—10	5 МОм	25	5 Гц—1 МГц	—
ВЗ-7 (МВЛ-7)	300 мкВ—300 В	1,5—6	2 МОм	25	20 Гц—200 кГц	—
ВЗ-24	25 мВ—100 В	$\left(0,2 + \frac{0,08}{U_H}\right) \pm 4$	$(0,08 \pm 200)$ кОм	1,5	20 Гц—1000 МГц	—
ВЗ-25	1 мВ—3 В	4—6	100 кОм	1,5	10 кГц—1000 МГц	—
ВК2-6	0,01—1000 В	$\pm 0,2$	1 МОм	—	Постоянное напряжение	—
ВЧ-2 (ВЛЧ-3)	3—500 В	4	—	—	Не менее 20 Гц	0,1—300
ВЧ-4	3—150 В	4—10	—	—	20 Гц—10 кГц	0,01—200
ВЧ-8	1—300 В	4	—	—	Не более 20 Гц	500—50 000
Ф-564	0,2 мВ—300 В	0,5	5 МОм	До 30	40 Гц—1000 кГц	—

## Цифровые вольтметры

В этих приборах непрерывная измеряемая величина преобразуется в определенную величину, отсчитываемую на табло цифрами. Достоинствами цифровых вольтметров являются высокая точность, быстрое действие, возможность автоматизации процессов измерений с

Таблица 80

Тип полупроводникового вольтметра	Предел измерения, В	Погрешность измерения, %	Диапазон частот, Гц
Ц-24	250	4,0	50
Ц-26	300	2,5	50
Ц-61/1	250	4,0	50
Ц-130	250	2,5	0,5—5
Ц-211	30—2000	2,5	50—8000

регистрацией их результатов, удобство передачи результатов измерений на расстояние и введения их в цифровые вычислительные машины (ЦВМ).

Параметры цифровых вольтметров приведены в табл. 81.

## § 39. Электронные осциллографы

Электронные осциллографы применяют в цепях промышленной электроники для измерения различных электрических величин с одновременным наблюдением и возможным фотографированием формы электрических колебаний процессов, протекающих во времени. При работе с осциллографом учитывают влияние его входных цепей на параметры исследуемой схемы.

Технические характеристики наиболее распространенных типов осциллографов приведены в табл. 82.

## § 40. Приборы и аппаратура для измерения параметров и проверки электронных схем

Ниже приведен перечень некоторых наиболее употребительных приборов, используемых для измерения и проверки отдельных устройств в электронных схемах, и дана краткая характеристика их технических параметров.

Универсальный испытатель ламп Л1-3 (МИЛУ-1) предназначен для снятия статических характеристик и измерения параметров приемно-усилительных ламп, маломощных генераторных ламп, кенотронов, диодов и газонаполненных стабилитронов. Испытательные напряжения: накала 0—14 В, управляющих сеток 0—65 В, экранных сеток 10—300 В, анодов ламп 6—300 В, анодов кенотронов 2—500 В. Питание от сети переменного тока при частоте 400 Гц напряжением 115 В. Потребляемая мощность 300 Вт.

Таблица 81

Тип цифрового вольтметра	Пределы измерения					Средняя погреш- ность измерения, %
	напряжения		переменного	постоянного тока	сопротивления	
	постоянного					
B7-8	1 мВ—1000 В	1 мВ—300 В	—	—	—	0,1—0,3
B7-16	1—1000 В	10—1000 В	—	—	1 кОм—10 МОм	0,05—0,20
B7-20	—	1—1000 В	—	1—1000 мА	1—1000 кОм	0,5—1,00
B7-21	1 мкВ—500 В	—	—	10 мА—5 А	—	0,2
B7-22	0,1 мВ—1000 В	0,1 мВ—300 В	—	—	—	0,1—0,2
BK2-6	0,01—1000 В	—	—	—	—	0,2
BK7-10A/1	—	10—1000 В	—	—	10 кОм—10 МОм	0,1—0,3
BK2-20	2 мВ—200 В	—	—	0,2 мкА—2 А	—	0,3
BT-12	0,1 мВ—1000 В	0,1 мВ—700 В	—	—	—	0,01
Ш33-04-1	0,1—1000 В	—	—	—	10—100 Ом	0,005

Таблица 82

Тип осциллографа	Диапазон частот	Коэффициент отклонения, мВ/см	Развертка, мкс/см	Входные параметры		Масса, кг
				$R_{вх}, \text{МОм}$	$C_{вх}, \text{пФ}$	

## Работающие в жестких климатических условиях

С1-5 (СИ-1)	10 Гц—10 МГц	240	0,2—600	0,5	50	18
С1-6 (ЭМО-2)	30 Гц—1 МГц	6000	0,38—125	0,5	50	4
С1-20	10 Гц—20 МГц	100	0,1—2	0,5	40	23
С1-34	0—5 МГц	170	0,17—33	1	50	19
С1-36	0—5 МГц	20	0,17—0,33	1	50	8
С1-67	0—100 МГц	10	0,1—20	1	40	10

## Лабораторные

С1-13А	20 Гц—15 МГц	100	$0,5—0,8 \cdot 10^6$	1	30	102
С1-15/1	0—25 МГц	50	$0,02—1 \cdot 10^6$	0,5	50	44
С1-15/7	0—200 МГц	100	$2,5—50 \cdot 10^{-3}$	0,5		
С1-19А	0—1 МГц	2	$1—1 \cdot 10^6$	1	45	21
С1-31	0—100 МГц	100	$50 \cdot 10^{-3}—50$	0,1—5	3—16	40
С1-7 *	30 Гц—6 А МГц	170	0,03—100	0,5	17	300
С1-16 *	0—5 МГц	20	0,2	0,5	45	25
С1-33 *	30 Гц—5 МГц	10	0,5—150	0,5	40	160

## Запоминающие

С1-29 **	0—2 МГц	100	1	0,5	45	25
С1-37 **	0—10 МГц	10	0,5	0,5	40	35
С8-8 **	0—1 МГц		$0,5—5 \cdot 10^6$	0,5	90	55

## Специальные

С1-36	0—1000 МГц	1000	$1 \cdot 10^{-2}—1$	$75 \cdot 10^{-6}$	—	54
С1-14	0—3000 МГц	3300	$1 \cdot 10^{-2}—0,5$	$75 \cdot 10^{-6}$	—	108

\* Осциллографы С1-7 и С1-16 — двухлучевые, а С1-33 — пятилучевой.

\*\* Время воспроизведения записанного изображения у осциллографа С1-29 — 1 мин, у С1-37 и С8-8 — 30 мин.

**Всеволновый куметр КВ-1** предназначен для измерения добротности колебательных контуров в пределах 25—600 с точностью 5%, емкости конденсаторов 30—450 пФ с точностью 1% и индуктивности катушек в пределах 0,1 мкГн—10 мГн с точностью 1,5%. Диапазон частот от 50 кГц до 50 МГц.

**Низкочастотный измеритель индуктивностей ИИН-2** предназначен для измерения индуктивностей в диапазоне 0,1—1000 Гн с погрешностью 10%. Предусмотрена возможность измерения индуктивностей с током подмагничивания 0—100 мА.

Низкочастотный измеритель емкостей ИЕН-2М предназначен для измерения емкости и тангенса угла потерь бумажных и электролитических конденсаторов, а также для измерения тока утечки последних. Диапазон измерения бумажных конденсаторов 500 пФ — 50 мкФ, электролитических — до 5000 мкФ. Диапазон измерения тока утечки 0—50 мА. Погрешность измерения емкости бумажных конденсаторов  $\pm 1\%$ , электрических конденсаторов 5%.

Основные технические характеристики выпускаемых промышленностью приборов для измерения параметров транзисторов приведены в табл. 83.

Тип прибора	Диапазон частот	Измеряемые параметры и пределы их измерения	Погрешность измерения, %	Режим измерения по постоянному току
<b>Измерители параметров плоскостных транзисторов</b>				
Л2-1	700 Гц	$\alpha = 0,9 \div 1$	5	$U_k = 4,5 \text{ В}; I_g = 1 \text{ мА}$
		$h_{22} = 0,4 \cdot 10^{-6} \div 4 \cdot 10^{-6} \text{ 1/Ом}$	10	
		$I_{к0} = 0 \div 50 \text{ мкА}$	2,5	
Л2-2	270 Гц	В схеме с общей базой: $h_{11} = 3 \div 300 \text{ Ом}; h_{12} = 3 \cdot 10^{-3} \div 3 \cdot 10^{-5};$ $h_{22} = 3 \cdot 10^{-6} \div 3 \cdot 10^{-8} \text{ 1/Ом};$ $\alpha = 0,7 \div 1; I_{к0} = 2 \div 50 \text{ мкА}$	5	$U_k = 2 \div 50 \text{ В} \pm 2,5\%$
		В схеме с общим эмиттером: $h_{11} = 100 \div 10000 \text{ Ом}; h_{12} = 3 \cdot 10^{-4} \div 3 \cdot 10^{-5};$ $h_{22} = 3 \cdot 10^{-4} \div 3 \cdot 10^{-6} \text{ 1/Ом};$ $\beta = 10 \div 1000$	10	
	465 кГц 100 кГц-10 МГц	$S_k = 5 \div 100 \text{ пФ}$ (внешний генератор) $\alpha = 0,3 \div 1$ (внешний генератор)	15-3 пФ —	$I_g = 0,1 \div 5 \text{ мА} \pm 5\%$ —

Л2-9	10 ÷ 100 МГц	$f_a = 10 \div 100$ МГц; $\alpha = 0,3 \div 1$	15	$U_k = 2 \div 100$ В; $I_s = 0,1 \div 20$ мА
<b>Измеритель параметров высокочастотных транзисторов</b>				
Л2-12	10 ÷ 100 МГц	$\beta_{ст} = 10 \div 1000$ (на 1500 Гц); $\beta = 0,5 \div 1000$	10	$U_k = 2 \div 100$ В; $I_s = 0,5 \div 30$ мА
	и 1500 Гц ± 30%	$I_{к0} = 2 \div 100$ мкА (на высоких частотах)	15	
<b>Измеритель параметров мощных транзисторов</b>				
Л2-13	Постоянный ток	$\beta_{ст} = 3 \div 100$	10	$I_k = 100$ мА ÷ 10 А; $U_k$ до 20 В; $U_k$ до 150 В
		$U_{кн}, U_{бн} = 0,1 \div 10$ В	10	
		$I_{к0}, I_{кн}, I_{э0}, I_{кэ} = 10$ мкА ÷ 300 мА	5	
		$U_{\alpha=1} = 2 \div 150$ В	10	
Л2-42	Постоянный ток	$\beta_{ст} = 5 \div 500$	10	
		$U_{кн} = U_{бн} = 0,1 \div 10$ В	10	
		$I_{к0}, I_{кн}, I_{э0}, I_{кэ} = 1$ мкА ÷ 30 мА	5	
<b>Измерители входных и выходных проводимостей транзисторов</b>				
Л2-7	0,4—10 МГц	Активные составляющие ( $10^{-6} \div 1$ ) 1/Ом Реактивные составляющие (0,5 ÷ 10 000) пФ	15	$U_k$ до 100 В; $I_s$ до 30 мА

Тип прибора	Диапазон частот	Измеряемые параметры и пределы их измерения	Погрешность измерения, %	Режим измерения по постоянному току
Л2-8	15, 20, 30, 45, 60 МГц	Активные составляющие (10 <sup>-4</sup> ÷0,2) 1/Ом Реактивные составляющие (0,5÷200) пФ	15	$U_k$ до 100 В; $I_s$ до 30 мА
<b>Приборы общего применения</b>				
Л2-28	0,3 МГц 10 МГц	Емкость (30—1000) пФ	10	—
		Емкость (0,3—30) пФ		
Л2-31	—	Ток утечки 0,3·10 <sup>-12</sup> ÷1·10 <sup>-6</sup> А Ток стока (0,1—50) мА Пороговое напряжение (0,3—30) В Выходная дифференциальная проводимость (2—1000) мксим	5—10	—
Л2-32	НЧ по затвору и подложке ВЧ 10, 20, 50, 100 МГц по затвору	Ток стока — до 50 мА Крутизна 0,05—30 мА/В	10	(0,5—50) В
		Крутизна 0,05—30 мА/В		
Л2-33		Временные параметры интегральных логических схем (3—1000) нс. Амплитуда входных и выходных сигналов (0,5—10) В	15	—

Универсальные цифровые приборы

Ф4-80	<p>Сопротивление 10 Ом — 1 МОм                      Индуктивность катушек без железа  <math>1-10^3</math> мГн                      Емкость 100 пФ — 10 мкФ                      Постоянное напряжение 10 мВ—1000 В                      Частота колебаний 100 Гц—1 мГц                      Интервал времени между двумя импульсами и период синусоидальных колебаний 10 мкс                      Количество импульсов (1—1000)</p>	0,5
ЦУИП	<p>Напряжение постоянное и медленно меняющееся (0÷150) В</p> <p>Ток постоянный и медленно меняющийся (0—16) мА</p> <p>Сопротивление (0—16) МОм</p> <p>Частота 1 Гц — 500 кГц</p> <p>Период и временной интервал сигналов прямоугольной формы от 2 мкс до <math>10^5</math> с                      Счет импульсов с частотой повторения (0—500) кГц</p>	<p>0,02—0,5</p> <p>0,1—1,5</p> <p>0,1—10</p> <p>±0,01</p> <p>—</p> <p>—</p>

Продолжение табл. 83

Тип прибора	Диапазон частот	Измеряемые параметры и пределы их измерения	Погрешность измерения, %	Режим измерения по постоянному току
Ф4-800		Напряжение постоянного тока (1—1000) В Постоянный ток (1—1000) мА Сопротивление (100—10 <sup>6</sup> ) Ом Емкость (0,1—100) мкФ Индуктивность (0,1—1) Гн	±0,25	
		Частота (10—1000) кГц Интервал времени (0,01—1000) с		
		Количество импульсов 10 <sup>4</sup> —10 <sup>6</sup>	±1	

## ЛИТЕРАТУРА

Гуревич Б. М. Электроника. М., «Пищевая промышленность», 1966.

Дзюбин И. И. Тиристоры в электронных схемах. М., «Энергия», 1972.

Згурский В. С., Лисицын Б. Л. Элементы индикации. М., «Энергия», 1974.

Китаев В. Е., Шляпинтох Л. С. Электротехника с основами электроники. М., «Вышая школа», 1973.

Кушманов И. В., Васильев Н. Н., Леонтьев А. Г. Электронные приборы. М., «Связь», 1973.

Миклашевский С. П. Промышленная электроника. М., «Вышая школа», 1975.

Скаржепа В. А., Морозов А. А. Устройство автоматики на тиристорах. Киев, «Техника», 1974.

Степаненко И. П. «Основы теории транзисторов и транзисторных схем». М., «Энергия», 1973.

Ступельман В. Ш., Филаретов Г. А. Полупроводниковые приборы. М., «Советское радио», 1973.

Томашек К. Номограммы в транзисторной технике. М., «Энергия», 1975.

Федотов Я. А. Основы физики полупроводниковых приборов. М., «Советское радио», 1969.

Диоды и тиристоры. Под ред. А. А. Чернышева. М., «Энергия», 1975.

Справочные данные, технические условия, информационные листки. 1973—1977 г.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	3
Глава I. Приемно-усилительные лампы . . . . .	4
§ 1. Общая характеристика, классификация и условные обозначения . . . . .	4
§ 2. Двухэлектродная лампа — диод . . . . .	6
§ 3. Трехэлектродная лампа — триод . . . . .	10
§ 4. Многоэлектродные лампы . . . . .	13
Глава II. Генераторные лампы . . . . .	19
§ 5. Общая характеристика и условные обозначения . . . . .	19
§ 6. Основные параметры генераторных ламп . . . . .	20
Глава III. Электроннолучевые трубки . . . . .	21
§ 7. Общая характеристика и условные обозначения . . . . .	21
§ 8. Осциллографические электроннолучевые трубки . . . . .	29
§ 9. Индикаторные и запоминающие электроннолучевые трубки . . . . .	33
Глава IV. Ионные приборы . . . . .	33
§ 10. Характеристика электрического разряда в газах. Классификация и условные обозначения ионных приборов . . . . .	33
§ 11. Газотроны . . . . .	36
§ 12. Тиратроны . . . . .	39
§ 13. Стабилизаторы напряжения и тока . . . . .	47
§ 14. Неоновые лампы и элементы индикации . . . . .	53
Глава V. Полупроводниковые приборы . . . . .	61
§ 15. Физические основы полупроводниковой электроники. Условные обозначения полупроводниковых приборов . . . . .	61
§ 16. Полупроводниковые диоды . . . . .	63
§ 17. Транзисторы . . . . .	81
§ 18. Тиристоры . . . . .	104
§ 19. Основные правила эксплуатации полупроводниковых приборов . . . . .	111
§ 20. Микроэлектроника . . . . .	111
Глава VI. Фотоэлектронные приборы . . . . .	131
§ 21. Общая характеристика и условные обозначения . . . . .	131

	§ 22. Вакуумные фотоэлементы . . . . .	134
	§ 23. Газонаполненные фотоэлементы . . . . .	136
	§ 24. Фотоэлектронные умножители . . . . .	138
	§ 25. Фоторезисторы . . . . .	139
	§ 26. Фотодиоды и фототриоды . . . . .	148
Глава VII.	Выпрямители . . . . .	150
	§ 27. Общая характеристика выпрямителей. Схе- мы выпрямления . . . . .	150
	§ 28. Специальные выпрямительные схемы . . . . .	157
	§ 29. Выпрямительные устройства и transforma- тели частоты . . . . .	168
	§ 30. Сглаживающие фильтры . . . . .	169
	§ 31. Стабилизаторы напряжения и тока . . . . .	174
Глава VIII.	Электронные усилители . . . . .	178
	§ 32. Общая характеристика . . . . .	178
	§ 33. Режимы работы усилителей. Классы уси- ления. Частотные и фазовые характеристики усилителей . . . . .	180
	§ 34. Обратные связи в усилителях . . . . .	186
	§ 35. Усилители переменного тока. Одно- и мно- гокаскадные усилители. Виды связи между каскадами . . . . .	188
	§ 36. Усилители постоянного тока . . . . .	189
	§ 37. Номограммы для расчета транзисторных усилителей . . . . .	192
Глава IX.	Электронные приборы и аппаратура для измере- ния параметров и проверки электронных схем . . . . .	201
	§ 38. Электронные измерительные приборы . . . . .	201
	§ 39. Электронные осциллографы . . . . .	204
	§ 40. Приборы и аппаратура для измерения пара- метров и проверки электронных схем . . . . .	204
Литература	. . . . .	213

ГУРЕВИЧ БОРИС МАКСОВИЧ,  
ИВАНЕНКО НИНА СЕРГЕЕВНА

СПРАВОЧНИК МОЛОДОГО РАБОЧЕГО  
ПО ЭЛЕКТРОНИКЕ

ИБ № 1311

Редактор М. В. Кобринская. Художественный редактор Т. В. Панина. Художник А. И. Шавард. Технический редактор Н. В. Яшукова. Корректор М. М. Малиновская

Изд. № ЭГ — 301. Сдано в набор 24.08.77. Подп. в печать 30.05.78.  
Т-10124. Формат 84×108/32. Бум. тип. № 3. Гарнитура литературная. Печать высокая. Объем 11,34 усл. печ. л. 10,62 уч.-изд. л. Тираж 50 000 экз.  
Зак. № 531. Цена 35 коп.

Издательство «Высшая школа»,  
Москва, К-51, Неглинная ул., д. 29/14

Типография изд-ва «Уральский рабочий», г. Свердловск, просп. Ленина, 49.

