

УПРАВЛЕНИЕ ГЛАВНОКОМАНДУЮЩЕГО
ОЕННО-ВОЗДУШНЫМИ СИЛАМИ ВООРУЖЕННЫХ СИЛ
СОЮЗА ССР

КРАТКИЙ СПРАВОЧНИК ПО РАДИОЛАМПАМ

ВОЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МИНИСТЕРСТВА ВООРУЖЕННЫХ СИЛ СОЮЗА ССР
МОСКВА—1949

В Справочнике приведены электрические режимы, параметры, цоколевка и габариты приемно-усилительных, генераторных, выпрямительных и специальных ламп, применяемых в радиоаппаратуре.

Подробно изложен материал по приемно-усилительным и генераторным лампам отечественного производства с приведением основных статических характеристик.

Основные данные о новых приемно-усилительных лампах, выпускаемых нашей промышленностью, приведены в отдельной таблице.

В сводных таблицах приведены основные данные о радиолампах иностранного производства.

Справочник предназначен для инженерно-технического состава войск связи ВВС.

СПРАВОЧНИК СОСТАВИЛ
ГВАРДИИ ИНЖЕНЕР-ПОДПОЛКОВНИК

С. П. ФЕДОРОВ

ПРЕДИСЛОВИЕ

Имя великого русского ученого Александра Степановича Попова известно всему миру как имя изобретателя новейшего, наиболее совершенного средства связи — радио.

Талантливый физик А. С. Попов 7 мая 1895 г. на заседании Русского физико-химического общества продемонстрировал изобретенный им радиоприемник. Этот день и считается днем изобретения радио. Уже в марте 1896 г. А. С. Попов впервые в мире продемонстрировал передачу по радио нескольких слов, а в 1897 г. успешно осуществил двустороннюю радиосвязь.

Со дня изобретения радио до самой смерти (в 1906 г.) А. С. Попов работал над усовершенствованием своего изобретения, строил радиостанции, добиваясь наибольшей дальности действия, лучшей слышимости, компактности приемника и передатчика и удобства их эксплуатации.

В то же время А. С. Попов, создавая новую отрасль техники — радиотехнику — и понимая ее большую будущность, широко популяризовал свои работы, много времени уделял подготовке радиоспециалистов.

Изобретенная в 1873 г. талантливым русским инженером Александром Николаевичем Лодыгиным лампочка накаливания была предшественницей электронной лампы, появление которой создало новые неограниченные возможности дальнейшего развития радиотехники и совершенствования радиоаппаратуры.

Процесс конструирования электронных ламп и накопление все новых и новых данных при их эксплуатации способствовали углублению знаний в области радиотехники и одновременно быстрому совершенствованию аппаратуры радиосвязи.

Вся новейшая аппаратура радиовещания, телевидения, дальней проводной связи, военной радиосвязи, радионавигации и радиолокации основана прежде всего на использовании современных электронных ламп.

Электронные лампы нашли широкое применение и в новейшей технике. Телеавтоматика в производстве, аппаратура техники высоких частот (для закалки стали, обработки и сушки материалов и т. д.) также основаны на использовании электронной лампы.

Имена наших замечательных ученых М. А. Бонч-Бруевича, С. А. Векшинского, М. В. Шулейкина и многих других хорошо известны всему миру как авторов важнейших работ по разработке, производству и применению электронных ламп.

Годы Великой Отечественной войны показали, что для быстрого развития таких важных для обороны страны отраслей военной техники, какими являются производство аппаратуры военной радиосвязи, радионавигации, радиолокации, телеуправления и т. д., необходимо иметь высокоразвитую электровакуумную промышленность. Поэтому в настоящее время вопросу производства электронных ламп, совершенных по своей конструкции и разнообразных по ассортименту, уделяется большое внимание.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭЛЕКТРОННЫХ ЛАМПАХ

§ 1. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ ЭЛЕКТРОННЫХ ЛАМП

Электронная лампа является специальным прибором, электрические явления в котором происходят в безвоздушном пространстве — вакууме. Сущность этих электрических явлений заключается в процессе получения свободных электронов и управлении их движением.

В электронной лампе источником таких свободных электронов является катод, который обладает так называемым термоэлектронным эффектом, т. е. способностью испускать поток свободных электронов при накаливании.

Наличие в лампе специально созданного высокого вакуума позволяет электронам свободно в нем перемещаться.

Под воздействием высокого положительного потенциала, приложенного к аноду, свободные электроны общим потоком устремляются в направлении от катода к аноду. Таким образом, свободные электроны перемещаются в постоянно действующем электрическом поле анода. Увеличивая или уменьшая величину положительного потенциала на аноде, можно увеличивать или уменьшать количество электронов, поступающих на анод.

Обычно изменение величины электронного потока, иначе говоря, управление им, в электронной лампе производится при помощи специального электрода, называемого управляющей сеткой, которая располагается на пути движения электронов, т. е. между анодом и катодом.

Управляющее действие сетки заключается в том, что при изменении напряжения на сетке создается дополнительное переменное электрическое поле, которое будет или усиливать или ослаблять действие анода, что соответствующим образом будет изменять величину потока свободных электронов, поступающих на анод.

Иными словами, между анодом и катодом протекает электрический ток, величина которого может изменяться в зависимости от напряжения, подаваемого на управляющую сетку. Этот ток принято называть анодным током в отличие от тока, протекающего в цепи сетки и называемого сеточным током.

Не останавливаясь на более подробном разборе физических процессов, происходящих в электронной лампе, рассмотрим основные особенности современных электронных ламп с точки зрения их конструкции и специфики применения.

§ 2. КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ЛАМП

Ниже в таблице дана общая схема деления всех электровакуумных приборов на основные категории и группы.

КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫХ ПРИБОРОВ

Электровакуумные приборы		
разрядные		бесразрядные
электронные	полупроводниковые (гаварвардские)	
I. Нормальные	I. С холодным катодом	
1. Дiod	1. Тиратрон	1. Вакуумный термоэлемент
2. Триод	2. Игнитрон	2. Вакуумный конденсатор
3. Тетрод	3. Тригатрон	3. Вакуумное сопротивление
4. Пентод	4. Выпрямитель тлеющего разряда	4. Вакуумное термореле
5. Гексод	5. Газовый осциллограф	5. Вакуумный прерыватель
6. Гептод	6. Трубоскопическая трубка	6. Вакуумный кварцевый стабилизатор частоты
7. Октод	7. Ионный преобразователь с электромагнитным полем	7. Валомер
8. Комбинированные лампы	8. Рентгеновская трубка	8. Лампы накаливания
	9. Стабилизатор напряжения	
	10. Делитель напряжения	
	11. Разрядники	
	12. Сигнальные лампы	
II. Специальные	II. С накаливаемым катодом	
1. Фотозлементы	1. Газотрон	
2. Вторично-электронные	2. Тиратрон	
3. Автоэлектронные лампы	3. Катетрон	
4. Электронно-лучевые трубки	4. Ртутный выпрямитель	
5. Каскадные лампы	5. Газосветные лампы	
6. Клистрон	6. Стенотрон	
7. Магнетрон	7. Лампа Любке	

Как видно из таблицы, все электровакуумные приборы разделяются на две основные категории: разрядные и безразрядные. К разрядным приборам отнесены все те, основной процесс в которых заключается в получении потока электронов или ионов.

В безразрядных приборах процесс разряда отсутствует. Эти приборы имеют специальное назначение, и явления, происходящие в них, не связаны с общей теорией электронных ламп.

К группе электровакуумных приборов они отнесены потому, что вакуум — одно из основных условий их работы.

Электронные лампы относятся к категории разрядных приборов; сюда же входит группа ионных (газоразрядных) приборов. И те и другие в основном применяются в аппаратуре радиосвязи и обычно объединяются в группу так называемых радиоламп.

Конструктивные особенности той или иной лампы и ее основные данные определяются прежде всего назначением и областью использования. В зависимости от последнего все радиолампы общепринято разделять на 4 основные группы:

- 1) приемно-усилительные лампы;
- 2) генераторные лампы;
- 3) выпрямительные лампы;
- 4) специальные лампы.

Приемно-усилительные лампы в основном предназначены для усиления напряжения высокой и низкой частоты в радиоприемных и усилительных (трансляционных) устройствах.

К группе приемно-усилительных ламп также относятся детекторные лампы, предназначенные для выпрямления токов высокой частоты; лампы преобразователей частоты, предназначенные для преобразования частоты в супергетеродинных приемниках, а также комбинированные лампы, совмещающие в себе функции детектирования и усиления.

Генераторные лампы предназначены для создания токов высокой частоты в задающих генераторах ламповых передатчиков и для их последующего усиления в выходных каскадах.

В группу генераторных ламп входят также модуляторные лампы, предназначенные для усиления токов низких частот (звуковых) в модуляторных каскадах передатчиков.

Выпрямительные, или, как иногда их называют, вентильные, лампы предназначены для преобразования токов переменной частоты в постоянный ток.

Группа выпрямительных ламп используется в питающих устройствах приемников и передатчиков.

К группе специальных ламп необходимо отнести в первую очередь:

а) фотоэлектронные лампы (фотоэлементы с внешним и внутренним фотоэффектом, фотоэлектронные умножители и электронно-оптические преобразователи);

б) электроноскопические трубки (электронно-лучевые индикаторы, катодные трубки, кинескопы и др.).

К этой группе также относится ряд других ламп, имеющих специальное назначение, а именно: баретторы, стабиловольты, делители напряжения, сигнальные лампы и т. д.

Сюда же относят сложные по конструкции и физическим процессам, происходящим в них, клистроны и магнетроны. Последние разработаны только недавно и предназначены для работы в аппаратуре сверхвысоких частот (УКВ и ДЦВ).

§ 3. УСТРОЙСТВО ЭЛЕКТРОННЫХ ЛАМП

В общем случае электронная лампа состоит из следующих элементов:

1) баллона, внутри которого создан вакуум и помещаются электроды;

2) электродов (анод, катод, сетки), смонтированных на специальных держателях;

3) цоколя, при помощи которого лампа включается в схему; штырьки цоколя соединены с соответствующими электродами.

Баллон и цоколь служат вспомогательными частями электронной лампы — арматурой; основной же частью — электрической — являются электроды.

В зависимости от числа электродов, помещенных внутри баллона, электронные лампы делятся на диоды, триоды, тетроды, пентоды, гексоды, гептоды и октоды.

Каждому из указанных названий соответствует наличие в лампе двух, трех, четырех, пяти и т. д. электродов.

Простейшая электронная лампа — диод — имеет два электрода: анод и катод. Триод дополнительно имеет третий электрод — сетку, помещенную между анодом и катодом.

Остальные из вышеперечисленных ламп являются более сложными за счет увеличения числа сеток от двух до шести.

К сложным лампам относятся также комбинированные лампы, когда в одном общем баллоне помещаются элементы двух или даже трех ламп. В зависимости от их комбинации различают: двойной диод (два диода в одном баллоне), двойной триод, двойной диод-триод, двойной диод-пентод и т. д.

На рис. 1 показано изображение различных электронных ламп, общепринятое для принципиальных схем.

Кроме указанного деления, электронные лампы могут быть подразделены по ряду других технологических и конструктивных признаков.

1. В зависимости от материала, из которого изготовлен баллон, лампы делятся на две основные группы: стеклянные и металлические (рис. 2). За последнее время появились лампы с баллоном из керамики, а также с комбинированным баллоном — стеклянным с металлическим экраном (внутренним или внешним).

Преобладающее количество ламп выпускается со стеклянным баллоном.

Металлический баллон основное применение нашел для приемно-усилительных ламп (кроме оконечных и кенотронов).

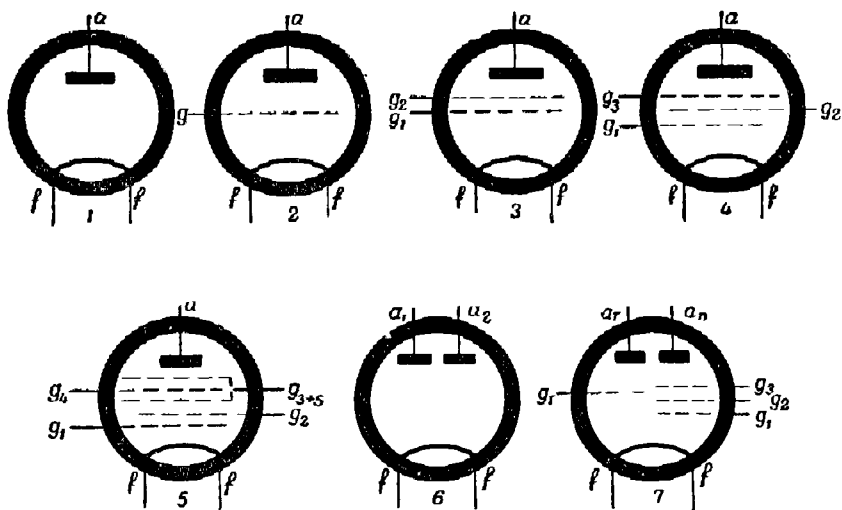


Рис. 1. Изображение радиоламп на схемах:

1 — диод; 2 — триод; 3 — тетрод; 4 — пентод; 5 — пентатриод (гептод); 6 — двойной диод; 7 — триод-пентод

Применение металлического баллона для приемно-усилительных ламп преследовало две цели: сочетание большой механической прочности с одновременным использованием стальной оболочки в качестве электрического экрана лампы.

Переход к лампам с металлическим баллоном позволил значительно снизить габариты приемно-усилительных ламп, уменьшив

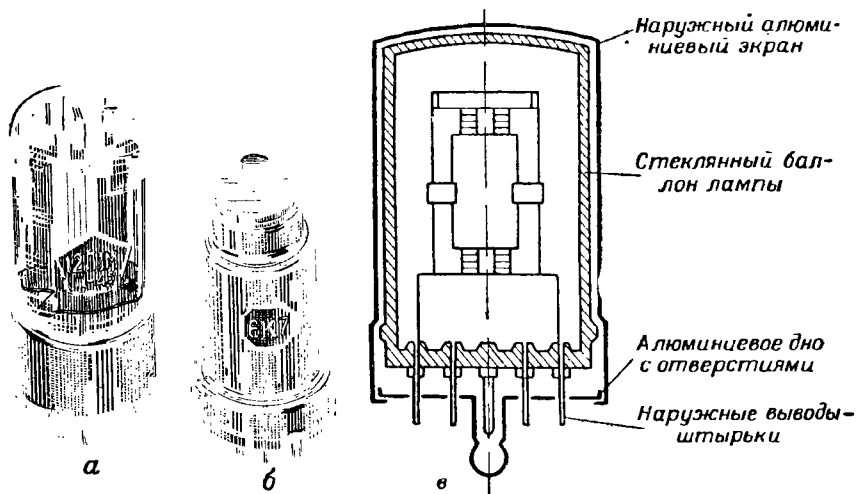


Рис. 2. Внешний вид ламп различного оформления:

а — со стеклянным баллоном; б — с металлическим баллоном; в — конструкция лампы с наружным металлическим экраном

их в $1\frac{1}{2}$ —2 раза по сравнению со стеклянными лампами. Кроме того, лампы металлической серии имеют ряд других преимуществ, как то: малые внутривлампные емкости, меньшую подверженность микрофонному эффекту, весьма удобный цоколь с направляющей ножкой и ключом.

Однако существенным недостатком металлического баллона является его непроницаемость для лучеиспускания, что вызывает значительное разогревание всей лампы, что вредно отражается на близко расположенных других элементах схемы, которым сильный нагрев вреден. Этот недостаток особенно сказывается у оконечных ламп и кенотронов. Поэтому в настоящее время металлический баллон преимущественно применяется у ламп, предназначенных для предварительных каскадов приемников. Оконечные же лампы и кенотроны изготавливаются со стеклянными баллонами.

Основное достоинство стеклянного баллона заключается в естественном его охлаждении путем лучеиспускания и значительно большей устойчивости в сохранении вакуума.

За последнее время электровакуумная промышленность освоила производство приемно-усилительных ламп со стеклянным баллоном, габариты которых равны, а в некоторых случаях даже меньше металлических ламп.

Генераторные и выпрямительные лампы обычно делаются со стеклянным баллоном.

2. В зависимости от материала катода и его обработки электронные лампы разделяются на лампы с вольфрамовым, торированным (карбидированным), оксидным, бариевым и цезированным катодом.

Нить накала из чистого вольфрама применялась в основном на первой стадии развития ламповой техники. Такая нить обладает тем достоинством, что вольфрам как наиболее прочный и тугоплавкий металл выдерживает весьма высокие температуры (2400 — 2600°C), не разрушаясь.

Однако чисто вольфрамовая нить обладает тем недостатком, что для достижения нормальной температуры накала требует большого расхода электрической энергии, что весьма неэкономично. Поэтому в настоящее время вольфрамовый катод применяется в редких случаях (в основном для мощных генераторных ламп).

Вольфрам в чистом виде также применяется в качестве материала для зерна нити, поверхность которой активизируется различными примесями других металлов. Так, на смену чисто вольфрамового катода появился торированный катод (вольфрам с примесью окиси тория).

Торированный катод (иначе называемый карбидированным) обладает значительно большей удельной эмиссией при меньшей рабочей температуре накала, т. е. более экономичен.

Недостатками торированной нити являются: ее хрупкость; чувствительность к перегревам (кратковременный перегрев вызывает испарение наружного слоя тория, а длительный перегрев — испарение всего запаса тория), что ведет к потере эмиссии;

сильное вибрирование нити при сотрясениях и ударах, вызывающее колебание величины анодного тока, что приводит к появлению сильного звона в телефонах.

По этим причинам торированные нити нельзя употреблять в лампах, предназначенных для авиационной аппаратуры.

В настоящее время торированные (карбидированные) катоды находят применение в маломощных и средней мощности генераторных лампах.

Оксидные катоды представляют цикелевые или вольфрамовые нити, покрытые смесью окислов бария, стронция или кальция. Оксидные катоды имеют рабочую температуру $900-1100^{\circ}\text{C}$ и повышенную эмиссионную способность, что делает их еще более экономичными.

Основной недостаток оксидных катодов — чувствительность к перегревам, разрушающим активный слой на поверхности нити.

Бариевые катоды в качестве керн используют вольфрам, который покрывается тонким слоем металла бария. Они работают при еще более низкой температуре ($700-900^{\circ}\text{C}$) и при этом обладают хорошей удельной эмиссией.

Бариевые катоды являются наиболее экономичными и устойчивыми в работе и допускают значительный кратковременный перегрев нити без потери эмиссии.

Наибольшей эмиссионной способностью обладают цезированные катоды (вольфрамовый или молибденовый керн, покрытый активным слоем цезия). Однако активный слой цезия весьма неустойчив, легко испаряется даже при низких температурах, и поэтому цезированные катоды используются лишь при работе в холодном состоянии (в фотоэлементах).

3. В зависимости от способа нагрева катода электронные лампы разделяются на лампы с прямым и косвенным (подогретым) накалом.

Косвенный (подогретый) накал применяется для уничтожения фона при питании цепей накала лампы от сети переменного тока.

4. Электронные лампы бывают одноцокольные, когда все выводы сделаны через специальную ножку, и двухцокольные, когда выводы сделаны через ножку и через специальный вывод, помещенный на самом баллоне (колпачок).

Цоколи ламп в свою очередь разделяются на октальные, локтальные, восьмиштырьковые, бесштырьковые и штифтовые.

На рис. 3 показаны различные виды цоколей, в основном относящихся к приемно-усилительным лампам.

В генераторных и других лампах применяется штифтовый и реже октальный цоколь, а также бесцокольная конструкция с выводами через гибкие изолированные проводнички с наконечниками.

5. По отдаваемой мощности электронные лампы разделяются на лампы маломощные, средней мощности и мощные.

6. По виду охлаждения электронные лампы бывают с естественным охлаждением, путем лучеиспускания, и с принудительным

охлаждением, путем конвекции воздухом или жидкостью, чаще всего водой.

Принудительное (конвекционное) охлаждение применяется у мощных генераторных ламп, для которых обычного лучеиспускания для охлаждения недостаточно, так как аноды этих ламп сильно разогреваются.

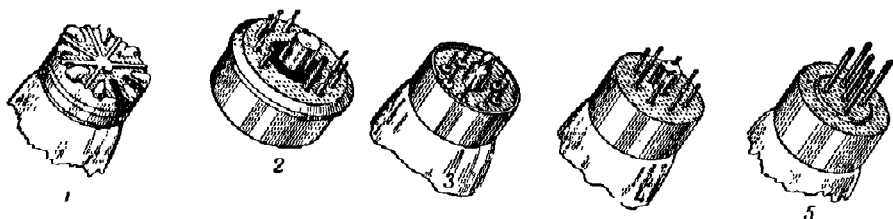


Рис. 3. Различные виды цоколей:

1 — бесштырьковый; 2 — шестырьковый; 3 — доктовый; 4 — октальный; 5 — штырьковый

7. По габаритам электронные лампы делятся на лампы нормальных размеров (обычные стеклянные), малогабаритные, типа «жолудь», миниатюрные («пальчиковые») и т. д.

Такое деление и название ламп в основном относятся к приемно-усилительным лампам и соответствуют их форме и определенным стандартным габаритам.

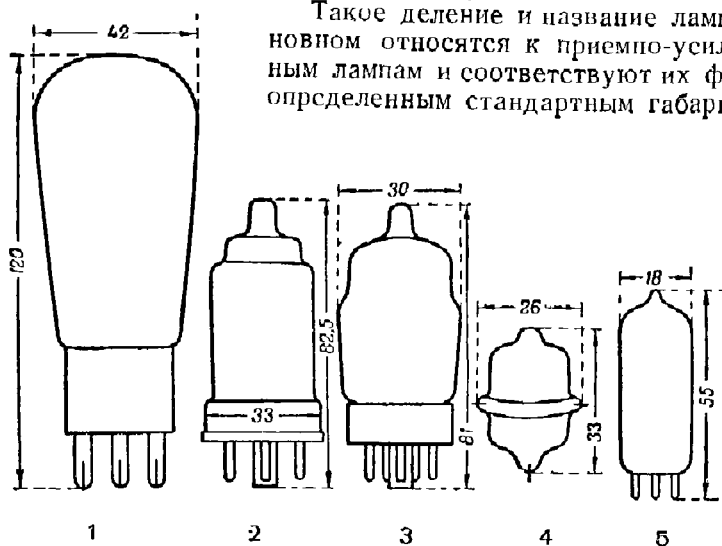


Рис. 4. Габариты основных типов приемно-усилительных ламп:

1 — стеклянных; 2 — металлических; 3 — стеклянных малогабаритных; 4 — типа «жолудь»; 5 — «пальчиковых»

На рис. 4 приведены габариты основных типов приемно-усилительных ламп.

Генераторные, выпрямительные и прочие электронные лампы, как правило, имеют значительно большие габариты, по которым обычно не разделяются.

§ 4. ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПАРАМЕТРЫ ПРИЕМНО-УСИЛИТЕЛЬНЫХ И ГЕНЕРАТОРНЫХ ЛАМП

Определение и аналитическое выражение для характеристик и параметров

Полная характеристика электронной лампы включает большое количество различных данных, поэтому на практике часто пользуются стандартным паспортом лампы, содержащим две-три основные характеристики, соответствующие токам и напряжениям рабочего режима, и основные параметры лампы.

Характеристикой лампы в общем случае называется зависимость анодного и сеточного токов от напряжения на сетке или на аноде при постоянном напряжении накала. Соответственно, в зависимости от того, что является изменяющейся величиной — сеточное или анодное напряжение, — различают сеточные и анодные характеристики лампы.

Так, при определенном и постоянном анодном напряжении U_a и изменяющемся сеточном напряжении U_g получаем сеточную характеристику: $I_w, I_g = f(U_g)$.

Ряд таких характеристик, снятых для различных анодных напряжений, дает семейство сеточных характеристик.

Наоборот, при неизменяющемся и постоянном напряжении на сетке U_g и изменяющемся напряжении на аноде U_a получаем анодную характеристику лампы: $I_w, I_g = f(U_a)$, а ряд таких характеристик, снятых для различных U_g , будет представлять семейство анодных характеристик.

Характеристики, в которых один из влияющих факторов остается постоянным, называются статическими характеристиками, в отличие от другого вида характеристик — динамических, когда одновременно учитывается влияние обеих величин.

Основными характеристиками ламп являются их статические характеристики.

Основными параметрами электронной лампы являются:

μ — коэффициент усиления (без размерности);

S — крутизна $\left(\text{в } \frac{\text{миллиамперы}}{\text{вольт}} \right)$;

R_i — внутреннее сопротивление переменному току (в омах).

Коэффициент усиления μ

$$\mu = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_g} \text{ (при } I_a = \text{const}),$$

где ΔU_a — величина изменения анодного напряжения в вольтах (δ);

ΔU_g — соответствующее изменение сеточного напряжения для получения того же анодного тока;

I_a — анодный ток.

Коэффициент усиления показывает, во сколько раз изменение напряжения на сетке действует сильнее на анодный ток, чем изменение напряжения на аноде.

Величина μ всегда больше единицы. Параметр μ отсутствует у двухэлектродных ламп.

Крутизна S

$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_g} \quad (\text{при } U_a = \text{const}),$$

где ΔU_g — величина изменения напряжения на сетке в вольтах (α);
 ΔI_a — соответствующее изменение величины анодного тока в миллиамперах (ma) при неизменном анодном напряжении;

U_a — напряжение на аноде.

Крутизна показывает, на сколько изменится величина анодного тока при изменении напряжения на сетке на 1 в. Величина S характеризует наклон (крутизну) характеристики лампы. Очевидно, что чем больше S , тем круче и характеристика лампы.

Внутреннее сопротивление R_i

$$R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a},$$

где ΔU_a — изменение анодного напряжения в вольтах (α);
 ΔI_a — соответствующее изменение анодного тока в амперах (α).

Внутреннее сопротивление лампы переменному току есть отношение приращения анодного напряжения к соответствующему приращению анодного тока.

Основное ламповое уравнение

Все три основных параметра лампы тесно связаны между собой. Эта взаимосвязь выражается основным ламповым уравнением (иначе называемым формулой Баркгаузена), а именно:

$$\frac{\mu}{SR_i} = 1$$

или

$$SR_i D = 1,$$

где D — величина, обратная μ , и называется проницаемостью лампы (см. ниже).

Ламповое уравнение позволяет, при известных двух параметрах, определить третий, а также проверить правильность их определения, а именно:

$$S = \frac{\mu}{R_i}; \quad R_i = \frac{\mu}{S}; \quad \mu = SR_i.$$

Эти формулы верны лишь в том случае, если крутизна выражена в амперах на вольт и внутреннее сопротивление в омах.

Если же S брать в $\frac{\text{мк}}{\text{а}}$, то R_i необходимо выражать в тысячах ом.

Производные параметры лампы

К производным параметрам лампы относятся: D — проницаемость лампы, S' — удельная крутизна и G — добротность лампы.

Как уже было сказано выше, проницаемость лампы D — величина, обратная коэффициенту усиления.

$$D = \frac{1}{\mu} = \frac{\Delta U_g}{\Delta U_a} \quad (\text{при } I_a = \text{const}).$$

Проницаемость D показывает, во сколько раз изменение напряжения на аноде действует слабее, чем изменение напряжения на сетке.

Проницаемость всегда число, меньшее единицы, и обычно выражается десятичной дробью или в процентах.

Например, коэффициент усиления $\mu = 20$ соответствует

$$D = \frac{1}{20} = 0,05, \text{ или } 5\%.$$

Второй производный параметр S' — удельная крутизна — выражается формулой

$$S' = \frac{S}{P_f},$$

где S — обычная крутизна лампы в $\frac{\text{мк}}{\text{в}}$;

P_f — мощность, потребляемая катодом в ваттах (вт).

Удельная крутизна S' выражается в $\frac{\text{мк}}{\text{б} \cdot \text{вт}}$ и характеризует экономичность катода.

Весьма важным и удобным производным параметром для сравнительной характеристики ламп является параметр G , называемый добротностью лампы и определяемый через основные параметры следующим образом:

$$G = \mu \cdot S = S^2 \cdot R_i = \frac{\nu^2}{R_i}.$$

Обычно G вычисляют в $\frac{\text{милливатт}}{\text{вольт}^2} \left(\frac{\text{мвт}}{\text{в}^2} \right)$.

Чем больше G , тем лучше лампа.

В заключение следует сказать, что между основными параметрами лампы и ее характеристиками существует тесная связь:

по семейству статических сеточных и анодных характеристик, путем графического построения с дальнейшим вычислением, можно легко определить основные параметры лампы с точностью, которая зависит от точности графического построения характеристик и снятия с них необходимых величин. Более подробно этот вопрос будет освещен ниже при рассмотрении характеристик и параметров основных типов ламп (диода, триода, тетрода и т. д.).

Динамические параметры

Соответственно статическим (основным) параметрам S и μ существуют динамические параметры S_d и μ_d , которые будет иметь лампа в рабочем режиме, при учете одновременного действия всех питающих напряжений и включенной анодной нагрузки, т. е. при динамическом режиме.

Динамические параметры следующим образом выражаются через основные параметры лампы:

$$S_d = \frac{S}{1 + \frac{R_{\pi}}{R_l}};$$

$$\mu_d = \frac{\mu}{1 + \frac{R_l}{R_{\pi}}},$$

где S_d — крутизна динамической характеристики;

μ_d — динамический коэффициент усиления;

R_{π} — сопротивление нагрузки;

S, μ и R_l — статические параметры лампы.

Отсюда можно сделать вывод, что S_d всегда будет меньше S и тем меньше, чем больше сопротивление нагрузки.

$$\text{При } R_{\pi} = 0 \quad S_d = S.$$

$$\text{При } R_{\pi} \rightarrow \infty \quad S_d = 0.$$

Динамический коэффициент усиления μ_d всегда будет меньше статического μ и также зависит от сопротивления нагрузки, а именно:

$$\text{При } R_{\pi} = 0 \quad \mu_d = 0.$$

$$\text{При } R_{\pi} \rightarrow \infty \quad \mu_d = \mu.$$

Характеристики и параметры диода

Основной характеристикой диода является зависимость $I_a = f(U_a)$, при $U_g = \text{const}$ (рис. 5).

Семейство таких характеристик дано на рис. 6.

Наивыгоднейшим режимом диода является такой, при котором можно получить необходимую величину анодного тока при наименьшем анодном напряжении.

Таким образом, нужно выбирать более крутую характеристику. При этом необходимый ток I_a будет получен при наименьшем рабочем напряжении U_a и тем самым меньшая часть мощности будет теряться в самой лампе на нагревание анода.

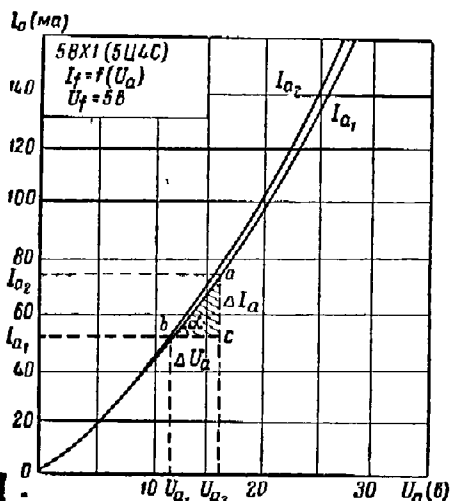


Рис. 5. Характеристика диода 5BX1 (5Ц4С)

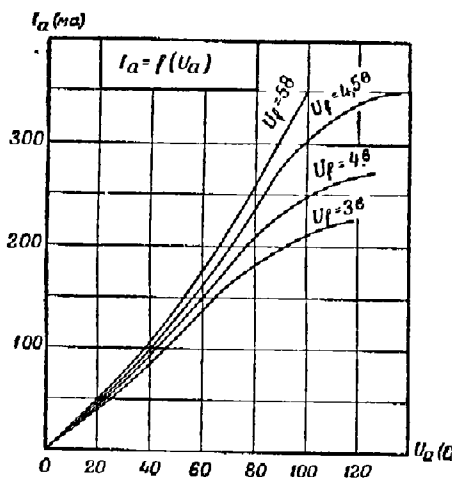


Рис. 6. Семейство характеристик диода для различных значений U_f

Диод имеет только два основных параметра: крутизну S и внутреннее сопротивление R_i . Коэффициент усиления μ диод не имеет, так как у него отсутствует сетка.

Для диода

$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_a} \text{ и } R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} \text{ (при } I_f = \text{const),}$$

$$S = \frac{1}{R_i}.$$

Эти параметры легко вычислить (см. рис. 5) по основной характеристике диода $I_a = f(U_a)$, для чего на прямолинейном участке характеристики в пределах рабочей точки выбирают небольшой отрезок ab , строят треугольник abc и определяют интересные величины ΔI_a и ΔU_a как стороны данного треугольника.

$$\Delta I_a = ac = I_{a2} - I_{a1}; \quad \Delta U_a = bc = U_{a2} - U_{a1}.$$

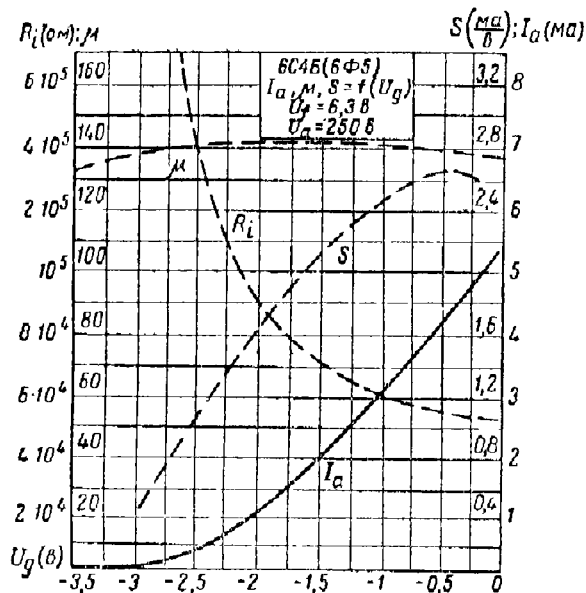


Рис. 7а. Сеточная характеристика триода 6С4В(6Ф5)

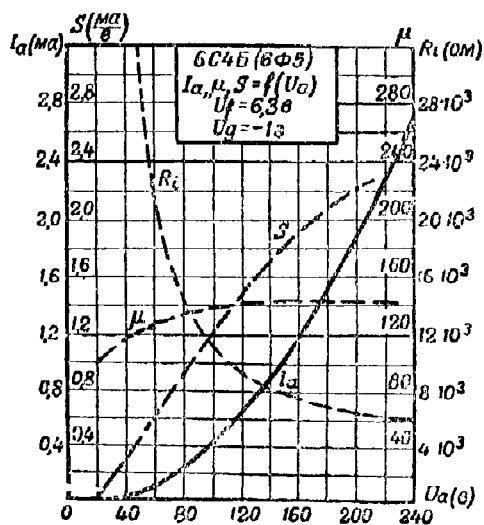


Рис. 7б. Анодная характеристика триода 6С4В (6Ф5)

Подставляя полученные значения ΔI_a и ΔU_a в формулы для S и R_i , получим их значения:

$$S = \frac{I_{a_2} - I_{a_1}}{U_{a_2} - U_{a_1}} = \operatorname{tg} \alpha; \quad R_i = \frac{U_{a_2} - U_{a_1}}{I_{a_2} - I_{a_1}} = \operatorname{ctg} \alpha.$$

Следует только не забывать, что величину анодного тока здесь необходимо брать в амперах.

Двухэлектродная лампа применяется в основном в качестве выпрямителя переменного тока в постоянный (кенотрон), а также в качестве диодного детектора в приемных схемах.

Характеристики и параметры триода

В отличие от диода триод имеет третий электрод—сетку, которая, будучи помещенной между анодом и катодом, является управляющим элементом.

При помощи различного потенциала, подаваемого на сетку, можно изменять величину анодного тока, который, таким образом, будет зависеть одновременно от двух напряжений: от напряжения на сетке U_g и от напряжения на аноде U_a , т. е. $I_a = f(U_g, U_a)$.

Эту сложную зависимость удобнее рассматривать отдельно: как $I_a = f(U_g)$ при $U_a = \text{const}$ (сеточная характеристика) и $I_a = f(U_a)$ при $U_g = \text{const}$ (анодная характеристика).

На рис. 7а и 7б приведены статические характеристики триода 6Ф5, и здесь же показана зависимость параметров данного триода от рабочих напряжений U_a и U_g .

Триод имеет все три параметра: S , μ и R_i . Все они также могут быть определены графическим путем из семейства статических характеристик $I_a = f(U_a)$, при различных U_g (рис. 8), для чего так же, как и в диоде, берутся небольшие конечные изменения величин I_a , U_a и U_g , соответствующие друг другу, и выбирается рабочая точка a . Далее строятся треугольники abc и ade , которые обычно называют характеристическими. Из рассмотрения сторон этих треугольников получаются необходимые величины:

1.

$$\Delta U_a = U_{a_2} - U_{a_1}; \quad \Delta U_g = U_{g_2} - U_{g_1} \text{ при } I_a = \text{const.}$$

Тогда

$$\mu = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_g} = \frac{U_{a_2} - U_{a_1}}{U_{g_2} - U_{g_1}}.$$

2.

$$\Delta I_a = I_{a_1} - I_{a_2}; \quad \Delta U_g = U_{g_2} - U_{g_1} \text{ при } U_a = \text{const.}$$

Тогда

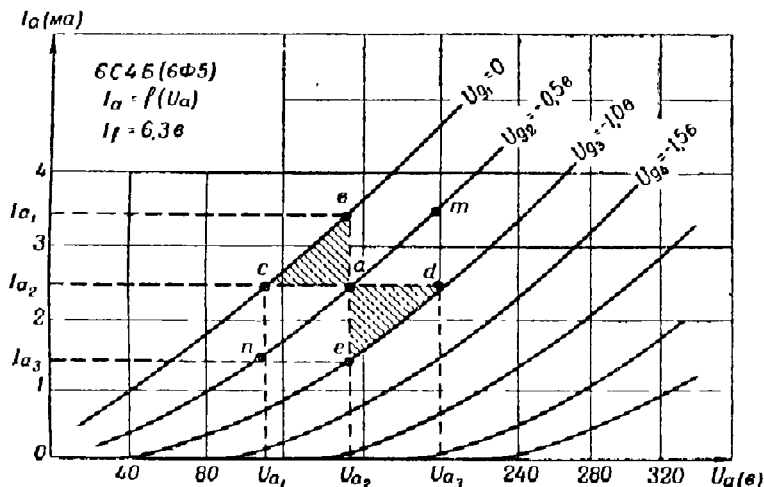
$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_g} = \frac{I_{a_1} - I_{a_2}}{U_{g_2} - U_{g_1}}.$$

3.

$$\Delta U_a = U_{a_2} - U_{a_1}; \Delta I_a = I_{a_1} - I_{a_2} \text{ при } U_g = \text{const.}$$

Тогда

$$R_{I(b)} = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} = \frac{U_{a_2} - U_{a_1}}{I_{a_1} - I_{a_2}} \text{ (для точки } b).$$

Аналогичным образом получается $R_{I(e)}$ для точки e .Рис. 8. Определение параметров триода по семейству характеристик $I_a = f(U_a)$

Тогда внутреннее сопротивление лампы R_i в заданной рабочей точке определяется как среднее арифметическое из этих двух значений, т. е.

$$R_i = \frac{R_{I(b)} + R_{I(e)}}{2}.$$

Аналогичным образом определяются параметры и по сеточным характеристикам (рис. 9).

В заключение следует сказать, что для более точного определения параметров в заданной рабочей точке необходимо брать как можно меньшие значения ΔI_a , ΔU_g и ΔU_a , т. е. строить характеристические треугольники на самых близких характеристиках, мало отличающихся по режиму.

Трехэлектродная лампа до появления более сложных ламп (тетродов, пентодов и др.) находила широкое применение как приемно-усилительная и как генераторная лампа.

В настоящее время триод используется в основном для усилительных ламп, ламп задающих генераторов и реже в мощных каскадах.

Применению триодов в современных коротковолновых передатчиках препятствуют его малая крутизна, большие емкости между анодом и сеткой и т. д. Более часто триоды применяются в ультракоротковолновых передатчиках.

Усилительные свойства триода невелики. Для обычных усилительных ламп μ колеблется от 8 до 12, для усилительных

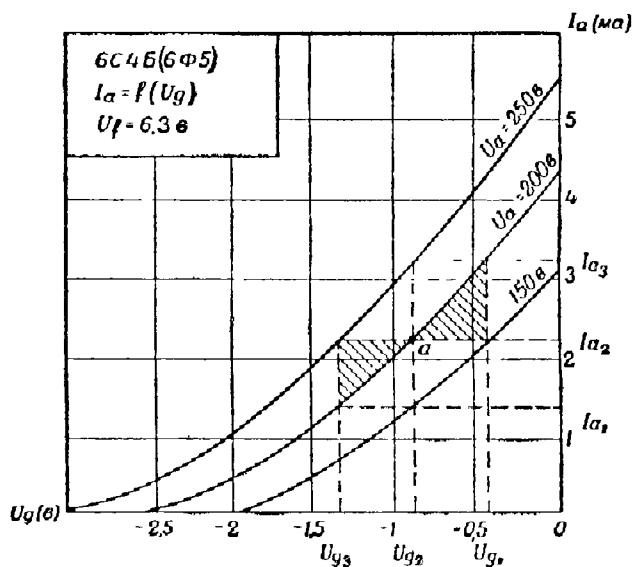


Рис. 9. Определение параметров триода по семейству характеристик $I_a = f(U_g)$

ламп специального назначения $\mu = 20 \div 40$; для маломощного генераторного триода $\mu = 40 \div 60$, а в лампах средней мощности $\mu = 100 \div 200$.

Крутизна триода для различных ламп имеет следующие пределы:

- в обычных усилительных лампах $S = 0,5 \div 2 \frac{\text{mA}}{\text{V}}$;
- в мощных усилительных лампах $S = 3 \div 6 \frac{\text{mA}}{\text{V}}$;
- в генераторных лампах $S = 2 \div 6 \frac{\text{mA}}{\text{V}}$.

Внутреннее сопротивление триода:

- для маломощных усилительных ламп $R_i = 10\,000 \div 30\,000 \text{ ом}$;
- для мощных усилительных ламп $R_i = 1\,500 \div 12\,000 \text{ ом}$;
- для генераторных ламп $R_i = 20\,000 \div 50\,000 \text{ ом}$.

Характеристики и параметры тетрода

Анодный ток тетрода является функцией уже не двух, а трех переменных, а именно: U_a , U_{g_1} и U_{g_2} , где U_{g_2} есть напряжение на дополнительной, экранирующей сетке, помещенной между анодом и основной (управляющей) сеткой. Экранирующая сетка предназначена для уменьшения вредного влияния междуплэктродной емкости, т. е. емкости между анодом и сеткой лампы. Обычно тетроды называют просто экранированными лампами.

Тетрод имеет следующие основные характеристики: $I_a = f(U_{g_1})$ для различных U_a и U_{g_2} ; $I_a = f(U_a)$ для различных U_{g_1} и U_{g_2} .

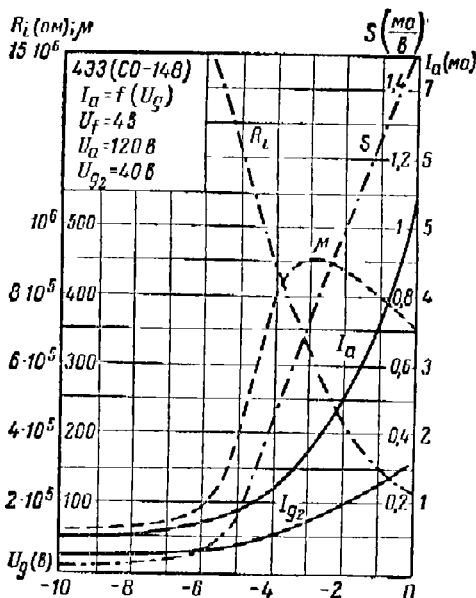


Рис. 10а. Сеточная характеристика тетрода 433 (CO-148)

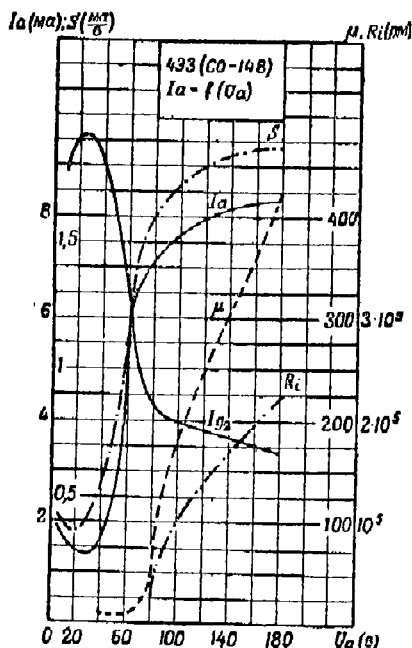


Рис. 10б. Анодная характеристика тетрода 433 (CO-148)

Пример сеточных и анодных характеристик тетрода показан на рис. 10а и 10б. Здесь же показана зависимость параметров тетрода от режима работы лампы.

Параметрами тетрода являются:

$$\mu = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_{g_1}} \text{ при } I_a, U_{g_2} = \text{const.}$$

$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_{g_1}} \text{ при } U_a, U_{g_2} = \text{const.}$$

$$R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} \text{ при } U_{g_1}, U_{g_2} = \text{const.}$$

Порядок этих величин и зависимость их от режима лампы отличаются от тех же величин триода. Это объясняется наличием в тетроде дополнительной густой экранирующей сетки.

Коэффициент усиления тетрода намного больше μ триода. На нижнем изгибе характеристики $I_a = f(U_{g1})$ он достигает до 800—1000, уменьшаясь при уменьшении отрицательного смещения.

В рабочей точке $\mu = 150 \div 200$ и в области положительных значений U_{g1} спадает до 30 $\div$ 40.

Внутреннее сопротивление R_i тетрода больше, чем триода, и достигает порядка сотен тысяч ом. Это является недостатком экранированных ламп, так как для получения наибольшего усиления необходимо согласовать нагрузочное сопротивление R_n в анодной цепи с внутренним сопротивлением лампы, что практически здесь сделать уже труднее.

Крутизна характеристики тетрода того же порядка, что и у триода. Увеличение μ при том же S увеличивает добротность тетрода по сравнению с триодом. Добротность тетрода достигает до 500—800 $\frac{\text{мвт}}{\text{в}^2}$, в то время как добротность триода не превышает 10—20 $\frac{\text{мвт}}{\text{в}^2}$.

Вследствие наличия экранирующей сетки междуэлектродная емкость анод—управляющая сетка в хороших тетродах снижается до 0,015 см вместо 10—20 см, обычных для триодов. Однако для экранированных ламп характерным является наличие динаatronного эффекта, когда при достаточно больших напряжениях на экранирующей сетке и малых напряжениях на аноде электроны, приобретая большую скорость, выбивают из анода так называемые вторичные электроны, которые под воздействием напряжения на экранирующей сетке притягиваются к последней и создают в ее цепи большие токи (см. рис. 10б). При этом анодный ток значительно уменьшается, и нормальная работа лампы нарушается. Явление динаatronного эффекта считается вредным.

Характеристики и параметры пентода и многоэлектродных ламп

Основным семейством характеристик пентода является семейство анодных характеристик $I_a = f(U_a)$ при $U_{g2}, U_{g3} = \text{const}$ для различных U_{g1} .

В отличие от характеристики тетрода анодная характеристика пентода не имеет провала, обусловленного в тетроде динаatronным эффектом. Это объясняется наличием в пентоде дополнительной антидинаatronной сетки, помещенной между экранирующей сеткой и анодом и соединенной с катодом.

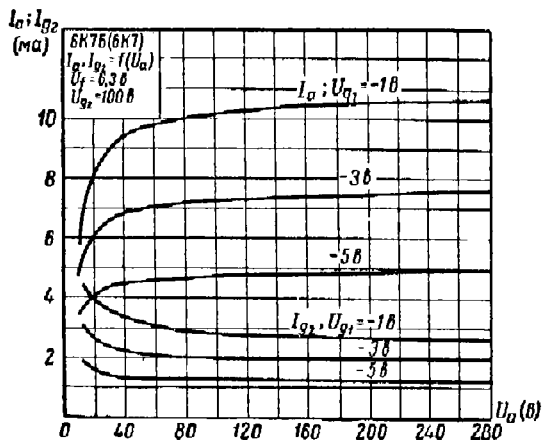


Рис. 11. Семейство анодных характеристик пентода 6К7Б(6К7)

На рис. 11 приведено семейство анодных характеристик пентода 6К7Б.

Характер зависимости параметров пентода 6К7Б от рабочих напряжений показан на рис. 12а и 12б.

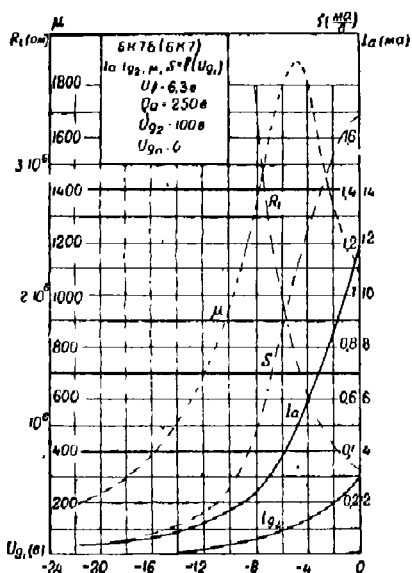


Рис. 12а. Зависимость параметров S , μ и R_i от U_{g1} в пентоде 6К7Б (6К7)

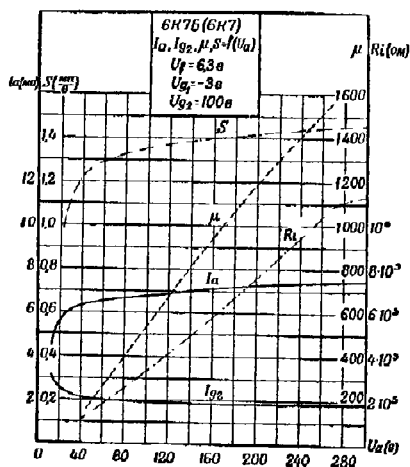


Рис. 12б. Зависимость параметров S , μ и R_i от U_a в пентоде 6К7Б (6К7)

Пентоды разделяются на высокочастотные, применяемые в каскадах усиления высокой частоты (в. ч.), и низкочастотные, применяемые в каскадах низкой частоты (н. ч.).

Пентоды в. ч. обладают большими μ и R_p , малой крутизной S и малой междуэлектродной емкостью C_{ag_1} (емкость между анодом и управляющей сеткой лампы).

Коэффициент усиления высокочастотных пентодов колеблется в пределах $800 \div 1500$, доходя в специальных пентодах до $4000 \div 6000$. Внутреннее сопротивление R_i равно $0,8 \div 1,5$ мгом, а для некоторых ламп — $2 \div 2,5$ мгом.

Крутизна S не превышает $2 \div 2,5 \frac{ma}{v}$. Емкость C_{ag_1} уменьшается до $0,003 \div 0,005$ мкмкф.

Низкочастотные пентоды имеют более простую конструкцию, большую крутизну $S \left(6 \div 8 \frac{ma}{v} \right)$, меньшие R_i ($0,05 \div 0,1$ мгом) и μ ($150 \div 600$).

Пентоды в настоящее время находят применение также и в генераторных лампах.

Генераторные пентоды обладают более высоким коэффициентом полезного действия, чем генераторные триоды и тетроды.

Пентод является современной лампой для передатчиков и может с успехом применяться в любом его каскаде.

Более сложные лампы, как то: гексод, гептод и октод, имеют и более сложную зависимость анодного тока от напряжения на

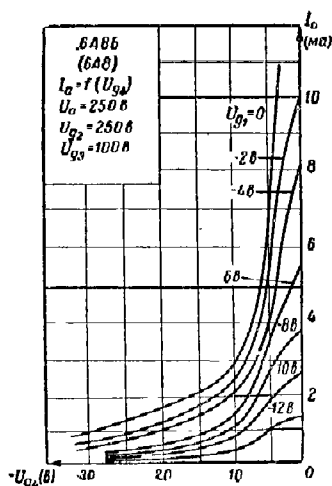


Рис. 13а. Характеристика тетродной части лампы 6А8Б (6А8)

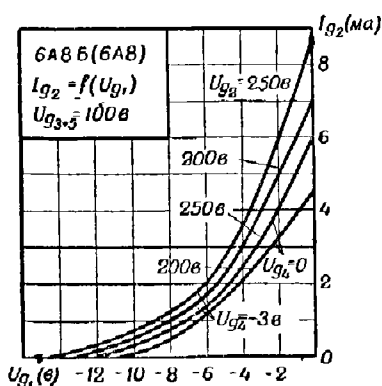


Рис. 13б. Характеристика триодной части лампы 6А8Б (6А8)

управляющей сетке при различных напряжениях на других сетках и употребляются только для приемно-усилительных ламп.

Обычно такие лампы разбивают на две части, имеющие самостоятельное значение, строят для них характеристики и определяют их параметры. В качестве примера, на рис. 13а и 13б приведены характеристики триодной и тетродной части лампы 6А8Б — генератора — преобразователя частоты.

Параметрами триодной части (гетеродинной) будут

$$S_r = \frac{\Delta I_{g2}}{\Delta U_{g1}} \text{ и } r_r = \frac{\Delta U_{g2}}{\Delta U_{g1}}.$$

Параметрами тетродной части (смесителя) будут

$$S_{np} = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_{g1}} \text{ при } U_{g1} = \text{const}; r_{np} = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_{g1}} \text{ и } R_{np} = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a}.$$

Параметр S_{np} называется крутизной преобразования и является характерным параметром ламп подобного типа.

Понятие о междуэлектродных емкостях

Ранее упоминалось понятие о междуэлектродных емкостях. Рассмотрим несколько подробнее этот вопрос для выяснения влияния их на качественные показатели лампы.

Для примера возьмем триод. Анод-сетка, анод-катод и сетка-катод трехэлектродной лампы, взятые попарно, а также соединительные проводнички от электродов лампы к ее ножкам образуют между собой маленькие конденсаторы. Эти емкости принято называть междуэлектродными емкостями и обозначать емкость между анодом и сеткой C_{ag} , анодом и катодом — C_{ak} , сеткой и катодом — C_{kf} (рис. 14).

Через данные емкости происходит нежелательная взаимосвязь и ответвление токов высокой частоты, причем тем большая, чем выше рабочая частота f , так как емкостные сопротивления этих конденсаторов будут уменьшаться ($x_c = \frac{1}{2\pi f C}$). Наличие такой

взаимосвязи нарушает нормальную работу лампы. Особенно нежелательна и вредна емкость между анодом и управляющей сеткой. Ее стараются уменьшить как можно больше, что достигают, с одной стороны, увеличением расстояния между выводами анода и управляющей сетки, и, с другой, — применением экранированных ламп, где дополнительная густая экранирующая сетка уменьшает емкостную связь между анодом и управляющей сеткой (рис. 15), так как при этом получается последовательное соединение двух емкостей: емкости анод — экранирующая сетка и емкости экранирующая сетка — управляющая сетка.

Если в значениях емкостей C_{gf} и C_{af} для триода учесть емкости между держателями, на которых укреплены данные электроды, и емкости между токопроводящими выводами к наружным штырькам лампы, то получим соответственно так называемые полную входную ($C_{вх}$) и выходную ($C_{вых}$) емкости лампы, которые и даются в ее паспорте.

Для многоэлектродных ламп входная емкость $C_{вх}$ определяется как емкость между управляющей сеткой и теми элементами лампы,

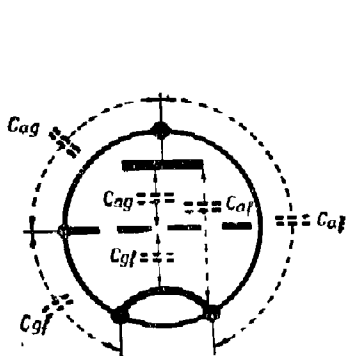


Рис. 14. Междуэлектродные емкости триода

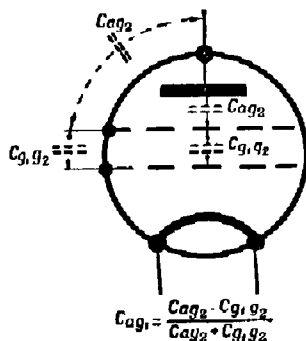


Рис. 15. Междуэлектродные емкости в экранированной лампе (тетроде)

на которых в рабочем режиме нет переменных потенциалов той же частоты, которую имеет напряжение, прикладываемое к управляющей сетке.

Выходная емкость многоэлектродной лампы $C_{вых}$ определяется как емкость между анодом и теми элементами лампы, на которых в рабочем режиме нет переменных потенциалов той же частоты, которую имеет переменное напряжение на нагрузке анода.

§ 5. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫХ И СПЕЦИАЛЬНЫХ ЛАМП

Газотрон

Ранее упоминалось о двухэлектродной лампе—кенотроне как выпрямителе переменного тока в постоянный.

Кенотрон основное свое применение нашел в радиоприемных устройствах, во всевозможной электронизмерительной и телевизионной аппаратуре.

Для радиопередающих устройств и мощной усилительной аппаратуры кенотроны в большинстве случаев являются приборами отживающими и вытесняются более современными выпрямителями ионного типа, например газотронами и тиратронами.

Газотрон, так же как и кенотрон, является двухэлектродной лампой с накаливаемым катодом.

Конструкция газотрона и примерная характеристика $I_a = f(U_a)$ приведены на рис. 16. Катод изготавливается из никелевой ленты, свернутой в спираль и покрытой оксидным слоем. Анод изготавливается из железа или угля. В стеклянный баллон помещается небольшое количество ртути, которая, испаряясь, наполняет баллон газотрона своими парами. Для низковольтных газотронов баллон заполняется инертным газом — аргоном.

По сравнению с кенотроном газотрон имеет следующие преимущества:

1. Малые внутренние потери и, следовательно, большой коэффициент полезного действия — внутреннее сопротивление газотрона равно $1 \div 2$ ом, тогда как кенотрон на тот же ток имеет сопротивление 100 ом и более; коэффициент полезного действия газотрона доходит до 99%, а кенотрона примерно равен 30%.

2. Отсутствие необходимости в принудительном охлаждении.

3. Малое внутреннее падение напряжения, почти не зависящее от величины анодного тока.

4. Сравнительно небольшие габариты при больших значениях выпрямленного тока.

Недостатками газотрона являются большая чувствительность к перегревам и возможность возникновения в нем обратного разряда, если переменное напряжение будет выше допустимого для данного типа газотрона.

При работе с газотронами следует помнить, что включать высокое напряжение на анод можно только после того, как включен накал и катод получил достаточный прогрев, так как в противном случае он может быть разрушен сильной ионной бомбардировкой.

Время, необходимое на прогрев, может длиться в мощных газотронах до 10—15 минут.

Тиратрон

Тиратрон, в отличие от газотрона, является трехэлектродной лампой (рис. 17); помимо анода и катода, он имеет сетку.

Баллон тиратрона наполняется либо парами ртути, либо инертным газом (аргон, неон, гелий, криптоно-ксеноновая смесь).

Тиратроны относятся к газоразрядным приборам с электростатическим управлением.

На рис. 18 показаны характеристика и семейство характеристик зависимости тока анода от напряжения на сетке для тиратрона. Следует заметить, что все тиратроны имеют отрицательные пусковые характеристики.

Как видно из графиков, анодный ток тиратрона возрастает не постепенно, а почти мгновенно при вполне определенном отрицательном напряжении на сетке для того или иного значения напряжения на аноде.

Момент резкого возрастания тока соответствует «зажиганию» тиратрона.

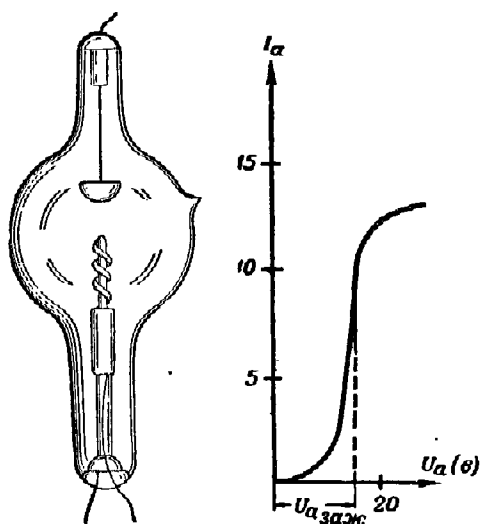


Рис. 16. Конструкция газотрона и его характеристика

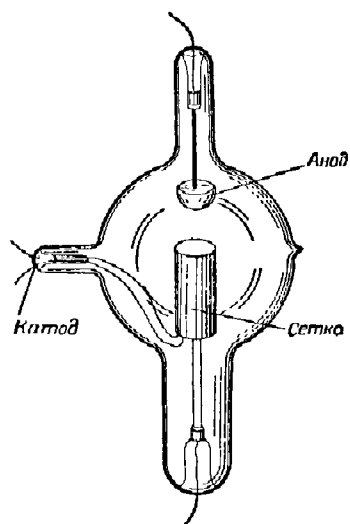


Рис. 17. Конструкция тиратрона

Максимальное значение анодного тока определяется величиной внешнего сопротивления, включенного последовательно с тиратроном. После зажигания тиратрона никакие изменения напряжения на сетке в сторону уменьшения или увеличения его не повлияют на величину анодного тока. Прекратить ток можно только лишь снятием или уменьшением анодного напряжения. Таким образом, при помощи сетки можно только включить анодный ток, но не управлять им.

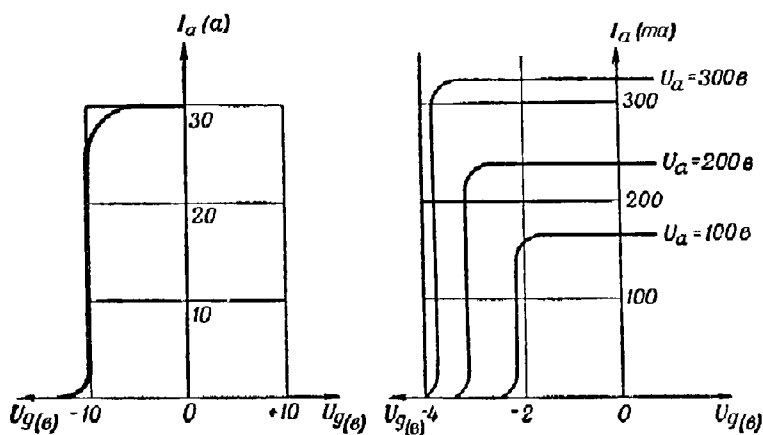


Рис. 18. Характеристики $I_a = f(U_g)$ тиратрона

Сетка служит только для управления средним значением выпрямленного тока за положительный полупериод. Различные отрицательные напряжения на сетке могут увеличить или уменьшить время протекания тока.

Тиратрон обладает большим коэффициентом полезного действия и применяется главным образом в выпрямителях. Однако он также с успехом используется в качестве мощного реле, в котором при помощи небольшого изменения на сетке можно включать токи большой силы.

Из других областей применения тиратронов следует упомянуть:

1. Осциллографические устройства для развертки кривых.

2. Различного рода релаксационные схемы.

3. Устройства для получения больших импульсов тока и напряжения.

4. Специальная измерительная аппаратура.

При работе с тиратроном не следует забывать о том, что включение его в сеть без ограничивающего сопротивления вызывает короткое замыкание его и гибель.

Для мощных тиратронов, которые обычно наполняются парами ртути с небольшим добавлением жидкой ртути, требуется определенная температура окружающей среды для испарения ртути и создания необходимого давления паров в баллоне.

Внешняя температура для ртутного тиратрона колеблется от $+20^{\circ}$ до $+35^{\circ}$.

При низкой окружающей температуре следует обдувать тиратрон прогретым воздухом и дать необходимое время на прогрев до начала работы.

Для тиратронов, наполненных неоном, температура окружающего воздуха может колебаться от -20° до $+50^{\circ}$.

Тиратрон допускает непродолжительное изменение напряжения накала на -5% до $+10\%$, вызываемое колебаниями напряжения сети.

Электронно-лучевые трубки

Электронно-лучевые трубки входят в специальную группу электровакуумных приборов. Основное отличие их от общей группы электронных ламп заключается в том, что здесь электронный поток используется не для создания тока в цепи анода, а для бомбардировки специального флюоресцирующего экрана, в результате которой экран начинает светиться.

Электронно-лучевые трубки используются для наблюдения за изменениями величин и характера переменных токов и за другими электрическими процессами в различных схемах. Они нашли широкое применение в телевидении, радиолокации и специальной измерительной аппаратуре.

На рис. 19 показана конструкция современной электронно-лучевой трубки. Основными элементами ее являются:

1. Накаленный катод, испускающий поток свободных электронов.

2. Управляющий цилиндр, пропускающий электроны лишь через отверстие в своем торце.

3. Два цилиндрических анода с диафрагмами (исрегородками, с отверстиями по оси).

4. Две пары отклоняющих пластин.

5. Экран, представляющий собой слой специального вещества, нанесенного на расширенном конце стеклянной колбы и способного светиться под воздействием падающих на него электронов.

Управляющий цилиндр и два анода образуют устройство, позволяющее получить узкий луч быстро иссущихся электронов. Это устройство обычно называют электронным прожектором или электронной пушкой.

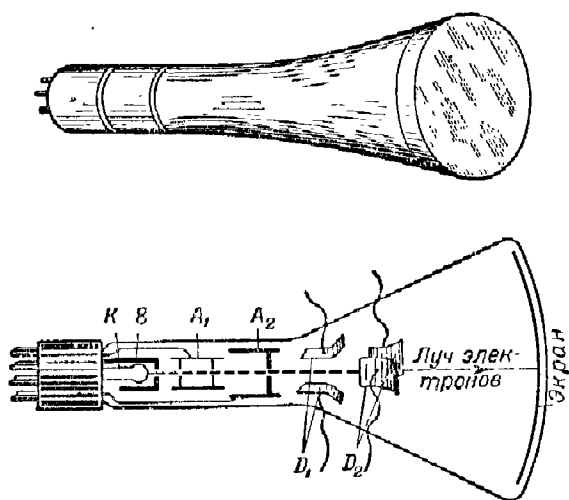


Рис. 19. Общий вид и конструкция электронно-лучевой трубки:

K — катод; B — управляющий цилиндр; A_1 — первый анод;
 A_2 — второй анод; D_1 и D_2 — отклоняющие пластины

Изменением величины отрицательного напряжения на управляющем цилиндре можно регулировать скорость летящих электронов и тем самым изменять яркость свечения экрана.

Величина светящегося пятна определяется соотношением напряжений на анодах. Для получения резко очерченного пятна малой величины соотношение напряжений, подаваемых на аноды, обычно колеблется в пределах 4—6, т. е. если на второй анод (ускоряющий) подано напряжение 1000 в, то на первый (фокусирующий) анод нужно подать $200 \div 250$ в.

Отклоняющие пластины, представляющие собой маленькие конденсаторы, заставляют электронный луч отклоняться от центральной оси в ту или иную сторону, а также вверх или вниз,

в зависимости от характера изменения тех напряжений, которые прикладываются к пластинам.

Обычно при изучении электрических процессов на одну из пар отклоняющих пластин подается напряжение «пилообразной» формы от специального генератора. Это напряжение заставляет пятно перемещаться по горизонтали слева направо и мгновенно возвращаться обратно и тем самым прочерчивать горизонтальную линию.

На другую пару пластин включается напряжение исследуемого процесса. Это напряжение вызывает вертикальное отклонение луча и тем самым показывает зависимость данного напряжения по времени. В простейшем случае это будет синусоида, но может быть получена картина и любого более сложного процесса.

В отличие от вышеописанного способа фокусировки электронного потока (при помощи металлического анода), называемого электростатическим, существует и другой способ, называемый электромагнитным. В этом случае вместо анода на горловину трубки надевают катушку индуктивности, через которую пропускают постоянный ток.

В результате вдоль оси трубки создается постоянное магнитное поле, под воздействием которого электроны, двигаясь по винтовым линиям, собираются на определенном расстоянии в тонкий пучок, т. е. фокусируются.

Ранее описанный способ отклонения луча (развертка) при помощи двух пар отклоняющих пластин также носит название электростатического способа отклонения.

В существующих трубках за последнее время широкое распространение получил электромагнитный способ отклонения как более простой в производстве и более совершенный.

При отклонении электронного луча электромагнитным способом применяются катушки индуктивности, через которые пропускается переменный электрический ток и тем самым создается магнитное поле, силовые линии которого перпендикулярны оси движения электронов.

При прохождении через такое магнитное поле электронный луч отклоняется от своего первоначального направления движения и тем самым меняет свое положение на экране по времени, как и при электростатическом способе.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ, УПОТРЕБЛЯЕМЫЕ В СПРАВОЧНИКЕ

Условное обозначение	Определение	Единица измерения		Название русской единицы измерения
		международное обозначение	русское обозначение	
U_f	Напряжение накала	V	<i>в</i>	Вольт
I_f	Ток накала	A	<i>а</i>	Ампер
U_a	Напряжение на аноде	V	<i>в</i>	Вольт
I_a	Анодный ток	mA	<i>ма</i>	Миллиампер
I_{aq}	Анодный ток при $U_{g1} = 0$	mA	<i>ма</i>	То же
U_{g1}	Напряжение на управляющей сетке (напряжение смещения)	V	<i>в</i>	Вольт
I_{g1}	Ток управляющей сетки	mA	<i>ма</i>	Миллиампер
U_{g2}	Напряжение на экранирующей сетке	V	<i>в</i>	Вольт
I_{g2}	Ток экранирующей сетки	mA	<i>ма</i>	Миллиампер
U_{g3}	Напряжение на антидиатронной сетке	V	<i>в</i>	Вольт
I_{g3}	Ток антидиатронной сетки	mA	<i>ма</i>	Миллиампер
$U_{g(4)}$	Напряжение на управляющих сетках пентагрида	V	<i>в</i>	Вольт
$U_{g(5)}$	Напряжение на экранирующих сетках пентагрида	V	<i>в</i>	Вольт
I_p	Ток эмиссии катода	mA	<i>ма</i>	Миллиампер
P_f	Мощность накала	W	<i>вт</i>	Ватт
$P_{a \text{ max}}$	Максимальная мощность, рассеиваемая на аноде	W	<i>вт</i>	Ватт
P_k	Полезная мощность на выходе лампы (на нагрузке)	W	<i>вт</i>	Ватт
S	Крутизна	$\frac{\text{mA}}{\text{V}}$	<i>ма/в</i>	Миллиампер/вольт
$S_{пр}$	Крутизна преобразования	$\frac{\text{mA}}{\text{V}}$	<i>ма/в</i>	То же
μ	Коэффициент усиления лампы	—	—	—
R_i	Внутреннее сопротивление лампы переменному току	Ω	<i>ом</i>	Ом
R_n	Сопротивление полезной нагрузки на выходе лампы	Ω	<i>ом</i>	Ом
$C_{вх}$	Входная емкость лампы	μF	<i>мккф</i>	Микромикрофарада
C_{ag}	Емкость анод — управляющая сетка	μF	<i>мккф</i>	То же
$C_{вых}$	Выходная емкость лампы	μF	<i>мккф</i>	"
H_{max}	Максимальная высота	mm	<i>мм</i>	Миллиметр
D_{max}	Максимальный диаметр	mm	<i>мм</i>	То же