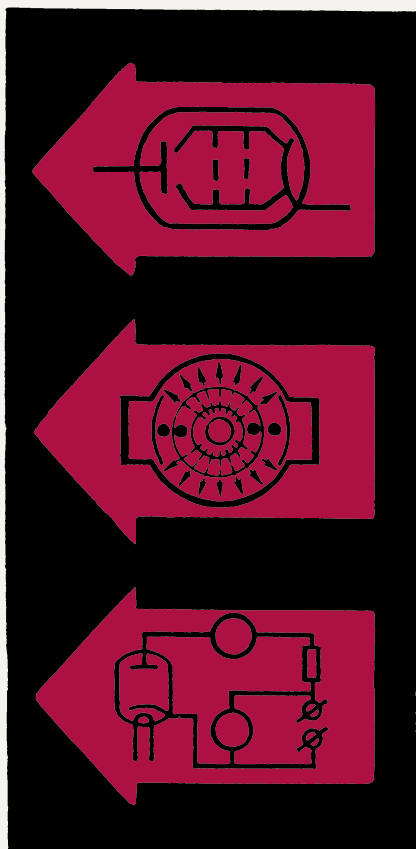




И.Я.КАМЕНЕЦКИЙ      Г.М.САНЧУРСКИЙ

# ИСПЫТАНИЕ ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫХ ПРИБОРОВ



И. Я. КАМЕНЕЦКИЙ, Г. М. САНЧУРСКИЙ

# ИСПЫТАНИЕ ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫХ ПРИБОРОВ

Одобрено Ученым советом  
Государственного комитета  
Совета Министров СССР  
по профессионально-техническому образованию  
в качестве учебного пособия  
для подготовки рабочих  
на производстве



Москва «Высшая школа» 1977

**6Ф.0.31**

**К18**

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

**Каменецкий И. Я., Санчурский Г. М.**

**К 18** Испытание электровакуумных приборов. Учеб. пособ. для подгот. рабочих на производстве. М., «Высшая школа», 1977.

61 с. с ил. (Профтехобразование. Вакуумная техника).

В учебном пособии изложены основные физические принципы работы электровакуумных приборов и важнейшие параметры, определяющие их функциональную работоспособность. Описаны методы измерения параметров электронных ламп и кинескопов. Приведены электрические схемы установок для проведения производственных испытаний.

Брошюра является седьмым учебным пособием из серии пособий по технологии изготовления электровакуумных приборов.

**К**  $\frac{30407-158}{052(01)-77}$  **56-77**

**6Ф.0.31**

## ВВЕДЕНИЕ

Решениями XXV съезда КПСС определены основные особенности десятой пятилетки, которая должна стать пятилеткой эффективности и качества. Для электронной промышленности повышение качества имеет особое значение, так как выпуск современных электронных приборов высокой надежности и долговечности очень важен для научно-технического прогресса многих областей науки и техники.

Технологический процесс производства электронных приборов очень сложен. От тщательности выполнения каждой технологической операции зависит качество выпускаемых приборов. Заключительной фазой всего технологического процесса производства является испытание приборов. В процессе испытания определяется соответствие изготовленных приборов требованиям государственных стандартов и технических условий. Точно и тщательно проведенные испытания являются гарантией получения потребителем годных приборов, обладающих всеми заданными техническими характеристиками, безотказностью и долговечностью.

В настоящее время технология изготовления приборов и особенно их испытания достигли такого уровня развития, что требуется определенный минимум знаний, без которых рабочий не может успешно справиться с порученной работой. Отсутствие таких знаний при ведении процесса испытания приборов, особенно в специальных производствах, может привести к выходу испытательной установки или прибора из строя. Поэтому каждый рабочий, прежде чем выполнять самостоятельную работу на испытательной установке, полуавтомате или другом испытательном оборудовании, должен пройти обязательный курс обучения. Он должен усвоить минимум сведений о параметрах и методиках ведения испытаний, об устройстве и принципах работы испытательного оборудования.

Материал пособия систематизирован в значительной степени по основным видам испытаний, т. е. по признаку оценки качества прибора при измерении основных, определяющих его параметров. Такая классификация и обобщение основных испытаний, лежащих в основе определения качества и работоспособности прибора, облегчает возможность перенесения опыта испытаний с одной группы приборов на другую.

## ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫХ ПРИБОРОВ

*Электривакуумным прибором* называют прибор, в котором рабочее пространство изолировано от окружающего пространства газонепроницаемой оболочкой и имеет высокую степень разрежения или заполнено специальной средой (парами или газами). Действие электривакуумного прибора основано на электрических явлениях в вакууме или газе. Электривакуумный прибор, в котором прохождение электрического тока осуществляется за счет движения свободных электронов в вакууме и который предназначен для преобразования электрических величин, называется *электронной лампой*. Прибор, в котором при работе используется электрический разряд в газах или парах, называют *ионным* или *газоразрядным*.

Электронные лампы в зависимости от конструкции могут быть двухэлектродными (диодами), трехэлектродными (триодами) или многосеточными (тетроды, пентоды и др.). Если лампы в одном баллоне содержат несколько электродных систем, то их называют комбинированными (триод-пентод, тетрод-пентод). Назначение, диапазон рабочих частот и режим работы электронных ламп определяют их конструкторские особенности.

В зависимости от назначения различают четыре основных класса электронных ламп:

генераторные лампы для генерирования электрических колебаний различных частот;

усилительные лампы для усиления электрических колебаний;

выпрямительные лампы для преобразования электрических сигналов переменного напряжения в пульсирующие сигналы одной полярности или в постоянное напряжение;

измерительные лампы для измерения электрических сигналов или токов.

В зависимости от диапазона частот входных сигналов, для преобразования которых электронные лампы предназначены, различают:

низкочастотные лампы для преобразования или генерирования электрических сигналов до 20 кГц;

высокочастотные лампы — от 20 кГц до 600 МГц;

сверхвысокочастотные лампы — выше 600 МГц.

Электронные лампы могут предназначаться для работы в непрерывном и импульсном режимах. В последнем случае входные сигналы поступают в течение коротких промежутков времени, разделенных между собой паузами, при которых входных сигналов нет.

## § 1. ДИОДЫ

*Диодом* называется электронная лампа, имеющая два электрода — катод и анод. Диод, предназначенный для выпрямления переменного напряжения в источниках питания, называют кенотроном.

Катод служит для эмиссии электронов\*. Электроны, вылетевшие из катода, являются свободными, в отличие от электронов в твердом теле, где они связаны с ядрами атомов или находятся между ними в виде электронного газа. При нормальной температуре энергия электронов, находящихся в твердом теле, недостаточна для выхода из него. Отсутствие эмиссии при нормальной температуре объясняется двумя физическими причинами: во-первых, силами притяжения электрона положительными ионами пространственной решетки атомов и, во-вторых, тормозящим действием электрического поля у поверхности тела, которое создается положительными ионами, оставшимися после вылета электронов.

Электроны могут преодолеть эти силы притяжения только тогда, когда они обладают значительной кинетической энергией. Сообщить эту энергию им можно различными способами; наиболее распространенным является термический. При нагревании тел энергия электронов внутри твердого тела может быть повышена настолько, что они могут преодолевать силы притяжения и вылетать в пространство, окружающее катод. Эмиссия электронов, происходящая при повышении температуры тела, называется термоэлектронной (термоэмиссия). Энергия, которую необходимо затратить электрону для вылета из твердого тела в вакуум, называется работой выхода. Чем

---

\* Эмиссией электронов в общем случае называют выход электронов из твердого тела в окружающий вакуум.

выше температура тела, тем выше плотность потока электронов термоэмиссии.

Наиболее эффективными термоэмиттерами электронов являются вольфрам с примесью тория (торированный вольфрам) и смеси окислов щелочноземельных элементов (оксиды).

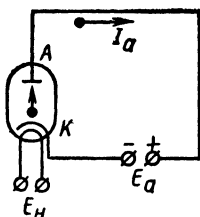


Рис. 1. Электрические цепи диода:  
 $K$  — катод,  $A$  — анод,  
 $E_a$  — анодное напряжение,  
 $E_n$  — напряжение накала,  
 $I_a$  — анодный ток (направление электронного потока)

Поэтому в электровакуумных приборах, в частности диодах, применяют прямонакальные вольфрамовые катоды и оксидные катоды прямого или косвенного накала. Оксидные катоды прямого накала представляют собой нить из вольфрамовой или никелевой проволоки, покрытой смесью окислов щелочноземельных элементов (бария, стронция и кальция). Термоэлектронный эмиттер косвенного накала конструктивно представляет собой узел, состоящий из двух элементов: катода — тонкостенной трубки из сплава никеля с активирующими присадками магния, крем-

ния, кальция или вольфрама, покрытой смесью окислов бария, стронция и кальция, и подогревателя — нити из вольфрама или его сплава с молибденом (или рением), покрытой изоляционным составом из окиси алюминия (алундом), вставленной внутрь катодной трубки.

Величина тока эмиссии, а следовательно, все эксплуатационные параметры\* диода определяются температурой оксидного слоя, которая должна быть строго определенной. При недостаточной температуре катода диод не сможет обеспечивать получение необходимого выпрямленного тока, а при чрезмерной — будет иметь низкую долговечность из-за быстрого испарения вольфрама у прямонакальных катодов или бария у оксидных.

Диод имеет две электрические цепи (рис. 1): цепь накала, состоящую из источника напряжения накала  $E_n$  и подогревателя лампы; цепь анода, состоящую из анодного напряжения источника  $E_a$  и пространства катод  $K$  — анод  $A$ .

\* Параметрами электровакуумного прибора называют величины, характеризующие его свойства и возможность применения.

Основными электрическими параметрами диода являются:

ток накала  $I_{\text{н}}$ , протекающий в цепи накала при рабочем напряжении накала в установившемся режиме;

ток анода  $I_{\text{а}}$ , протекающий в цепи анода при рабочем положительном напряжении (постоянном) между катодом и анодом;

выпрямленный ток  $I_{\text{выпр}}$  — средняя (эффективная) величина тока, протекающего в цепи анода при рабочем переменном напряжении между катодом и анодом; при измерении выпрямленного тока в цепь анода включают последовательно сопротивление нагрузки;

допустимое обратное напряжение  $U_{\text{обр}}$  — наибольшее отрицательное напряжение, при котором нет пробоя между катодом и анодом и ток в цепи анода равен нулю;

ток утечки между катодом и подогревателем  $I_{\text{нк}}$  при приложении между ними напряжения  $U_{\text{нк}}$ ; ток  $I_{\text{нк}}$  характеризует качество изоляционного покрытия подогревателя.

Диод считается годным, если величины тока накала, тока анода и выпрямленного тока соответствуют пределам, установленным техническими условиями\*, и он может длительно работать без пробоев и искрений при приложении к аноду обратного (отрицательного) напряжения, величина которого равна или немного выше допустимого.

Рассмотрим причины ограничения наибольших допускаемых значений тока анода и выпрямленного тока. На первый взгляд может показаться, что это требование излишне. В действительности оно связано с необходимостью ограничивать мощность, рассеиваемую анодом  $P_{\text{а}}$ , которая определяется суммарной кинетической энергией электронов, попадающих на анод:

$$P_{\text{а}} = I_{\text{а}} U_{\text{а}},$$

где  $I_{\text{а}}$  — ток анода,  $U_{\text{а}}$  — напряжение на аноде.

При ударе кинетическая энергия электронов превращается в тепловую и анод нагревается. Перегрев анода ухудшает долговечность лампы, так как в результате

---

\* В технических требованиях к отдельным типам диодов нормы на величины  $I_{\text{н}}$  и  $I_{\text{а}}$  имеют двустороннее ограничение, т. е. значение соответствующего параметра у годной лампы должно быть не меньше и не больше заданных величин.



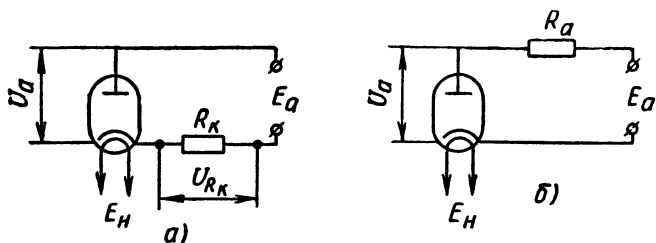


Рис. 2. Простейшие схемы выпрямления переменного тока с помощью диода:

*а* — при включении сопротивления нагрузки  $R_K$  в катод, *б* — при включении сопротивления нагрузки  $R_a$  в анод;  $E_a$  — анодное напряжение,  $U_a$  — напряжение между анодом и катодом диода,  $E_H$  — напряжение накала,  $U_{R_K}$  — напряжение на резисторе катодной нагрузки

выделения газов из материала анода и теплового излучения анода при повышении его температуры возможно ухудшение вакуума и повышение температуры катода.

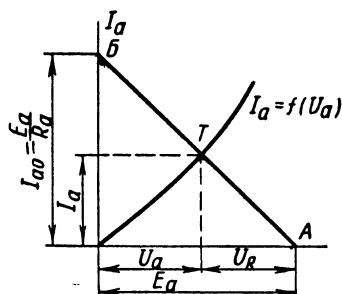


Рис. 3. Графическое построение режима работы диода

При повышении мощности, рассеиваемой анодом, повышается температура катода, что влечет за собой быстрое испарение активного вещества катода и снижение его эмиссионной способности.

Рассмотрим работу диода при включении в цепь анода сопротивления нагрузки (рис. 2). При включении в цепь анода сопротивления  $R_a$  или  $R_K$  напря-

жение между катодом и анодом диода  $U_a$  будет меньше величины напряжения источника  $E_a$  на величину падения напряжения на нагрузке:

$$U_a = E_a - I_a R_a \quad \text{или} \quad U_a = E_a - I_a R_K,$$

где  $R_a$  и  $R_K$  — величины сопротивления нагрузки (в зависимости от места его включения);  $I_a$  — ток анода.

Определить величину  $U_a$  из приведенных уравнений нельзя, так как сама величина  $I_a$  зависит от  $U_a$  и определяется анодной характеристикой лампы, т. е. зависимостью  $I_a$  от  $U_a$ .

Режим работы диода (величины  $I_a$  и  $U_a$ ) при работе с нагрузкой легко найти, если определена анодная характеристика лампы  $I_a = f(U_a)$  (рис. 3). На графике проводят прямую, соединяющую точку  $A$ , соответствующую величине напряжения анодного источника  $E_a$ , и точку  $B$  на оси  $I_{a0} = \frac{E_a}{R_a}$ , соответствующую току при коротком замыкании между катодом и анодом. Точка  $T$  на пересечении прямой  $AB$  с характеристикой  $I_a = f(U_a)$  определит режим работы лампы — величину тока анода  $I_a$  и напряжение между катодом и анодом  $U_a$ .

Диаграммы изменения  $I_a$ ,  $U_a$ ,  $U_{R_a}$  и  $U_{R_k}$  (напряжение на омической нагрузке) при переменном анодном напряжении синусоидальной формы показаны на рис. 4. Характерным является пульсирующее изменение величины тока анода и изменение напряжения на аноде от небольшого положительного  $U_a$  до максимального (амплитудного) отрицательного  $E_a$ .

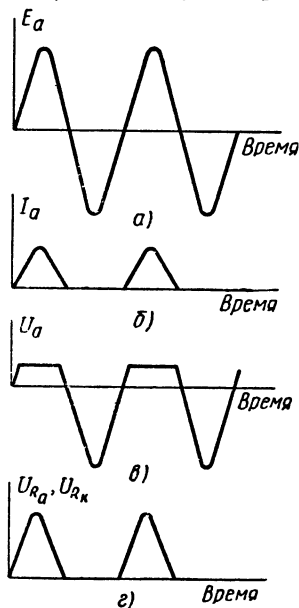


Рис. 4. Диаграммы изменений  $I_a$ ,  $U_a$ ,  $U_{R_a}$  и  $U_{R_k}$  при работе диода в выпрямительном режиме:  $a$  — напряжение анодного источника  $E_a$ ,  $б$  — изменение  $I_a$ ,  $в$  — изменение напряжения между анодом и катодом  $U_a$ ,  $г$  — изменение напряжения на нагрузке  $R_a$  или  $R_k$

## § 2. ТРИОДЫ

*Триодом* называется электронная лампа, имеющая три электрода — катод, сетку и анод. Сетка располагается между катодом и анодом и выполняет роль управляющего электрода. По конструкции она представляет собой обычно две траверсы — держателя, на которые по винтовой линии навита спираль из тонкой вольфрамовой, молибденовой или никелевой проволоки; витки спи-

рали прочно запрессованы в траверсах. Применяют и другие конструкции сеток — рамочные, у которых витки припаяны к прямоугольным рамкам; сетки из плетеного полотна и стержневые цилиндрические сетки, у которых сетка состоит из стержней, прочно припаянных к ци-

линдрическим держателям.

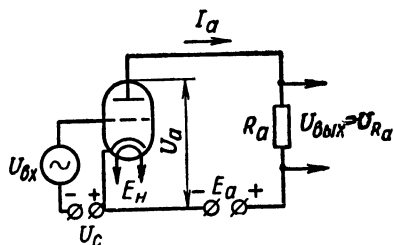


Рис. 5. Простейшая схема уси-  
тельного каскада

Напряжение между катодом и сеткой называется *сеточным* и обозначается  $U_c$ . Изменяя сеточное напряжение, можно изменять величину электронного потока от катода к аноду, а при достаточных отрицательных напряжениях и вовсе прекращать его («запирать»

лампу). Управляющее действие сетки основано на изменении величины напряженности поля, созданного напряжением анода вблизи катода.

Триод, подобно диоду, обладает односторонней проводимостью, но используется для другой цели — для усиления электрических колебаний. На рис. 5 показана простейшая схема применения триодов для усиления электрических колебаний — схема усилительного каскада. Источник усиливаемых колебаний  $U_{вх}$  (входных сигналов) включен в цепь сетки. Колебания сеточного напряжения вызывают изменения тока анода, и на резисторе  $R_a$  возникают усиленные колебания выходного напряжения  $U_{вых}$ , амплитуда которых превышает амплитуду входного сигнала.

В рабочем режиме на сетку подается обычно постоянное отрицательное напряжение, которое ослабляет действие напряжения анода на электрическое поле вблизи катода. Так как сетка расположена значительно ближе к катоду, чем анод, то ее напряжение действует на электрическое поле значительно сильнее, чем напряжение анода.

Влияние сетки на величину анодного тока характеризуется *коэффициентом усиления*  $\mu$  — важнейшим параметром триода. Коэффициент усиления определяется отношением приращения анодного напряжения  $\Delta U_a$  к

соответствующему изменению напряжения на сетке  $\Delta U_c$ , при котором анодный ток остается неизменным:

$$\mu = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_c} \quad \text{при} \quad I_a = \text{const.}$$

Коэффициент усиления определяется конструкцией триода: расстояниями катод—сетка, катод—анод, шагом витков сетки, диаметром витков или стержней.

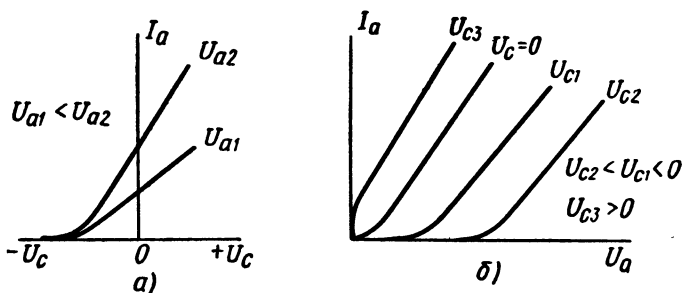


Рис. 6. Основные характеристики триода:  
а — анодно-сеточные, б — анодные

Основными характеристиками триода являются *анодно-сеточные* (зависимость тока анода  $I_a$  от сеточного напряжения  $U_c$  при постоянном напряжении анода  $U_a$ , рис. 6, а) и *анодные* (зависимость тока анода  $I_a$  от напряжения анода  $U_a$  при постоянном сеточном напряжении  $U_c$ , рис. 6, б). Важнейшими параметрами триода, определяющими его качество и возможность применения для целей усиления электрических сигналов, являются крутизна характеристики  $S$ , внутреннее сопротивление  $R_i$  и ток управляющей сетки  $I_c$ . К параметрам триода относятся также напряжение накала  $U_h$ , ток накала  $I_h$ , ток анода  $I_a$ , допустимая мощность рассеивания анодом  $P_a$  и ток утечки катод — подогреватель  $I_{нк}$ .

Рассмотрим подробнее важнейшие параметры триода.

**Крутизна характеристики  $S$**  (в дальнейшем будем называть ее крутизной) определяет управляющее действие сетки, т. е. влияние сеточного напряжения на величину анодного тока. Она определяется отношением изменения анодного тока  $\Delta I_a$  к вызвавшему его изменению на-

пряжения сетки  $\Delta U_c$  (при постоянном напряжении анода):

$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_c} \quad \text{при} \quad U_a = \text{const.}$$

Крутизна выражается в мА/В или А/В; ее величина показывает, на сколько мА или А изменится ток анода, если сеточное напряжение изменить на 1 В при неизменном напряжении на аноде.

**Внутреннее сопротивление**  $R_i$  характеризует влияние напряжения на аноде на величину анодного тока при неизменном сеточном напряжении:

$$R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} \quad \text{при} \quad U_c = \text{const.}$$

Чем ниже  $R_i$ , тем больше влияет анодное напряжение на величину анодного тока.

Величины  $S$  и  $R_i$  зависят от конструкции электродов, междуэлектродных расстояний, активной площади катода и режима работы лампы (напряжения накала, сетки и анода). Внутреннее сопротивление триодов — от 10 до 100 кОм. Оно уменьшается при уменьшении расстояния сетка—катод и при увеличении рабочей площади катода (его эмиттирующей поверхности), оно также уменьшится, если увеличивать шаг сетки, т. е. делать ее более редкой.

**Ток управляющей сетки**  $I_c$  включает в себя два понятия — прямой и обратный токи.

*Прямой или электронным током сетки* называют поток электронов, вылетающий из катода и перехватываемый сеткой. Он существует не только при положительных напряжениях на сетке, но имеет конечное значение при небольших отрицательных напряжениях, когда энергия эмиттированных электронов еще достаточна, чтобы преодолеть тормозящее поле витков сетки и попасть на них.

При отрицательных напряжениях сетки в лампе протекает небольшой сеточный ток, направление которого противоположно прямому. Такой ток эквивалентен движению электронов от поверхности сетки к аноду. Он называется *обратным сеточным током* и имеет несколько составляющих в зависимости от физических причин, обусловивших его возникновение. Таких причин обычно три — недостаточный вакуум в объеме лампы; недоста-

точная изоляция между сеткой и электродами, имеющими положительный потенциал (катодом и анодом); термоэмиссия витков сетки.

При недостаточном вакууме электроны, устремившиеся к аноду, сталкиваются с молекулами неоткачанного газа и, обладая достаточной кинетической энергией, ионизируют их. Образовавшиеся при этом положительные ионы двигаются к отрицательно заряженной сетке и, отбирая от нее электроны, нейтрализуются на ее поверхности. В цепи сетки появляется поток электронов, движущийся к ее поверхности, называемый ионной составляющей.

Второй составляющей является поток электронов, движущихся от поверхности сетки к аноду или катоду по изоляторам с недостаточным омическим сопротивлением (слоде, керамике или стеклу), особенно при напылении на их поверхность металлов, например бария из оксидного слоя. Эта составляющая называется током утечки.

Третьей составляющей является термоэмиссия с поверхности разогретой сетки. Особенно часто она появляется при напылении на поверхность сетки бария с катода; называется она термотоком. Для снижения термотока витки сетки обычно покрывают антиэмиссионным слоем — золотом, серебром или другими металлами, дающими с барием соединения (например,  $\text{Au}_5\text{Ba}$ ), которые сохраняют большую работу выхода сетки.

*Рабочим режимом* триода называют режим работы при включении в цепь анода нагрузочного резистора  $R_a$  (см. рис. 5). Режим работы без нагрузочного резистора называют статическим. В статическом режиме напряжение на аноде равно напряжению на анодном источнике  $E_a$ , в рабочем оно всегда меньше  $E_a$  на величину падения напряжения на нагрузке  $U_R = I_a R_a$ . Величина напряжения на аноде  $U_a$  определяется по формуле  $U_a = E_a - I_a R_a$ , которая является основным уравнением рабочего режима.

При изменении напряжения сетки  $U_c$  изменяется анодный ток  $I_a$ , а это вызывает изменение напряжения на аноде  $U_a$ . При увеличении  $U_c$  величина  $I_a$  возрастает, а величина  $U_a$  падает. При уменьшении  $U_c$  ток анода уменьшается, а напряжение на аноде возрастает. Эту взаимосвязь можно охарактеризовать общим правилом:

в рабочем режиме напряжение на аноде изменяется в противофазе с изменением сеточного напряжения.

Нагрузочный резистор уменьшает важнейшие параметры триода в рабочем (динамическом) режиме. Если обозначить отношение  $\frac{R_a}{R_i}$  через  $\alpha$ , то крутизна характеристики в рабочем режиме

$$S_d = \frac{S}{1 + \alpha}$$

и коэффициент усиления в рабочем режиме

$$\mu_d = \mu \cdot \frac{\alpha}{1 + \alpha}.$$

Величина  $\mu_d$  определяет усилительные свойства триода в рабочем режиме. Если обозначить величину переменного напряжения, поступающего на сетку триода, через  $U_{вх}$ , то переменное напряжение на нагрузочном резисторе (выходной сигнал)  $U_{вых} = \mu_d U_{вх}$ .

Наличие в лампе небольшого по величине обратного сеточного тока ухудшает ее рабочие параметры: приводит к уменьшению коэффициента усиления, излишним потерям в сеточных цепях и свидетельствует о том, что в объеме лампы имеются остаточные газы, вызывающие быстрое отравление катода.

Если нагрузка в аноде не является омической, а состоит из емкостей и индуктивностей, то всегда возможно подобрать такие их сочетания, при которых часть выходного сигнала, будучи подана на сетку, заставит лампу работать в режиме самовозбуждения, т. е. быть генератором колебаний. В генераторном режиме большая часть переменной мощности в нагрузке подается на последующие каскады усиления и лишь незначительная часть расходуется в сеточной цепи для поддержания генерируемых колебаний на постоянном уровне.

### § 3. МНОГОСЕТОЧНЫЕ ЛАМПЫ

Из большого многообразия многосеточных ламп рассмотрим две простейшие лампы — двухсеточную (тетрод) и трехсеточную (пентод).

**Тетрод** — четырехэлектродная лампа, имеющая кроме катода, анода и управляющей сетки вторую, так называемую экранирующую, сетку, расположенную между

управляющей сеткой и анодом. По конструкции экранная сетка подобна управляющей, но ее витки в большинстве случаев не требуют антиэмиссионных покрытий, так как термоток с ее поверхности не влияет существенно на работоспособность лампы. Во многих случаях экранная сетка покрывается чернящим покрытием, чтобы улучшить условия ее охлаждения.

На экранную сетку подается положительное напряжение  $U_{c2}^*$ , которое в большой степени определяет величину анодного тока  $I_a$ . При этом величина  $I_a$  зависит от  $U_{c2}$  значительно сильнее, чем от напряжения на аноде. Экранная сетка значительно повышает коэффициент усиления лампы, так как она экранирует пространство у катода от действия напряжения анода. Электрическое поле, созданное напряжением экранной сетки, проникает в катодное пространство, определяя величину потока электронов, проходящих сквозь управляющую сетку.

По сравнению с триодом в тетроде анодное напряжение действует на электронный поток значительно слабее: изменение величины анодного напряжения  $U_a$  практически не меняет величину анодного тока  $I_a$ , а это означает, что величина внутреннего сопротивления  $R_i$  тетродов гораздо выше, чем у триодов. Соответственно величина  $\alpha$  меньше той же величины у триодов, поэтому у тетрода в рабочем режиме величины крутизны и коэффициента усиления практически равны этим величинам в статическом режиме.

Поток эмиттированных электронов под действием ускоряющего поля, созданного положительным напряжением экранной сетки в прикатодном пространстве, устремляется через межвитковые промежутки управляющей сетки к экранной сетке и аноду. Часть этого потока перехватывается витками экранной сетки и составляет ток экранной сетки  $I_{c2}$ , а остальная часть минует ее витки и направляется к аноду (большая часть потока). При отрицательном напряжении на управляющей сетке сумма токов  $I_{c2}$  и  $I_a$  равна общему току, отбираемому с катода — катодному току  $I_k$ :

$$I_k = I_{c2} + I_a \quad \text{при} \quad I_{c1} = 0.$$

---

\* В многосеточных лампах при обозначении напряжения на сетках добавляется номер сетки; так, например, напряжение управляющей сетки обозначается  $U_{c1}$ , а напряжение второй (экранной) сетки  $U_{c2}$ .



В рабочем режиме, когда в цепях анода и экранной сетки имеются нагрузочные резисторы, может создаваться такое распределение напряжений на электродах, при котором напряжение на аноде будет меньше напряжения

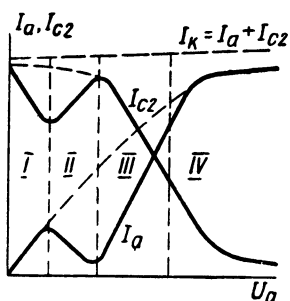


Рис. 7. Анодная и сеточная характеристики тетрода:

область I — начальная ( $U_a$  мало, динаatronного эффекта нет), область II — область  $U_{c2} > U_a$  (характеристика искажена наличием динаatronного эффекта), области III и IV — области  $U_{c2} < U_a$  (динаatronного эффекта анода нет, в области IV напряжение анода слабо влияет на величину  $I_a$ )

экранной сетки. В этом случае анодная характеристика лампы будет сильно искажена из-за появления так называемого *динаatronного эффекта анода*, который является существенным недостатком тетрода.

Поясним физическую суть динаatronного эффекта. Электроны при ударе в анод выбивают из него вторичные электроны. Если  $U_{c2} < U_a$ , то они возвращаются на анод и заметного влияния на работу лампы не оказывают. В диоде и триоде также наблюдается это явление, но вторичные электроны всегда возвращаются к положительному аноду. Если же  $U_{c2} > U_a$ , то вторичные электроны устремляются к более положительной экранной сетке, величина тока  $I_{c2}$  воз-

растает, а величина  $I_a$  уменьшается на величину тока вторичных электронов. Обозначим его  $I_{II}$ , тогда  $I_a = I_{aI} - I_{II}$  и  $I_{c2I} = I_{c2I} + I_{II}$ , где  $I_{aI}$  и  $I_{c2I}$  — токи первичных электронов.

Искажение характеристик тетрода за счет динаatronного эффекта показано на рис. 7. На рисунке пунктиром показаны анодная и сеточная характеристики при отсутствии динаatronного эффекта. При сравнении их с характеристиками триода наглядно видна слабая зависимость анодного тока от анодного напряжения в области IV. Некоторое увеличение анодного тока в области IV относительно теоретического значения, так же как и уменьшение  $I_{c2}$ , связано с динаatronным эффектом экранной сетки за счет вторичных электронов, выбитых первичными электронами с ее поверхности.

**Пентод** — пятиэлектродная лампа, имеющая кроме катода, анода и двух сеток (управляющей и экранной)

третью, так называемую защитную или антидинатронную сетку, расположенную между экранной сеткой и анодом. По конструкции антидинатронная сетка подобна двум другим, но очень редкая. Третья сетка обычно соединяется внутри лампы с катодом или, если она имеет отдельный вывод, то такое соединение делается в радиотехнической схеме. Иногда на третью сетку с отдельным выводом подается небольшое постоянное напряжение.

Наличие третьей сетки устраняет искажения анодной характеристики пентода, вызываемое динатронным эффектом (рис. 8), так как между антидинатронной сеткой и анодом создается электрическое поле, которое тормозит, останавливает и в конце концов возвращает на анод вторичные электроны, выбитые из него. Для пентода характерна слабая зависимость тока катода от величины анодного напряжения.

Анодная и сеточная характеристики могут быть разбиты на две области. При малых анодных напряжениях наблюдается резкая зависимость токов  $I_a$  и  $I_{c2}$  от анодного напряжения (область I). При небольших изменениях  $U_a$  в этой области происходит резкое перераспределение токов между анодом и экранной сеткой. Связано это с тем, что около экранирующей сетки создается электронное облако из электронов, проскочивших витки экранной сетки и попавших под действие тормозящего поля анода, так как в этой области обычно  $U_a < U_{c2}$ .

На участках под витками третьей сетки, имеющей нулевой потенциал (потенциал катода) или близкий к нему, тормозящее действие поля анода выражено еще более сильно, следовательно, на этих участках плотность облака электронов возрастает.

В начальной области характеристики (область I на рис. 8) электроны, эмиттированные катодом, либо перехватываются сразу витками экранной сетки, либо, пройдя междувитковые промежутки, изменяют направление своего движения и возвращаются обратно к сетке. Возврат электронов из пространства сетка—анод связан с

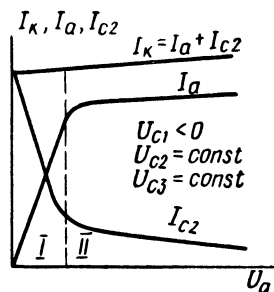


Рис. 8. Анодные и сеточные характеристики пентода:

I — область перераспределения токов, II — область нормального токораспределения

действием в этой области слабого электрического поля анода ( $U_a < U_{c2}$ ). В этой области характеристики небольшое повышение  $U_a$  вызывает резкое перераспределение тока между электродами (экранной сеткой и анодом). Ток анода резко увеличивается, ток экранной сетки уменьшается.

По мере увеличения анодного напряжения характер зависимости  $I_a$  и  $I_{c2}$  от  $U_a$  изменяется: повышение  $U_a$  незначительно изменяет  $I_a$  и  $I_{c2}$  (область II). Связано это с тем, что ток катода слабо зависит от  $U_a$ , а режим работы экранной сетки изменяется. В области II, экранная сетка работает в режиме прямого захвата — возврата электронов из пространства сетка—анод нет и все электроны, пролетевшие в это пространство, попадают на анод. Зависимость  $I_a$  от  $U_a$  повторяет слабую зависимость  $I_k$  от  $U_a$ .

Аналогичные анодные и анодно-сеточные характеристики имеют лучевые тетроды — лампы, у которых динаatronный эффект устранен повышением плотности электронного потока вблизи анода. Достигается это за счет усложнений конструкции.

Лучевые тетроды имеют управляющую и экранную сетки со строго одинаковым шагом витков. При сборке внутренней арматуры сетки устанавливаются таким образом, чтобы витки были строго совмещены в направлении, перпендикулярном поверхности катода. При работе лампы анодный ток разделяется на несколько потоков, проходящих через междувитковые промежутки совмещенных сеток. Расстояние между экранной сеткой и анодом увеличено по сравнению с пентодом и в него вмонтированы специальные пластины, расположенные за траверсами управляющей и экранной сеток. Электрически пластины соединяются с катодом. Пластины ограничивают действие поля анода в пространстве у траверс сеток и таким образом формируют потоки электронов в лучи (рис. 9), а поэтому пластины называют лучеобразующими, а лампы — лучевыми тетрами.

Динаatronный эффект благодаря перечисленным конструкторским особенностям лучевых тетродов не искажает их характеристик. Плотность электронного потока в лучах значительно превышает плотность потока в прианодном пространстве обычных тетродов. В лучевых тетрах создается своеобразный электрический барьер для вторичных электронов, которые хотя и выбиваются

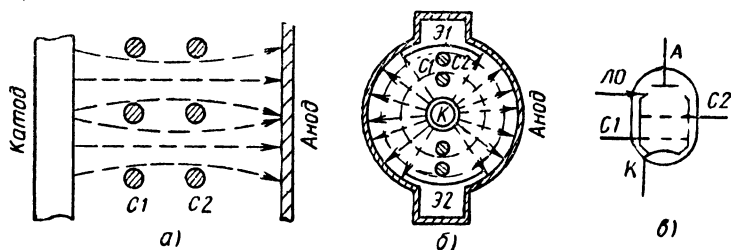


Рис. 9. Устройство и принцип работы лучевого тетрода:  
 а — формирование токовых лучей совмещенными витками сеток, б — поперечный разрез тетрода с экранами З1 и З2, в — изображение лучевого тетрода в радиотехнических схемах (ЛО — лучеобразующие пластины)

из поверхности анода первичными электронами, но не могут преодолеть тормозящее (отталкивающее) действие плотного потока первичных электронов в лучах и возвращаются обратно к поверхности анода.

Характерным для параметров лучевого тетрода является высокое отношение тока анода  $I_a$  к току экранной сетки  $I_{c2}$ . Природа относительно низкого значения тока экранной сетки ясна из рис. 9, особенно если учесть, что экранная сетка находится в своеобразной «электронной тени», созданной управляющей сеткой. Малейшее рас-совмещение витков увеличивает  $I_{c2}$ , и отношение  $I_a/I_{c2}$  уменьшается.

Важнейшими параметрами многосеточных ламп являются ток накала  $I_h$ , ток анода  $I_a$ , ток экранной сетки  $I_{c2}$ , крутизна характеристики  $S$ , обратный ток управляющей сетки  $I_{c1}$  и сопротивление изоляции между электродами (в том числе между катодом и подогревателем). При измерении крутизны характеристики кроме условий постоянства напряжения на аноде должно соблюдаться условие постоянства напряжений на экранной и антидинатронной\* сетках. Аналогичные условия должны соблюдаться при измерении внутреннего сопротивления и коэффициента усиления.

Тетроды, пентоды и лучевые тетроды применяются для тех же целей, что и триоды. Они могут быть усилителями напряжения или тока, генераторами колебаний. Промышленность выпускает разнообразные электронные

\* Условие обязательно, если антидинатронная сетка имеет отдельный вывод и не соединена с катодом.

лампы, в том числе комбинированные лампы, в один баллон которых вмонтированы два триода (двойной триод), триод и пентод, диод и пентод. Комбинированные лампы выпускают для применения в сложных радиотехнических устройствах. Кроме того, для специальных целей выпускают лампы с двумя управляющими сетками; обычно такие лампы выполняют функции преобразователей частоты.

#### § 4. ЭЛЕКТРОННОЛУЧЕВЫЕ ПРИБОРЫ

Электроракуумные приборы, в которых используется поток электронов, сконцентрированный в форме луча или пучка лучей, называются электроннолучевыми. Они предназначены для преобразования электрических сигналов в оптические (приемные электроннолучевые приборы) и, наоборот, оптических сигналов в электрические (передающие электроннолучевые приборы). Электроннолучевые приборы обычно имеют форму трубки, вытянутой в направлении луча, и поэтому называются электроннолучевыми трубками.

К приемным трубкам относят кинескопы, предназначенные для наблюдения на их люминесцирующем экране изображения, передаваемого телевизионными станциями в виде определенной последовательности электрических сигналов, и осциллографические трубки, предназначенные для наблюдения и регистрации изменений во времени быстро протекающих явлений. Осциллографические трубки используют в измерительных приборах — осциллографах и в радиолокационных установках.

К передающим трубкам относят телевизионные трубки для преобразования оптического изображения в ряд электрических телевизионных сигналов.

В зависимости от способа отклонений электронного луча различают две группы электроннолучевых приборов: первая — трубки с магнитным управлением, вторая — трубки с электростатическим управлением.

Кинескоп представляет собой воронкообразную колбу (рис. 10), в горловине которой находятся катодно-подогревательный узел (подогреватель 1 и катод 2) и электронно-оптическая система (модулятор 3 и фокусирующий электрод 5), преобразующая поток эмиттированных катодом электронов в узкий пучок — электронный луч.

Луч под действием ускоряющего электрического поля, созданного ускоряющим электродом 4 и анодом 6, попадает на экран 7, покрытый специальным составом — люминофором. Люминофор способен светиться под воздействием электронов, обладающих значительной кинетической энергией. В результате попадания на экран электронного луча на экране появляется светлое пятно — элемент изображения.

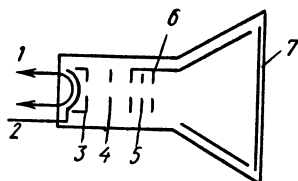


Рис. 10. Схема расположения электродов кинескопа:

1 — подогреватель, 2 — катод, 3 — модулятор, 4 — ускоряющий электрод, 5 — фокусирующий электрод, 6 — анод, 7 — экран, покрытый люминофором

С помощью специальных отклоняющих устройств, описанных ниже, электронный луч перемещается по экрану. При этом его перемещение по экрану согласовано с движением электронного луча на телевизионных передающих трубках, воспринимающих изображения

на передающих станциях. Оставляемый лучом светящийся след последовательно освещает все точки вписанного в экран прямоугольника. Интенсивность свечения различных участков прочерчиваемого следа различна в зависимости от величины тока луча в момент его попадания на данный участок экрана. Последовательное освещение этих точек происходит очень быстро, поэтому глаз видит всю поверхность прямоугольника как единую картину, состоящую из множества параллельных строк. Засвеченная часть экрана, видимая как сетка параллельных горизонтальных строк, называется растром (рис. 11).

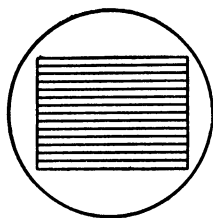


Рис. 11. Растр на экране кинескопа

Последовательность расположения электродов показана на рис. 10. Рассмотрим назначение электродов, управляющих движением электронов в объеме трубки. Мы ограничимся рассмотрением назначения только управляющих электродов, так как назначение катода и подогревателя нам уже известно.

Модулятор выполняет роль, аналогичную роли управляющей сетки в электронных лампах; при изменении на-

пряжения на нем изменяется величина электрического тока. На модулятор подаются усиленные видеоусилителем телевизионного приемника входные сигналы, принятые антенной (видеосигнал). Управляя электронным потоком, модулятор в зависимости от величины входного сигнала изменяет интенсивность свечения отдельных точек экрана.

Ускоряющий электрод выполняет роль экранной сетки, «вытягивая» из катодной области поток электронов,

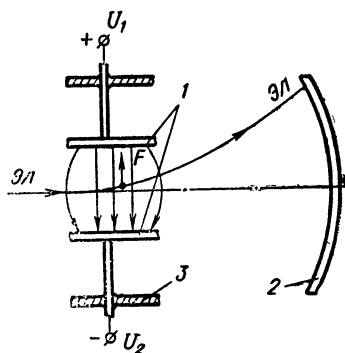


Рис. 12. Принцип действия электростатической отклоняющей системы:

1 — пластины отклоняющей системы, 2 — экран трубки, 3 — условное обозначение внешней оболочки трубки; ЭЛ — электронный луч,  $U_1$  и  $U_2$  — электрические потенциалы

который затем, ускоряясь полем анода, приобретает энергию, достаточную для возбуждения свечения люминофора. На пути электронного потока имеется специальный фокусирующий электрод, который «сжимает» ускоренный электрический поток в тонкий электронный луч, чем обеспечивает получение на экране отдельных светящихся точек с резко очерченными краями.

Для перемещения электронного луча по всей площади экрана электроннолучевой трубки применяется одна из двух систем отклонения луча: электростатическая и электромагнитная.

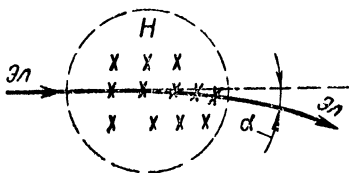
В рабочий объем трубки с электростатическим отклонением луча вмонтированы две пары пластинчатых электродов, расположенных перпендикулярно друг к другу. Принцип действия электростатической отклоняющей системы показан на рис. 12. На одну из пар пластин подается изменяющаяся по времени разность потенциалов  $U_1 - U_2$ . Электрическое поле в пространстве между этими пластинами вызывает отклонение электронного луча ЭЛ (например, в вертикальном направлении), угол отклонения которого пропорционален напряженности электрического поля, а направление отклонения зависит от направления напряженности электрического поля в момент пролета. Напряжение, приложенное ко второй паре пластин, вызывает отклонение электронного луча в

направлении, перпендикулярном первому (в нашем примере — в горизонтальном направлении).

Вторая система отклонения электронного луча основана на изменениях траектории полета электронов в магнитном поле. Принцип действия такой системы основан на следующем законе: электрон,двигающийся в магнитном поле, отклоняется этим полем в направлении,

Рис. 13. Отклонение электронного луча в магнитном поле:

$H$  — магнитное поле, перпендикулярное плоскости чертежа,  $\mathcal{ЭЛ}$  — траектория движения электронов (пунктиром обозначена траектория при отсутствии магнитного поля)



перпендикулярном плоскости, проходящей через силовые линии магнитного поля  $H$  и направление скорости электрона  $\mathcal{ЭЛ}$  (рис. 13). Угол отклонения  $\alpha$  зависит от скорости электронов, величины и направления напряженности магнитного поля и угла между ними. Наибольшее отклонение будет при угле между скоростью электрона и напряженностью магнитного поля, равном  $90^\circ$ . При угле, равном  $0^\circ$  (движение электронов вдоль магнитного поля), луч не отклоняется.

Магнитная отклоняющая система в электроннолучевых трубках состоит из двух пар внешних катушек, располагаемых по обе стороны горловины трубки. Все кинескопы для телевизионных приемников имеют две взаимно перпендикулярные магнитные системы отклонения (строчную и кадровую).

На отклоняющие катушки подается изменяющееся во времени напряжение от генераторов строчной и кадровой развертки\*, работа которых синхронизирована специальной последовательностью импульсов, передаваемых телевизионными передатчиками. По мере увеличения напряжения на катушках системы возрастает напряженность магнитного поля  $H$  и увеличивается угол отклонения электронного луча от своего исходного положения. Система магнитных катушек, соединенных с генератором

\* *Строчной разверткой* называют перемещение электронного луча на экране кинескопа в горизонтальном направлении, последовательное смещение строк в вертикальном направлении называют кадровой разверткой.



строчной развертки, «разворачивает» электронный луч в строку, а система, соединенная с генератором кадровой развертки, смещает строки в вертикальном направлении, заполняя ими весь кадр.

## **Контрольные вопросы**

1. Как различаются электронные лампы в зависимости от их назначения?
2. Расскажите об основных электрических параметрах диодов и триодов?
3. В чем сущность динаatronного эффекта?
4. Расскажите о приемных и передающих электроннолучевых приборах.

## **ГЛАВА II**

# **ИСПЫТАНИЕ ОСНОВНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫХ ПРИБОРОВ**

## **§ 5. ИСПЫТАНИЕ ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫХ ПРИБОРОВ**

Процесс изготовления электровакуумных приборов заканчивается испытанием каждого прибора на соответствие его основных электрических параметров и устойчивости против механических и термических воздействий требованиям технических условий и стандартов. Испытание обычно следует после тренировки, хранения и выдержки приборов на складе в течение определенного времени.

Выдержка необходима для выявления приборов с недостаточной вакуумной плотностью внешней оболочки. Если в оболочке есть микроскопические каналы, по которым в объем прибора может проникнуть атмосферный воздух, то при выдержке вакуум внутри откачанного объема ухудшится и дефектный прибор будет своевременно выявлен на предприятии-изготовителе. Испытание без выдержки может привести к отправке потребителям дефектных приборов. Минимальное время выдержки определяется в технических условиях и обычно составляет от 5 до 15 суток. Испытания проводятся в режимах,

строго определенных техническими условиями или Государственными стандартами \*

Каждая из величин, характеризующая режим электровакуумного прибора, называется *параметром режима*. При испытании различают электрические параметры режима (напряжения и токи электродов), механические (ускорение, частота, амплитуда вибрации), тепловые (температура электродов и внешней оболочки прибора) и климатические (температура окружающей среды и ее влажность).

*Рабочим режимом* электровакуумного прибора, электроды которого включены в электрические цепи, называют режим, при котором в приборе происходят явления, соответствующие его назначению (например, прохождение анодного тока в электронных лампах или фотоэлементах, свечение экрана электроннолучевых приборов). Частными случаями рабочего режима являются режимы эксплуатации и испытаний.

Рабочий режим, рекомендованный для электровакуумного прибора данного типа, называется *типовым*; режим, установленный техническими условиями и определяющий условия работы при испытаниях или измерениях параметров, — *номинальным*. Рабочий режим может быть также предельно допустимым, характеризующимся параметрами режима и электрическими параметрами прибора, выход за пределы которых влечет за собой порчу прибора или снижение его гарантированной долговечности.

Режим испытания электровакуумного прибора в зависимости от изменения параметров может быть *статическим* (все параметры режима постоянны) или *динамическим*. Для динамического режима характерно изменение хотя бы одного параметра режима. Особым режимом работы является *импульсный режим*, при котором длительность протекания тока мала, но величина его в момент протекания настолько значительна, что в этот момент в объеме прибора происходят процессы, ограничивающие возможность длительной работы прибора (например, кратковременный съём с катода полного эмиссионного тока). Часто для определения работоспособнос-

---

\* Далее, для краткости, мы будем говорить «в технических условиях», подразумевая, что требования для отдельных типов ламп могут быть определены Государственными стандартами или другой нормативно-технической документацией.

ти прибора применяют *недокальный режим* испытания при пониженном напряжении (или токе) накала. Недокальный режим в некоторых случаях рекомендуется и для эксплуатации, так как он обычно увеличивает срок службы приборов.

Для подготовки электровакуумного прибора к измерениям параметров его выдерживают обычно в статическом режиме перед испытанием в течение определенного времени. Предварительная выдержка непосредственно перед испытанием называется предварительным прогревом. Он необходим для прогрева отдельных частей прибора (например, катода) и установления рабочего распределения температуры электродов. Для повышения производительности труда испытателей предварительный прогрев производят на отдельных установках, размещаемых рядом с измерительными.

При испытании электронных ламп необходимо выполнять следующие общие правила последовательности включения напряжений на испытательных установках и установках предварительного прогрева:

1. Перед включением общего выключателя сети измерительной установки или установки предварительного прогрева проверяют положения регуляторов напряжений. Они должны находиться в положении, при котором напряжение на выходе источников питания будет нулевым или, во всяком случае, минимальным.

2. После включения установки и прогрева ее источников питания в течение определенного времени первым включают напряжение накала испытуемых ламп и напряжение катод—нить. Напряжение накала следует повышать постепенно, в противном случае может значительно увеличиться ток накала подогревателя, не нагретшегося до рабочей температуры. Затем включают источник напряжения управляющей сетки и устанавливают номинальную величину напряжения.

3. После подачи напряжения на управляющую сетку разрешается включить анодное напряжение и лишь после этого напряжение экранный сетки.

*Испытатель должен помнить, что нарушение последовательности включения напряжений влечет за собой порчу ламп!*

Четкое и обязательное выполнение правил особенно важно при испытании ламп с большой мощностью накала (генераторных ламп средней и большой мощности)

и других приборов, испытываемых малыми сериями. Это имеет принципиальное значение при проведении испытания на долговечность. При испытании ламп массовых серий это важно в начале работы, при загрузке на установку первой серии ламп, а также после перерывов, когда зачастую испытатель включает режим на установке, загруженной приборами, подготовленными к испытаниям.

Для измерения электрических параметров в испытательных установках применяют электроизмерительные приборы, ламповые вольтметры, осциллографы и специальные электронные приборы. Чтобы исключить ошибки при отсчитывании величины по шкале прибора, угол зрения испытателя должен быть перпендикулярен плоскости шкалы. При считывании величины на приборах класса точности 1,0, имеющих зеркальную шкалу, отсчет производится после совмещения стрелки прибора с ее зеркальным изображением.

Для удобства работы современные испытательные установки оснащают многошкальными электроизмерительными приборами. Выбор приборов с необходимыми рабочими шкалами определяется особыми правилами. Измеряемая величина должна находиться в последних двух третях шкалы (рабочая часть шкалы). Первая треть шкалы считается нерабочей и, если измеряемая величина находится в этой части, надо переключить шкалу на меньший предел или заменить прибор. Из этого общего правила есть исключение: при измерении обратного тока управляющей сетки и токов электродов при отрицательных напряжениях на них, а также при измерении токов утечки допускается пользоваться начальным участком шкалы.

Приборы должны потреблять по возможности меньшую мощность и не вносить заметных искажений в цепь, где производятся измерения. Для вольтметров это требование ограничивает ток потребления, потому что ток потребления самого вольтметра увеличивает ток электрода, рабочее напряжение которого он измеряет; для амперметра ограничивает сопротивление прибора, так как при значительном сопротивлении напряжение на электроде будет меньше номинального на величину падения напряжения на внутреннем сопротивлении амперметра.

Для защиты электроизмерительных приборов и источников питания от перегрузок при электрическом пробое между электродами применяют релейную защиту

с отключением источников питания и шунтированием амперметров. Перед началом работы испытатель должен совместно с наладчиком оборудования проверить правильность регулировки реле защиты. Проверка производится подключением к гнездам ламповых панелей калиброванных сопротивлений, при включении которых проходящий в цепи ток должен обеспечивать срабатывание реле защиты. Защиту надо отключать только после удаления из ламповой панели дефектной лампы. Для ее отключения в установках вмонтированы специальные кнопки.

Правильность работы испытательных установок зависит от многих факторов: точности приборов, величины сопротивления в цепи электродов, калибровочных характеристик измерительных электронных приборов. Это заставляет проводить профилактические проверки установок эталонными лампами, т. е. лампами со стабильными параметрами, многократно проверенными на специальных особо точных установках метрологической службы предприятия.

Периодический контроль с применением эталонных ламп исключает ошибки измерения. Контроль проводится метристами цехов. Установки признаются годными к работе, если разница между параметрами эталонной лампы, измеренными на данной установке, и фактическими значениями тех же параметров, определенными метрологической службой, не превышает допустимого отклонения.

## § 6. ИЗМЕРЕНИЕ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ НАКАЛА

Важнейшим параметром, определяющим работоспособность электровакуумного прибора с термоэмиссионным катодом, является потребляемая мощность накала. Мощность накала  $P_n = U_n I_n$  определяет температуру катода, а следовательно, его эмиссионную способность, а при длительной эксплуатации — долговечность лампы. При питании нескольких ламп от одного источника напряжение накала для всех параллельно включенных ламп одно и то же, поэтому при испытаниях продукции обычно измеряют ток накала при напряжении накала, указанном в технических условиях \*.

---

\* Большинство приемно-усилительных ламп рассчитаны на работу от источника накала с напряжением 6,3 В или кратным

Электрическая схема установки для измерения тока накала показана на рис. 14. Порядок измерения следующий: регулировкой выходного напряжения источника устанавливают рабочее напряжение накала  $U_H$  (контроль

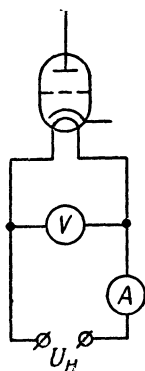


Рис. 14. Электрическая схема установки для измерения тока накала

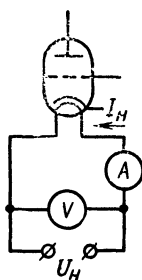


Рис. 15. Электрическая схема установки для измерения напряжения накала

производится по вольтметру  $V$ ), после чего отсчитывают величину тока накала по шкале амперметра  $A$ . Если при вставлении измеряемой лампы в панель напряжение накала уменьшается, проводят дополнительную регулировку для более точной установки испытательного режима.

Ток накала, как правило, измеряют первым, до измерения других параметров. Слишком большое значение тока накала (относительно номинального) является признаком потери вакуума в приборе. Это объясняется тем, что условия теплоотдачи для катода улучшаются благодаря теплопроводности воздуха. Температура катода и подогревателя падает; сопротивление подогревателя при этой температуре гораздо ниже рабочего и ток, проходящий через него, велик. Лампу со слишком большим током накала снимают с испытательной установки и считают браком.

этой величине. Первая цифра в названии лампы обозначает рабочее напряжение накала. Например, лампа 6Н1П должна включаться в сеть накала с напряжением 6,3 В, а лампы 12Ж1Л и 3Ц22С — с напряжением 12,6 или 3,15 В соответственно.

Напряжение накала \* измеряют на установке, электрическая схема которой показана на рис. 15. Порядок измерения следующий: регулировкой выходного напряжения источника  $U_H$  устанавливают заданную величину тока накала  $I_H$  и измеряют напряжение накала по показаниям вольтметра  $V$ .

Измерение тока или напряжения накала проводят без подачи напряжения на другие электроды, за исключением ламп с катодами косвенного накала, для которых допускается подача напряжения на другие электроды. В этом случае лампа должна быть испытана в таком режиме, при котором ток катода не должен превышать максимально допустимый для данного типа ламп.

## § 7. ИЗМЕРЕНИЕ ТОКОВ АНОДА И СЕТОК, ИМЕЮЩИХ ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ОТНОСИТЕЛЬНО КАТОДА

Ток анода электронных ламп измеряют на установках, электрические схемы которых изображены на рис. 16 и 17. На рис. 16 показана схема измерения анодного тока тетрода при фиксированном напряжении на

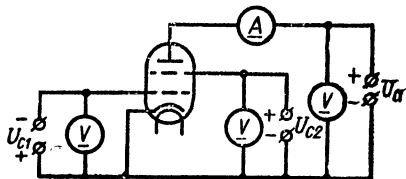


Рис. 16. Электрическая схема установки для измерения тока анода при фиксированном напряжении на управляющей сетке:

$U_{c1}$  и  $U_{c2}$  — напряжения на сетках 1 и 2,  
 $U_a$  — напряжение на аноде

управляющей сетке, т. е. со строго определенным напряжением  $U_{c1}$ . Отрицательное напряжение на управляющей сетке  $U_{c1}$  называют *напряжением смещения*. На рис. 17 изображена электрическая схема измерения тока анода пентода при автоматическом смещении на управляющей сетке. В этой схеме управляющая

сетка соединена с общей точкой схемы, а в катод включен резистор  $R_K$ . При протекании катодного тока электрический потенциал катода (точка  $K$  на схеме)  $U_K =$

\* Напряжение накала является параметром для ламп, предназначенных для последовательного питания от одного источника. Параметром режима у таких ламп является ток накала.

$= I_K R_K$ , т. е. сетка, имеющая нулевой потенциал относительно общей точки схемы, будет иметь относительно катода отрицательный потенциал —  $U_K$ , зависящий от величины  $I_K$ .

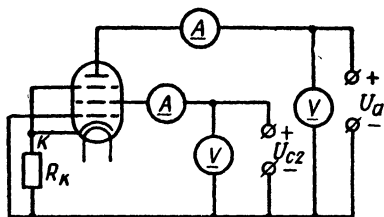


Рис. 17. Электрическая схема установки для измерения токов анода и экранной сетки при автоматическом смещении на управляющей сетке

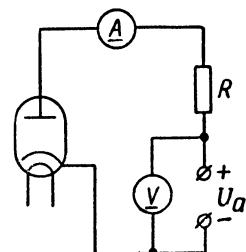


Рис. 18. Электрическая схема установки для измерения тока анода диода

Поясним термин «автоматическое смещение». Предположим, мы измеряем ток анода лампы, которая при фиксированном смещении имела бы большой ток катода  $I_K$  в рабочем режиме.

Если ток катода этой же лампы измерять по схеме, показанной на рис. 17, то напряжение смещения  $U_K$  будет по абсолютной величине больше, чем у лампы с номинальным \* значением  $I_K$ . Это уменьшит катодный ток и снизит —  $U_K$ , т. е. лампа с большим  $I_K$  при фиксированном смещении в схеме с автоматическим смещением имеет параметры, близкие к номинальным. Наоборот, для лампы с малым значением  $I_K$  при фиксированном смещении процесс выравнивания тока катода при автоматическом смещении происходит в обратном порядке.

Можно сделать общий вывод: при включении в цепь катода резистора  $R_K$  происходит автоматическое выравнивание напряжения смещения  $U_K$ , которое имеет среднюю величину  $U_{K,ном} = I_{K,ном} R_K$ , где  $U_{K,ном}$  и  $I_{K,ном}$  — номинальные значения  $U_K$  и  $I_K$ . Применение электрических схем с автоматическим смещением упрощает измерительные установки.

\* Номинальной величиной параметра обычно называют величину, равную середине интервала значений данного параметра, допускаемых техническими условиями или стандартами.



Ток анода диода измеряют при включении последовательно с лампой резистора  $R$  (рис. 18), величина сопротивления которого указана в технических условиях.

Схема установки для измерения тока экранной сетки (см. рис. 17) принципиально не отличается от схем измерения тока анода. При малых напряжениях и больших токах сетки падение напряжения на амперметре может

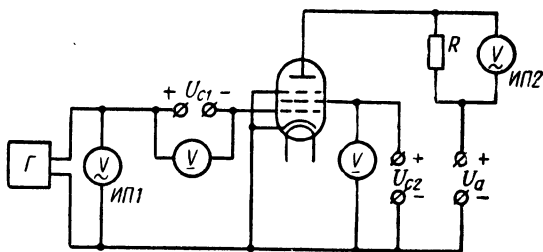


Рис. 19. Электрическая схема установки для измерения импульсного тока анода

быть значительным. Чтобы исключить ошибки в измерениях, вольтметр  $V$  присоединяют непосредственно к сетке, но он должен иметь достаточное сопротивление и его рабочий ток не должен превышать 0,5% тока сетки.

При импульсных напряжениях ток анода измеряют довольно часто при измерении параметров ламп, предназначенных для работы в импульсных режимах. Импульсным называют такой режим работы электровакуумного прибора, при котором происходит кратковременное протекание катодного тока. Обычно такой режим связан с подачей на управляющую сетку лампы больших положительных импульсов и прохождением через нее значительных по величине токов. Длительность импульсов составляет от нескольких микросекунд до миллисекунды, а частота повторения — 10—1000 импульсов в секунду.

Электрическая схема установки для измерения импульсного тока анода показана на рис. 19. Схема содержит специальный генератор импульсов  $G$  прямоугольной формы и два импульсных вольтметра. Импульсный вольтметр  $ИП1$  предназначен для измерения величины импульсов, подаваемых на управляющую сетку, а  $ИП2$ —

для измерения импульса анодного тока. Вместо импульсных вольтметров можно применять осциллографы, отградуированные в единицах напряжения и тока. Для обеспечения необходимой точности измерения величина сопротивления резистора  $R$  должна быть:

$$R \leq 0,01 \frac{U_a}{I_{a, \min}},$$

где  $I_{a, \min}$  — минимально допустимый импульсный ток анода для годных ламп.

Величина отрицательного смещения  $U_{c1}$  выбирается достаточной для запираания катодного тока испытуемой лампы между двумя импульсами (между импульсами тока  $I_k$  не должно быть).

Схема, показанная на рис. 19, может быть упрощена: вместо импульсного вольтметра или осциллографа ИП2 в цепь анода может быть включен амперметр, измеряющий среднее значение тока анода  $I_{a, \text{сред}}$ . Тогда величина импульсного тока определяется как произведение среднего анодного тока на скважность  $Q^*$ .

$$I_{a, \text{имп}} = I_{a, \text{сред}} Q.$$

Порядок измерения тока анода и сеток следующий. По вольтметрам устанавливают заданные напряжения на электродах, затем лампу прогревают при этих напряжениях определенное время, после чего отсчитывают величины токов по показаниям измерительных приборов.

## § 8. ИЗМЕРЕНИЕ КРУТИЗНЫ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ВЫХОДНОЙ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОННЫХ ЛАМП

Наиболее простым методом измерения крутизны характеристики ламп является метод двух отсчетов. Для измерения этим методом используют установку, показанную на рис. 16. После измерения тока анода  $I_a$  регулируют напряжение управляющей сетки при приращении напряжения  $\Delta U_c$  и измеряют соответствующее значение тока анода. Напряжение анода и экранной сетки должно быть неизменным. Отношение изменения тока анода  $\Delta I_a$  к изменению напряжения  $\Delta U_c$  определяет величину крутизны.

---

\* Скважностью  $Q$  называется отношение длительности промежутка времени между двумя импульсами  $T$  к длительности самого импульса  $\tau$ .  $Q = T/\tau$ .

Другим и наиболее распространенным методом измерения крутизны характеристики является метод измерения переменной составляющей тока анода с применением электронного стабилизатора в цепи анода.

Рассмотрим одну из типовых электрических схем электронного стабилизатора (рис. 20), применяемого в установках для испытания электронных ламп, в частности для измерения крутизны характеристики. Аналогичные схемы используют для подачи напряжения на

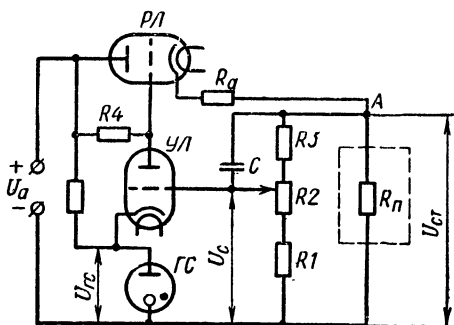


Рис. 20. Электрическая схема электронного стабилизатора

электроды при измерении других статических параметров, чтобы исключить необходимость частых регулировок подаваемых напряжений и неточности самого измерения.

Основными элементами схемы являются: *РЛ* — регулирующая лампа, служащая в схеме переменным сопротивлением, включенным последовательно с потребителем (его внутреннее сопротивление  $R_n$ ); *УЛ* — лампа-усилитель тока; *ГС* — стабилизатор опорного напряжения на катоде лампы *УЛ*; *R1*, *R2* и *R3* — делитель напряжения.

При изменении напряжения в точке *А* изменяется напряжение в точке *С* и, следовательно, напряжение на управляющей сетке лампы *УЛ*. В результате этого изменяется ток анода лампы *УЛ*, проходящий через сопротивление *R4*, что в свою очередь изменяет разность напряжений между анодом и управляющей сеткой лампы *РЛ*. Последнее приводит к изменению тока, проходящего через лампу *РЛ*, что эквивалентно изменению ее внутреннего сопротивления. Происходит перераспределение

напряжений в цепочке  $РЛ—R_a—R_n$ , восстанавливается потенциал в точке  $A$ .

Распределение токов через элементы схемы подобрано таким образом, что потенциалы управляющих сеток лампы  $УЛ$  и  $РЛ$  отрицательны относительно катодов. Напряжение  $U_c$ , снятое с делителя напряжения, образованного резисторами  $R1$ ,  $R2$  и  $R3$ , и поданное на сетку лампы  $УЛ$ , меньше опорного напряжения на аноде стабилизатора  $U_{гс}$ , и поэтому сетка лампы  $УЛ$  отрицательна по отношению к катоду. Падение напряжения на резисторе  $R4$  при протекании через него анодного тока лампы  $УЛ$  уменьшает напряжение на сетке лампы  $РЛ$  и оно становится меньше, чем напряжение на катоде, т. е. в рабочем режиме сетка лампы  $РЛ$  отрицательна по отношению катода.

Рассмотрим динамику процесса стабилизации напряжения на нагрузке  $U_{ст}$  при изменении  $R_n$ . Допустим, что сопротивление  $R_n$  уменьшилось; при отсутствии стабилизации это должно привести к падению напряжения  $U_{ст}$ .

Если вместо сопротивления  $R_n$  включить испытываемую лампу, это было бы эквивалентно подключению лампы с большим анодным током. Снижение  $U_{ст}$  приведет к уменьшению  $U_c$ , являющемуся частью  $U_{ст}$ , и уменьшению тока анода лампы  $УЛ$ . Следует учесть, что меняется только потенциал  $U_c$ , а потенциал катода  $УЛ$  не изменяется, так как он определяется напряжением на аноде стабилитрона. Уменьшение тока анода уменьшит падение напряжения на сопротивлении  $R4$ , что приведет к уменьшению напряжения смещения на сетке лампы  $РЛ$ . Ток анода лампы  $РЛ$  увеличится, а ее сопротивление уменьшится и напряжение на сопротивлении  $R_n$  возрастет, т. е. восстановится до первоначального значения.

Если вместо сопротивления  $R_n$  включить испытываемую лампу и в процессе испытания изменять ток ее анода, например изменением напряжения смещения, то потенциал анода, соединенного с точкой  $A$  электронного стабилизатора, будет оставаться постоянным (стабилизированным), несмотря на изменения тока, проходящего через лампу.

Электрическая схема крутизномера — прибора для измерения крутизны характеристики, основанного на измерении переменной составляющей тока анода со стабилизацией напряжения на аноде с помощью электронного стабилизатора, показана на рис. 21. На управляющую

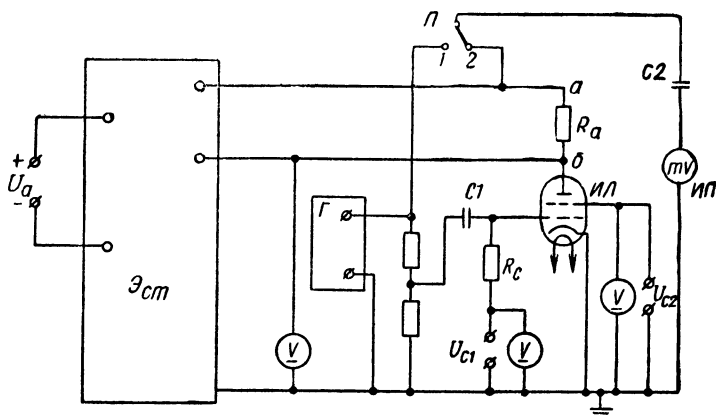


Рис. 21. Электрическая схема крутизномера:

$\mathcal{E}_{сг}$  — электронный стабилизатор анодного напряжения,  $\Gamma$  — генератор синусоидального напряжения,  $C1$  — переходной конденсатор,  $C_2$  — разделительный конденсатор,  $R_c$  — защитное сопротивление

сетку испытуемой лампы  $ИЛ$  подается переменное напряжение синусоидальной формы частотой 50—1500 Гц от генератора  $\Gamma$ . Переменную составляющую тока анода оценивают по величине переменной составляющей напряжения на резисторе  $R_a$ . Измерение можно производить подключением прибора  $ИП$  (милливольтметра с регулируемой чувствительностью) между точкой  $a$  и общей точкой схемы, так как напряжение на втором конце резистора  $R_a$  (точка  $b$ ) постоянно (оно стабилизировано)

Крутизну характеристики испытуемой лампы можно вычислить, зная величины  $R_a$ ,  $U_{Ra\sim}$  и выходного переменного напряжения генератора  $U_{c\sim}$ , подаваемого на сетку 1 лампы  $ИЛ$ . Действительно,

$$I_{a\sim} = \frac{U_{Ra\sim}}{R_a},$$

где  $I_{a\sim}$  и  $U_{Ra\sim}$  — переменные составляющие тока анода и напряжения на  $R_a$ , а крутизна

$$S = \frac{I_{a\sim}}{U_{c\sim}} = \frac{U_{Ra\sim}}{U_{c\sim} R_a}.$$

На практике милливольтметр  $ИП$  калибруют по ве-

личине  $U_{c\sim}$ , применяя резисторы  $R_a$  строго определенного сопротивления. Представим себе, что мы испытываем лампу с крутизной  $S=5$  мА/В и включили в схему резистор  $R_a=200$  Ом. В этом случае произведение  $SR_a=1$  и величины напряжений  $U_{R_a\sim}$  и  $U_{c\sim}$  будут равны.

Калибровку прибора *ИП* производят следующим способом. Переключателем *П* (положение 1) на прибор *ИП* подают выходное напряжение генератора  $U_{c\sim}$ . Показание прибора *ИП* будет соответствовать показанию, которое будет на том же приборе при измерении лампы с крутизной  $S=5$  мА/В (переключатель *П* в положении 2). Изменением величины выходного напряжения генератора  $U_{c\sim}$  можно стрелку прибора установить на калибровочную отметку прибора, например 5,0. Тогда при измерении прибор *ИП* будет показывать фактическую величину крутизны испытываемой лампы.

При последовательном измерении крутизны большого числа ламп через определенные промежутки времени необходимо проверять правильность калибровки. Если при переводе переключателя *П* в положение 1 стрелка прибора *ИП* совмещается с калибровочной отметкой, то прибор работает правильно и измерения можно продолжать, если не совмещается — регулируют крутизномер, устанавливая стрелку на калибровочную отметку. Если при промежуточном контроле калибровки обнаружена значительная расстройка крутизномера, испытания ранее проверенных ламп следует повторить.

В схему, показанную на рис. 21, можно включить вольтметр *mV*, показания которого пропорциональны квадрату эффективного значения напряжения  $U_{a\sim}$ . В этом случае с помощью крутизномера можно измерять выходную мощность  $P_{\text{вых}}$  в режиме низкочастотного усиления, т. е. мощность, выделяемую переменной составляющей тока анода в активной анодной нагрузке  $R_a$ .

При измерении  $P_{\text{вых}}$  кроме постоянных напряжений на электродах задаются величины переменного напряжения на управляющей сетке  $U_{c1}$  и сопротивления анодной нагрузки  $R_a$ . Измерение сводится к определению переменной составляющей напряжения анода  $U_a$  на нагрузке  $R_a$ , измеряемой вольтметром *mV*, и вычислению  $P_{\text{вых}}$  по формуле

$$P_{\text{вых}} = \frac{U_{a\sim}^2}{R_a}.$$

При применении вольтметра, показания которого пропорциональны квадрату напряжения, шкала прибора может быть линейно отградуирована в единицах выходной мощности (обычно в ваттах).

Измерением выходной мощности  $P_{\text{вых}}$  заменяют измерение крутизны  $S$  у ламп, предназначенных для оконечных каскадов низкочастотного усиления. (Обычно эти лампы применяют в последних каскадах усиления звуковой мощности в радиоприемниках и телевизорах).

## § 9. ИЗМЕРЕНИЕ ТОКА УПРАВЛЯЮЩЕЙ СЕТКИ ЭЛЕКТРОННЫХ ЛАМП

Как указывалось, ток управляющей сетки может иметь как прямое направление, соответствующее направлению электронного потока от катода к сетке (прямой ток сетки), так и обратное, соответствующее движению электронов от источника напряжения к поверхности сетки (обратный ток сетки). В § 2 рассмотрена природа обратного тока сетки и его составляющие, поэтому рассмотрим природу прямого тока сетки.

При небольшом положительном потенциале управляющая сетка будет перехватывать часть потока электронов, идущего от катода к аноду и другим положительным электродам, и в цепи сетки появится прямой электронный ток. Природа тока в этом случае точно та же, что и природа тока экранной сетки. Прямой ток будет и при небольших отрицательных напряжениях на управляющей сетке; его природа связана с электронами, эмиттированными катодом и имеющими начальные скорости, достаточные для преодоления тормозящего поля сетки. Часть этих электронов, преодолев торможение поля, попадает на управляющую сетку, несмотря на ее отрицательный потенциал.

Прямой ток при небольших отрицательных потенциалах сетки называют начальным. Уровень начального тока обычно характеризуется напряжением отсечки электронного тока сетки—величиной напряжения, которое необходимо приложить к сетке, чтобы ее прямой электронный ток был равен заданному значению. Электрическая схема установки для измерения напряжения отсечки электронного тока управляющей сетки показана на рис. 22. При измерении все электроды, за исключением управляющей сетки, соединяют с катодом. Измере-

ние производится в следующем порядке. Отрицательное напряжение управляющей сетки устанавливают заведомо большим, чем заданное для лампы. Изменяя это напряжение, устанавливают по микроамперметру  $\mu A$  значение

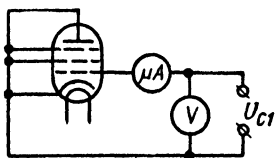


Рис. 22. Электрическая схема установки для измерения напряжения отсечки электронного тока управляющей сетки

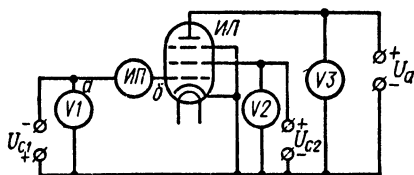


Рис. 23. Электрическая схема установки для измерения обратного тока управляющей сетки методом непосредственного отсчета

электронного тока сетки, равное величине, указанной в технических условиях. Вольтметром  $V$  измеряют величину напряжения отсечки электронного тока.

Рассмотрим основные методы измерения обратного тока управляющей сетки — методы непосредственного отсчета и компенсации.

Измерение обратного тока управляющей сетки методом непосредственного отсчета производят на установках, электрическая схема которых показана на рис. 23. Измерительный прибор  $ИП$  должен обеспечивать измерение токов величиной до  $10^{-9}$  А. Обычно это электронный измеритель тока или стрелочный прибор

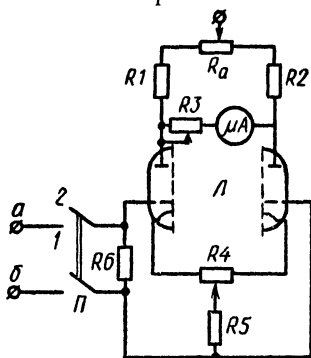


Рис. 24. Электрическая схема электронного измерителя тока

магнитоэлектрической системы.

Одна из возможных схем электронного измерителя тока изображена на рис. 24. Схема построена на двойном триоде  $Л$  с общим катодом. В точках  $a-b$  измеритель подключают к установке измерения тока управляющей



сетки (см. рис. 23) вместо прибора *ИП* так, чтобы резистор *R6* был включен последовательно с управляющей сеткой. При отключении переключателя *П* (положение 2) потенциометрами *R<sub>a</sub>* и *R4* всегда можно добиться уравнивания напряжений на анодах обоих триодов, так чтобы ток через резистор *R3* и прибор  $\mu A$  был бы равен нулю.

В рабочем положении (переключатель *П* в положении 1) на резисторе *R6* упадет напряжение на  $\Delta U_{c1} = I_{c1} R_6$ , что изменит напряжение смещения левого триода лампы *Л*. Равновесие схемы нарушится — изменится величина тока, проходящего через левый триод; напряжение на его аноде будет теперь отличаться от напряжения на аноде правого триода. Ток через резистор *R3* и прибор  $\mu A$  будет пропорционален току  $I_{c1}$  испытуемой лампы *ИЛ* (см. рис. 23). Изменением величины сопротивления резистора *R3*, включенного в качестве реостата в цепи прибора  $\mu A$ , можно изменить чувствительность электронного измерителя тока и откалибровать измеритель на отсчет истинных значений тока управляющей сетки испытуемых ламп. Резисторы *R1*, *R2* и *R5* определяют режимы работы ламп.

Для калибровки между точкой *б* и общей точкой включают эталонное сопротивление. Тогда величина тока через резистор *R6* (см. рис. 24) при определенном значении  $U_c$  будет точно известна. Регулировкой резистора *R3* устанавливают стрелку прибора  $\mu A$  на показание, соответствующее величине этого тока. После окончания калибровки прибор  $\mu A$  будет показывать истинные значения тока, протекающего через резистор *R6*.

При измерении тока управляющей сетки методом компенсации используют схему, показанную на рис. 25. Этим методом величину тока определяют косвенным способом по величине приращения  $\Delta U_c$  при отключенном резисторе *R* (переключатель *П* в положении 2), которое обеспечивает получение того же анодного тока лампы *ИЛ*, что и при включенном резисторе *R* (переключатель *П* в положении 1).

Порядок измерения этим методом следующий. В положении 2 переключателя *П* и при  $\Delta U_c = 0$  испытатель устанавливает режим измерения. Затем переключатель *П* переводят в положение 1 и фиксируют значение тока анода по миллиамперметру *мА*. Возвращают переключатель *П* в положение 2 и изменением  $\Delta U_c$  доводят

ток анода до первоначально зафиксированного (при включенном  $R$ ).

Ток сетки  $I_{c1}$  вычисляют по формуле

$$I_{c1} = \frac{\Delta U_{c1}}{R}, \text{ мкА,}$$

где  $\Delta U_{c1}$  — измеренное приращение напряжения сетки, В;  $R$  — сопротивление резистора, МОм.

Обычно шкала прибора *ИЛ* градуируется для непосредственного отсчета тока  $I_{c1}$ .

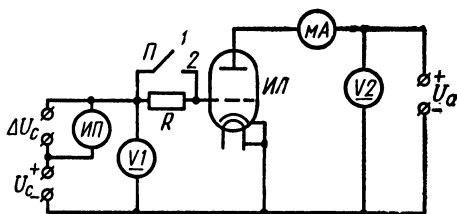


Рис. 25. Электрическая схема установки для измерения обратного тока управляющей сетки методом компенсации

В производственных условиях испытателю нередко приходится анализировать причины технологических потерь и, в частности, производить разделение тока управляющей сетки на составляющие. Разделение дает возможность определить каждую из трех составляющих тока управляющей сетки: термоэлектронную и ионную составляющие тока и ток междуэлектродной утечки.

Определение составляющих проводят при фиксированном отрицательном напряжении на сетке  $U_c$ , превышающем по абсолютной величине напряжение отсечки. Ток утечки определяется измерением тока сетки в момент, когда после выключения накала ток анода станет равным нулю. Термоэлектронную составляющую тока определяют как разность между током сетки, измеренным при таком напряжении  $U_c$ , когда ток анода равен нулю, и током утечки. Ионную составляющую определяют двумя способами. При малом значении термоэлектронного тока ионный ток сетки равен разности между измеренными значениями тока сетки и тока утечки. Если термоэлектронный ток значителен, то измеряют ток сет-

ки и разрывают цепь катода испытуемой лампы. Непосредственно после разрыва еще раз измеряют ток сетки. Разность между двумя значениями тока сетки приближенно равна значению ионной составляющей тока.

#### **§ 10. ИСПЫТАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ ЛАМП НА ОТСУТСТВИЕ ОБРЫВОВ ЭЛЕКТРОДОВ И ВНУТРИЛАМПОВЫХ ЗАМЫКАНИЙ**

Междуэлектродные расстояния приемноусилительных ламп и генераторных ламп малой мощности исчисляются десятками долями миллиметра, а в некоторых типах миниатюрных и сверхминиатюрных ламп — несколькими десятками микрон. Несмотря на все предосторожности и тщательность сборки внутриламповой арматуры на практике наблюдаются технологические потери из-за замыканий между электродами.

Природа замыканий разнообразна, основные причины их следующие. Во-первых, это простой «физический» контакт между деталями арматуры, особенно при их нагревании, во-вторых, в объеме ламп имеются проводящие частицы с линейными размерами, соизмеримыми с междуэлектродными расстояниями: металлические выплески от сварки, заусенцы, образовавшиеся на контуре деталей при их штамповке, частички пыли и ворса из окружающей атмосферы и др.

В-третьих, на поверхности изоляторов имеются проводящие мостики, образующиеся из-за напыления на них металлических пленок, особенно бария при испарении его с оксидного слоя катода или распылении газопоглотителей. Частички пыли и ворса особенно опасны после обугливания при нагреве катода.

В спокойном состоянии последствия нетщательной сборки или наличия частичек могут не проявиться, но если арматура подвергается ударам или вибрации, происходят замыкания между электродами. Особенно часто это происходит при наличии в объеме лампы свободно перемещающихся частиц, недостаточно прочном закреплении электродов в изоляторах или их недостаточной механической жесткости. При ударе или вибрации слабо связанные с деталями выплески от сварки и заусенцы отрываются и получают возможность свободно перемещаться.

Дефектом сборки арматуры может быть непрочная сварка ее деталей друг с другом, являющаяся причиной

обрывов электродов. При разрушении сварочного соединения электроды теряют необходимое соединение с наружными выводами. Токовая цепь электрода нарушается — на него нельзя будет подать электрическое напряжение. Обрыв электродов надежнее выявляется при механических воздействиях на лампу.

Чтобы не допустить отправки потребителям дефектных ламп, а также ламп потенциально ненадежных, которые окажутся неработоспособными в процессе эксплуатации, всю продукцию испытывают на отсутствие обрывов и внутриламповых замыканий между электродами\*. Испытания проводятся при подаче на лампу напряжения накала в условиях механических воздействий ударом или вибрацией (или тем и другим одновременно).

Испытания начинаются после предварительного прогрева арматуры в рабочем режиме (обычно в режиме измерения тока анода). Необходимо выявить лампы с внутриламповыми замыканиями до испытания электрических параметров, так как дефектные лампы могут вывести из строя испытательные установки.

Внутриламповые замыкания и обрывы могут быть кратковременными и постоянными, но в общем случае такие лампы должны быть признаны браком и исключены из числа отправляемых потребителям. Кратковременные замыкания, обычно вызываемые микроскопическими частицами, могут быть устранены прожогом междуэлектродных расстояний высокочастотным разрядом или приложением между электродами электрического напряжения 300—600 В от мощного источника. Частица, вызвавшая короткое замыкание, при прожого может сгореть — причина дефекта устранится и лампа может быть применена в неответственной аппаратуре. Испытатель должен четко знать, что прожог ламп можно производить только тогда, когда это допускается технологической документацией.

Рассмотрим метод испытания ламп на отсутствие замыканий и обрывов с электронной индикацией дефектов. Для испытания используются установки с ударно-вибрационным воздействием на лампу.

В момент испытания горизонтально расположенную

---

\* Генераторные лампы средней и большой мощности и другие электровакуумные приборы, у которых расстояния между электродами значительны и случаи внутриламповых замыканий редки, этим испытаниям не подвергаются.

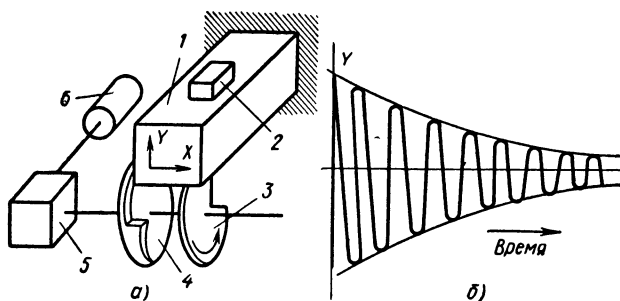


Рис. 26. Кинематическая схема установки для возбуждения ударно-вибрационных колебаний ламп (а) и график изменения размаха колебаний в направлении оси (б):

1 — упругий элемент, 2 — держатель для закрепления ламп и панель для подачи напряжений на электроды, 3 — торцовый кулачок для смещения упругого элемента в направлении оси  $Y$ , 4 — барабанный кулачок для смещения упругого элемента в направлении оси  $X$ , 5 — редуктор, 6 — электродвигатель

лампу подвергают последовательным ударам, а затем вибрации в двух взаимоперпендикулярных плоскостях — горизонтальной и вертикальной. Одно из ударно-вибрационных воздействий должно быть направлено в наиболее тяжелом для ламп направлении — перпендикулярном плоскости, проходящей через траверсы сеток. При ударе в этом направлении наиболее вероятны замыкания, связанные с кратковременным касанием витков сетки керна катода или оксидного покрытия на нем и касанием витков сеток между собой. Удары и вибрация в этом направлении с наибольшей вероятностью выявляют также частицы пыли и ворсы в междуэлектродном пространстве.

Испытуемая лампа закрепляется в специальном держателе 2 с ламповой панелью (рис. 26, а), расположенном на конце упругого элемента 1 из пружинящей стали сечением  $18 \times 18$  мм, закрепленного в основании устройства. Упругий элемент может колебаться в двух взаимоперпендикулярных плоскостях с ускорением синусоидального затухающего типа (график изменения размаха колебаний в направлении оси  $Y$  показан на рис. 26, б). Для создания удара упругий элемент отклоняется от своего среднего положения в направлении оси  $X$  или  $Y$ , а затем резко освобождается кулачком 3 или 4. Привод кулачков осуществляется от электродвигателя 6 с редуктором 5.

Благодаря автоматической схеме управления работы электродвигателем производится за один цикл заданное количество ударов в каждом направлении (обычно 8—12, из них 2—4 при проверке на отсутствие обрывов). Наибольшая величина затухающих ускорений принимается от 20 до 75 земных ускорений в зависимости от требований к лампам (одно земное ускорение обозначается  $g$  и равно  $9,81 \text{ м/с}^2$ ). Частоту затухающих колебаний выбирают от 70 до 150 Гц.

Конкретно параметры механических воздействий устанавливаются в технических условиях и зависят от конструкции лампы. Максимальные ускорения при испытании должны не превышать предельных ускорений, которые может выдержать лампа без ухудшения качества и, в первую очередь, без снижения механической устойчивости и изменения электрических параметров.

Каждая испытываемая лампа последовательно проходит два испытания: первое — на отсутствие внутриламповых замыканий, второе — на отсутствие обрывов. Наличие замыканий и обрывов фиксируется системой электронной индикации, смонтированной в отдельном блоке, по величине сопротивления между электродами в момент удара и вибрации. По своей природе всякое внутриламповое замыкание между электродами есть кратковременное или длительное уменьшение активного сопротивления между ними. Обрыв в цепи электрода, участвующего в формировании электронного потока в лампе, проявляется, наоборот, как резкое увеличение активного сопротивления в цепи электрода.

Рассмотрим работу основного измерительного блока установки — блока электронной индикации. Блок электронной индикации, применяемый в условиях массового производства приемно-усилительных ламп, определяет постоянные замыкания с сопротивлением между электродами ниже 15 МОм, временные — ниже 500 кОм с длительностью более 50 мкс. Исключение составляют замыкания катод — подогреватель; блок определяет постоянные замыкания этого промежутка при сопротивлении ниже 50 кОм. Обрывы электрода фиксируют по исчезновению в его цепи тока в течение более 1000 мкс. Из-за различия в принципах выявления дефектов само испытание проводят при подаче на электроды двух различных режимов. При испытании на отсутствие замыканий на электроды лампы подают отрицательные напряжения, а

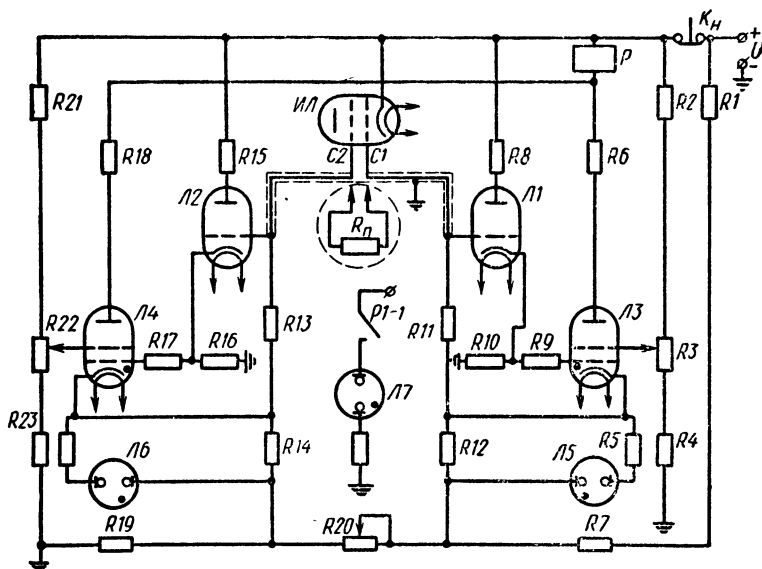


Рис. 27. Электрическая схема двух индикаторных ячеек для определения внутриламповых замыканий

при испытании на отсутствие обрывов — положительные; катод соединяют с общей точкой схемы.

Блок электронной индикации состоит из индикаторных ячеек для фиксации дефектов и определения их места, системы управления для определения вида дефекта, выпрямителей для питания электродов испытываемой лампы и ламп индикаторных ячеек.

Электрическая схема двух индикаторных ячеек, включенных для выявления замыканий между экранной и управляющей сетками тетрода, показана на рис. 27. Первую индикаторную ячейку образуют лампы Л1, Л3 и Л5, подключенные к сетке 1 испытываемой лампы ИЛ, вторую — лампы Л2, Л4 и Л6, подключенные к сетке 2 лампы ИЛ. Электроды испытываемой лампы подключены через резисторы R12, R11, R14 и R13 к делителю напряжения (входное напряжение U). Делитель образуется последовательно включенными резисторами R1, R7, R19 и реостатом регулировки чувствительности R20. Катод лампы ИЛ подключен непосредственно к выходу выпрямителя U и поэтому положителен относительно всех

других электродов. Испытуемая лампа в момент испытания на отсутствие замыканий находится в запертом состоянии. Тиратроны  $L3$  и  $L4$  вследствие выбора напряжений на управляющих и экранных сетках также находятся в запертом состоянии (при отсутствии замыканий в лампе  $ИЛ$ ). Сигнальные лампы  $L5$  и  $L6$  не горят (падение напряжения на резисторах  $R12$  и  $R14$  равно нулю).

Появление замыкания между электродами лампы  $ИЛ$  эквивалентно включению между ними переходного резистора  $R_{\text{п}}$ . Теперь по цепи последовательно включенных резисторов  $R12$ ,  $R11$ ,  $R_{\text{п}}$ ,  $R13$  и  $R14$  будет проходить ток. Потенциал катода лампы  $L3$  снизится на величину падения напряжения на резисторе  $R12$ . Если  $R_{\text{п}}$  меньше минимально допустимой величины, ток в цепи будет достаточным для снижения разности напряжения между катодом и управляющей сеткой до порога срабатывания тиратрона  $L3$  и он откроется. Анодный ток тиратрона  $L3$ , пройдя через резистор  $R12$ , зажжет сигнальную лампу  $L5$ , что будет свидетельствовать о замыкании в цепи сетки 1 лампы  $ИЛ$ .

Протекание тока в цепи через переходное сопротивление  $R_{\text{п}}$  приведет также к зажиганию тиратрона  $L4$  — ток через  $R_{\text{п}}$  вызовет падение напряжения на  $R1$  и  $R7$  и снижение напряжения на катоде тиратрона  $L4$ . Падение напряжения на катодном резисторе  $R14$  зажжет сигнальную лампу  $L6$ ; значит, замыкание в цепи сетки 2. Место дефекта установлено — сетки 1 и 2, но проявление дефекта может быть кратковременным и для его запоминания в цепь анодов тиратронов включено реле  $P$ . При его срабатывании контактом  $P1-1$  зажигается лампа запоминания дефекта  $L7$ . Система реле удерживает лампу  $L7$  в зажженном состоянии до отключения анодного напряжения тиратронов кнопкой  $K_{\text{н}}$ .

При испытании на выявление обрывов системой реле производятся переключения схемы. Катод испытуемой лампы  $ИЛ$  (рис. 28) подключается к общей точке схемы. Через резисторы  $R1$ ,  $R2$  и  $R3$  протекает эмиссионный ток. Тиратрон  $L2$  в нормальном состоянии закрыт. При обрыве электрода (например, сетки 1 лампы  $ИЛ$ ) эмиссионный ток исчезает; вследствие перераспределения напряжений на резисторах тиратрон  $L2$  открывается и загорается сигнальная лампа  $L3$ . Реле  $P$  в цепи анода тиратрона выполняет ту же роль, что и в предыдущем



случае, только теперь загорается лампа запоминания обрывов  $Л4$  (срабатывает контакт реле  $P1-2$ ).

Для устойчивой работы схемы в индикаторных ячейках имеются триоды  $Л1$  и  $Л2$ , которые усиливают действие тока, протекающе-

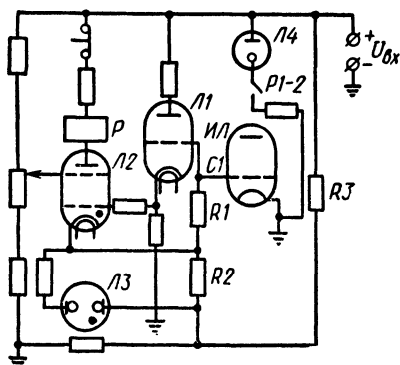


Рис. 28. Электрическая схема индикаторной ячейки для определения обрывов электродов

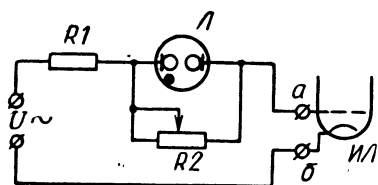


Рис. 29. Электрическая схема индикаторной ячейки для испытания ламп на отсутствие замыканий и обрывов с использованием источника переменного напряжения

го по переходному сопротивлению  $R_{п}$ . Лампа  $Л1$  усиливает сигнал исчезновения эмиссионного тока при обрыве электрода.

Схема с электронной индикацией разрешает испытывать лампы на отсутствие постоянных и временных замыканий и обрывов с запоминанием характера дефекта и места возникновения, но требует очень точной настройки чувствительности индикаторных ячеек.

Для выявления замыканий и обрывов применяют также индикацию при переменных напряжениях на электродах (принципиальная электрическая схема установки показана на рис. 29). К контактам  $a$  и  $б$  подклю-

чают электроды испытуемой лампы  $ИЛ$ . В случае отсутствия замыканий и обрывов (испытуемая лампа годная) по цепи проходит ток вследствие движения электронов, эмиттированных катодом испытуемой лампы. Лампа работает как диод, т. е. проводит ток только в течение положительного полупериода. В этот полупериод напряжение  $U_{\sim}$  делится между неоновой и испытуемой лампами. Падения напряжения на неоновой лампе достаточно, чтобы вызвать свечение газовой плазмы около одного из ее электродов.

При включении испытуемой лампы с обрывом одного из электродов свечения не будет. Если включена лампа с замыканием между электродами (эквивалентно замыканию контактов *a* и *b* между собой) к неоновой лампе *Л* и резистору *R1* оказывается приложенным все напряжение  $U_{\sim}$ , а так как сама неоновая лампа проводит ток в оба полупериода (положительный и отрицательный), то наблюдается свечение газовой плазмы около обеих ее электродов.

К величине напряжения  $U_{\sim}$  предъявляют некоторые ограничения: его амплитуда при подключении сеток, имеющих в рабочем режиме относительно катода отрицательный или нулевой потенциал, не должна превышать 220 В, а для электродов с положительным потенциалом — трехкратного напряжения при испытании электрических параметров; минимальное напряжение должно быть выше напряжения зажигания неоновой лампы. Резистор *R2* предназначен для регулировки чувствительности схемы индикатора, а резистор *R1* — для ограничения тока через неоновую лампу.

При описанном методе испытания ударное воздействие оказывают вручную двухрожковым молоточком с ограничением размаха. Бойки молоточка изготавливают из вакуумной резины, а рукоятку — из оргстекла.

## § 11. ИСПЫТАНИЕ КИНЕСКОПОВ

Рассмотрим испытание кинескопов, являющихся наиболее распространенными электроннолучевыми трубками. Испытание кинескопов можно разбить на две группы.

Первая группа испытаний — измерение электрических параметров: тока накала, тока утечки катод — подогреватель, токов утечки в цепи электродов (модулятора, анодов), напряжения запирающего и др. Эти испытания проводят на электрических установках, схемы которых подобны схемам измерения аналогичных параметров электронных ламп. Порядок проведения измерений также совпадает с испытаниями электронных ламп.

Вторая группа испытаний связана с оценкой изображения, получаемого на экране кинескопа, а также с измерением параметров, характеризующих способность электронно-оптической системы управлять электронным лучом. Важнейшими такими параметрами являются: яркость и однородность свечения экрана, запирающее

напряжение модулятора, модуляция, фокусирующее напряжение и разрешающая способность.

Рассмотрим методы определения этих параметров.

Яркость свечения экрана\* определяют, устанавливая кинескоп на специальные испытательные установки, которые имеют в своем составе генераторы строчной и кадровой развертки. На электроды кинескопа подают рабочие напряжения. На экране возникает светящийся растр определенного размера. Изменением напряжения на модуляторе устанавливают заданный ток анода (ток луча), а фотометром измеряют яркость свечения, которая должна быть не меньше заданной.

Яркость измеряют в канделах на  $\text{м}^2$ \*\*. Одновременно при этом же токе луча определяют однородность свечения экрана по всей его площади и сравнивают ее со свечением эталонных кинескопов.

Запирающим напряжением называют такое напряжение модулятора, при котором свечение экрана прекращается и ток луча составляет определенную величину (обычно  $1\text{мкА}$ ). Измерение проводят на тех установках, что и измерение яркости; при измерении меняют напряжение на модуляторе до получения тока анода заданной величины. Запирающее напряжение (отрицательное) у годных кинескопов должно быть в пределах нормы, ограниченной максимальными и минимальными величинами.

Модуляция измеряется разностью напряжений на модуляторе в двух режимах работы кинескопа: при токе луча в режиме измерения запирающего напряжения; при рабочем токе луча, соответствующем режиму измерения яркости свечения экрана.

Величину модуляции измеряют непосредственно после измерения запирающего напряжения: для этого регулируют напряжение модулятора, устанавливая определенное значение тока луча. Разность между установленным и запирающим напряжениями есть величина модуляции.

В качестве примера рассмотрим последовательность

---

\* Яркость свечения экрана электроннолучевой трубки — это сила света, излучаемого  $1\text{ м}^2$  экрана в направлении, перпендикулярном к его поверхности.

\*\* Кандела (кд) — единица силы света в системе СИ. В ранее применяемых системах единиц сила света измерялась в свечах,  $1\text{ св} = 1\text{ кд}$ .

заводских испытаний параметров кинескопа 61ЛК1Б, предназначенного для телевизоров с черно-белым изображением. Кинескоп устанавливают в испытательную установку и после прогрева катода в течение определенного времени измеряют ток накала при напряжении накала 6,3 В и ток утечки катод—подогреватель (при напряжении подогревателя — 300 В относительно катода). Затем включают генераторы строчной и кадровой развертки и на электроды кинескопа подают напряжения следующих величин: напряжение на модулятор — 100 В; напряжение на ускоряющий электрод 400 В; напряжение на фокусирующий электрод от 0 до 400 В; напряжение на анод 18 кВ. После подачи всех напряжений измеряют токи утечки в цепи модулятора и в цепи анода (они должны быть соответственно меньше 5 и 10 мкА).

Измерив токи утечки, определяют запирающее напряжение. Регулируют напряжение до величины, при которой ток анода будет 1 мкА. Это напряжение на модуляторе и есть величина запирающего напряжения (для кинескопа 61ЛК1Б она должна находиться в пределах от —77 В до —40 В). После этого величину напряжения на модуляторе продолжают снижать до установления предельно допустимого тока анода, равного 350 мкА. Разность между напряжением на модуляторе при токе луча 350 мА и запирающим напряжением определяет величину модуляции (она в нашем случае должна быть не более 44 В).

При предельно допустимом токе луча (350 мкА) регулировкой напряжения на фокусирующем электроде устанавливают определенный размер **растра** (для 61ЛК1Б—375×481 мм); величина фокусирующего напряжения должна быть в

пределах норм технических условий (для 61ЛК1Б — от 0 до 400 В). После измерения фокусирующего напряжения контролируют качество свечения экрана, т. е. отсутствие затемнений в углах раstra; однородность свечения по всему экрану (сравнивают с образцовым кинескопом-

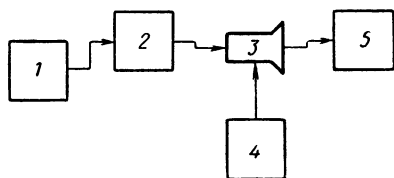


Рис. 30. Блок-схема установки для оценки разрешающей способности кинескопов:

1 — датчик сигнала изображения (таблицы 0249), 2 — видеоусилитель, 3 — кинескоп, 4 — генератор разверток, 5 — место контроля раstra

эталон); яркость свечения экрана (для 61ЛК1Б она должна быть не ниже  $150 \text{ кд/м}^2$ ).

Некоторые типы кинескопов при заводских испытаниях проверяют на разрешающую способность (сплошной контроль). Для испытания используют установку, блок-схема которой изображена на рис. 30. Генератор разверток 4 и датчик сигнала изображения 1 обеспечивают высвечивание на экране кинескопа испытательной таблицы 0249, знакомой нам по телепередачам для настройки телевизоров. При токе анода, равном половине предельно допустимого (для 61ЛК1Б —  $175 \text{ мкА}$ ), в центре экрана при визуальной проверке испытатель должен четко различать 600 линий, по его углам — не менее 550.

## § 12. ИСПЫТАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ И КЛИМАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫХ ПРИБОРОВ

К этой группе испытаний относят испытания, связанные с проверкой устойчивости работы приборов в условиях воздействия на них вибрационных и ударных нагрузок, а также различных климатических факторов (температуры и влажности).

Электроды электронных ламп (катоды, сетки, аноды и др.) закреплены в слюдяных или керамических изоляторах и всегда имеют возможность немного перемещаться. Траверсы витых сеток и стержни цилиндрических сеток, тонкостенные трубчатые катоды при вибрационных воздействиях сами немного вибрируют. Все эти перемещения электродов друг относительно друга и их собственная вибрация изменяют междуэлектродные расстояния, что является причиной изменения токов анода и экранной сетки. Перемещения с изменением междуэлектродных расстояний характерны также для электродов, закрепленных непосредственно на выводах, впаянных в стекло или керамику.

Если на электроды лампы подать постоянные напряжения (за исключением напряжения накала) и поместить ее на платформу работающего вибрационного стенда, то токи анода и сеток будут содержать две составляющие: постоянную, соответствующую статическому режиму, и переменную, величина которой определяется механической прочностью конструкции, частотой и амплитудой вибрации.

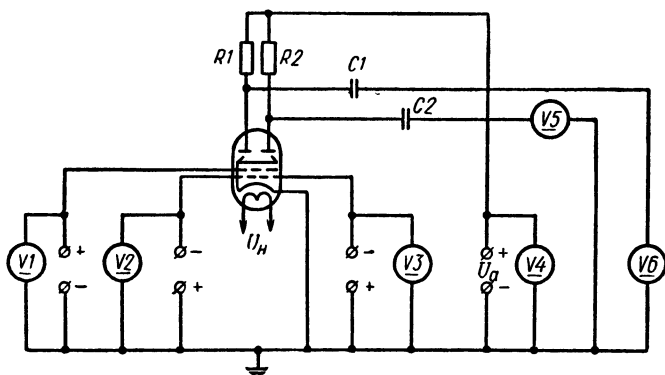


Рис. 31. Электрическая схема установки для испытаний  
ламп на виброустойчивость

литудой вибрации. Переменная составляющая тока анода называется виброшумами лампы, а испытание механической прочности конструкции с отбраковкой ламп по уровню виброшумов называется испытанием на виброустойчивость. Оно может проводиться на одной фиксированной частоте вибрации или при плавном изменении ее в некотором диапазоне. В зависимости от этого различают испытание на виброустойчивость при фиксированной частоте и испытание на виброустойчивость в диапазоне частот.

Электрическая схема установки для испытания ламп на виброустойчивость показана на рис. 31 (испытание двойного лучевого тетрода). Величина виброшумов определяется по величине переменного напряжения на резисторах  $R1$  и  $R2$ , сопротивление которых задается в технических условиях. Возникшее при вибрации переменное напряжение на резисторах  $R1$  и  $R2$ , равное произведению переменных составляющих анодных токов  $I_{a1\sim}$  и  $I_{a2\sim}$  на величины сопротивлений, через разделительные конденсаторы  $C1$  и  $C2$  подается на вход измерительных приборов  $V5$  и  $V6$ . Для измерения используют электронные вольтметры или осциллографы. Первые разрешают измерять эффективную величину напряжения виброшумов, вторые — амплитуду напряжений. Обычно механическая прочность конструкции ламп при испытании на виброустойчивость оценивается по эффективному значению виброшумов. В технических требованиях установле-

но его максимально допустимое значение. У специальных ламп, кроме того, проверяют максимально допустимую амплитуду напряжения виброшумов. В этом случае применяют одновременно два прибора — вольтметр и осциллограф.

Лампы признают годными по виброустойчивости, если они обладают напряжением виброшумов, меньшим максимально допустимой нормы.

При испытаниях особо оговаривают режим вибрации, который задается двумя величинами: частотой и амплитудой вибрации или частотой и максимальным ускорением, которое воздействует на арматуру лампы в процессе испытания. Если, например, мы говорим, что вибрация проводится с ускорением при испытании  $5g$ , то это означает, что максимальное ускорение равно  $49,05 \text{ м/с}^2$ .

Величина ускорения  $a$  в единицах  $g$  может быть определена по формуле

$$a = 0,002 f^2 A,$$

где  $f$  — частота синусоидальных колебаний рабочего стола вибростенда, Гц;  $A$  — размах колебаний (двойная амплитуда), мм.

При размахе колебаний  $A=2 \text{ мм}$  и частоте  $f=50 \text{ Гц}$  (частота промышленной сети) лампа, установленная на вибростенде, испытывает максимальные ускорения  $10g=98,1 \text{ м/с}^2$ . Приведенная зависимость справедлива для синусоидальных перемещений рабочего стола вибростенда, т. е. для таких перемещений, при которых смещение стола  $X$  относительно своего среднего положения  $X_0$  подчиняется закону синуса:

$$X - X_0 = \frac{A}{2} \sin 2\pi ft,$$

а максимальное ускорение  $a$  определяется по формуле

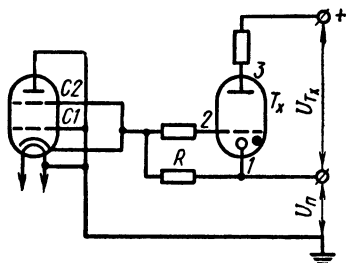
$$a = \frac{A}{2} (2\pi f)^2.$$

При испытании на виброустойчивость в диапазоне частот выявляются элементы конструкции, у которых при определенных частотах вибрации наступает резкое возрастание собственных колебаний (резонанс), вызывающее резкое возрастание напряжения виброшумов.

Чтобы гарантировать надежную работу ламп в условиях вибрации, некоторые типы ламп в процессе произ-

водства подвергают испытаниям на вибропрочность в нескольких положениях общей продолжительностью 10—30 мин (испытание на виброустойчивость длится 1—3 мин). Метод испытания по механическим воздействиям аналогичен испытанию на виброустойчивость, но критерием оценки годности ламп является отсутствие коротких замыканий при вибрации. Для фиксации коротких замыканий применяют специальные тиратронные ячейки запоминания. Одна из возможных электрических схем такой ячейки показана на рис. 32. При испытаниях

Рис. 32. Электрическая схема тиратронной ячейки для запоминания внутриламповых замыканий при испытаниях на вибропрочность



электроды лампы соединяют друг с другом через один, образуя две электрически связанные группы: к положительному полюсу выпрямителя  $U_{\text{п}}$  подключают катод и сетку  $C2$ , к отрицательному — подогреватель, сетку  $C1$  и анод. При коротком замыкании между двумя электродами разных групп через резистор  $R$  проходит ток короткого замыкания и вследствие падения напряжения на резисторе, равного  $U_{\text{п}}$ , зажигается разряд между катодом  $1$  и электродом  $2$  тиратрона с холодным катодом  $T_{\text{х}}$ . Этот разряд зажигает также плазму в промежутке между анодом  $3$  и катодом  $1$ ; горение плазмы длительно поддерживается напряжением  $U_{\text{тх}}$ .

Горение электродного промежутка  $1—3$  тиратрона является признаком короткого замыкания, даже если оно было кратковременным.

Некоторые серии ламп проверяют на механическую устойчивость при многократных ударных воздействиях. Лампы устанавливают на стенды, создающие удары с ускорением до 150 g. При таких испытаниях (количество ударов обычно 4000) у годных ламп не должно наблюдаться коротких замыканий и обрывов электродов, а после испытания важнейшие электрические параметры ламп должны быть в пределах норм технических усло-



вий. Фиксация коротких замыканий и обрывов в процессе испытания производится системой реле или по свечению неоновой лампы, включенной в цепь анода. Многократные удары являются ресурсными испытаниями, так как они ослабляют механическую прочность конструкции ламп, и поэтому проводятся периодически на небольших партиях случайно отобранных ламп из текущей продукции. Отсутствие отказов ламп, подвергнутых испытанию, является признаком годности всей продукции.

К испытаниям механической прочности конструкции относят периодически проводимые испытания на жесткость выводов и прочность спаев стекла с металлом. При этих испытаниях к выводам ламп прикладывают определенные нагрузки в направлении, перпендикулярном оси выводов. Нагрузки прикладывают на определенном расстоянии от места впая выводов в стекло (или керамику). После испытания на жесткость вывод не должен изгибаться, а ножки ламп должны свободно входить в калибр для проверки присоединительных размеров. При испытании миниатюрных приемноусилительных ламп нагрузка 4,9 Н\* прикладывается к выводам на расстоянии 4,5 мм от места впая их в стекло ножки.

При испытании прочности спая нагрузка увеличивается (для миниатюрных ламп 14,7 Н); допускается изгиб выводов, но вакуумная плотность спаев не должна нарушаться. Проверку ведут по величине обратного тока сетки 1, которая через 24 ч после испытания должна быть в пределах норм технических условий.

Климатическую устойчивость ламп проверяют воздействием резких изменений температуры окружающей среды и повышенной влажности. Обычно лампы поочередно выдерживают по два часа в камере холода при  $-60^{\circ}\text{C}$  и камере тепла при  $60^{\circ}\text{C}$ . Переносят лампы из одной камеры в другую за строго регламентированное время.

Устойчивость внешней оболочки ламп к воздействию повышенной влажности проверяют, выдерживая лампы в камере с влажностью 95—98% при температуре  $40^{\circ}\text{C}$ .

Лампы со стеклянной оболочкой проходят проверку на термическую устойчивость стекла и спаев методом

---

\* Ньютон (Н) — единица силы в системе СИ. В системе МкГГС сила выражалась в кгс.  $1\text{Н} \approx 0,102 \text{ кгс}$ .

термоудара. Для этого лампы погружают на 10—15 с в воду, нагретую до 85°C, а затем быстро, за 5—10 с, переносят в холодную воду с температурой 15—20°C. Как правило, все испытания на климатическую устойчивость проводятся периодически на небольших выборках ламп. Критерием годности ламп является сохранение параметров в пределах норм технических условий. Исключение составляет проверка термоустойчивости ламп методом термоудара: для некоторых типов ламп эта проверка является сплошным (сто процентным) испытанием.

### § 13. ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ

При работе на испытательном оборудовании испытатель должен выполнять правила техники безопасности и помнить, что отступление от предписанных правил может поставить под угрозу его собственную жизнь и жизнь рядом работающих товарищей.

#### **Перед началом работы испытатель обязан:**

1. Внимательно осмотреть установку, убедиться в исправности ограждений и заземлений. Все винты обшивки установки должны быть укреплены, двери закрыты, заземляющая шина и провод прочно прикреплены к корпусу установки.

Все ручки регуляторов напряжения, выключатели, кнопки, наружная арматура сигнальных и осветительных ламп должны быть в полной исправности и не иметь повреждений изоляции.

Перед началом работы все выключатели должны находиться в положении «Отключено», а регуляторы напряжения — в положении, соответствующем минимальному напряжению.

На установках, где испытываемая лампа помещается во внутренние камеры, должна быть проверена блокировка, отключающая напряжение при открывании дверей камеры. Ножи блокировки должны иметь чистую контактную поверхность.

Ручные или механические разрядники должны быть исправны. Рукоятки ручных разрядников должны быть чистыми и не иметь трещин; гибкий провод, соединяющий разрядник с корпусом установки, должен быть прочно присоединен к корпусу и не иметь обрывов. Механический разрядник при открывании двери должен свободно падать и заземлять токоведущую часть.

2. Проверить работу блокировки камеры испытуемых ламп. После включения всех источников напряжения испытатель открывает дверь камеры и убеждается, что все стрелки вольтметров стоят на нуле (за исключением вольтметра накала).

Испытатель должен сообщить мастеру об обнаруженных неисправностях и не приступать к работе до устранения их.

**Во время работы испытатель обязан:**

1. Перед открыванием дверей камеры для установки испытуемых ламп выключать все напряжения в порядке, предусмотренном технологической инструкцией.

2. На установках, снабженных ручным разрядником, после отключения напряжения касаться разрядником не менее трех раз токоведущих частей перед каждым съемом ламп. Это необходимо для снятия остаточных зарядов.

3. При загорании, несчастном случае, пробое в установке или в других случаях, требующих немедленного снятия напряжения, отключение установки производить общим выключателем.

Тушить пожар в установке можно только сухим песком или углекислотным огнетушителем.

**Во время работы запрещается:**

допускать к работе на установке посторонних лиц без разрешения мастера участка;

самостоятельно производить какой-либо ремонт установки как с проникновением внутрь нее, так и без проникновения;

закорачивать блокировку и пользоваться блокировкой как выключателем;

оставлять включенную установку без надзора.

В случае получения травмы испытатель должен немедленно лично или через товарищей по работе сообщить об этом мастеру и получить медицинскую помощь в медпункте, а на рабочем месте сохранить по возможности обстановку такой, какой она была в момент получения травмы.

**По окончании работы испытатель обязан:**

1. Все регуляторы напряжения вывести в положения, соответствующие нулевому показанию приборов.

2. Отключить установку общим электровыключателем на установке.

3. Привести в порядок рабочее место.

## **Контрольные вопросы**

1. Какие режимы испытания электровакуумных приборов вы знаете?
2. Перечислите правила, которые необходимо выполнять при испытании электронных ламп.
3. На каких установках измеряют ток и напряжение накала электровакуумных приборов?
4. Какие методы измерения крутизны характеристики электронных ламп вы знаете?
5. Расскажите о методах определения параметров кинескопов,

## ЛИТЕРАТУРА

- Жеребцов И. П. Основы электроники. М., «Энергия», 1966.
- Иориш А. Е., Кацман Я. А., Птицын С. В. Основы технологии производства электровакуумных приборов. М.—Л., «Энергия», 1971.
- Кацнельсон Б. В., Ларионов А. Е., Калугин А. М. Электровакуумные электронные и ионные приборы. Книга первая. М., «Энергия», 1970.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	<i>Стр.</i>
Введение . . . . .	3
Г л а в а I. Основные характеристики электровакуумных при- боров . . . . .	4
§ 1. Диоды . . . . .	5
§ 2. Триоды . . . . .	9
§ 3. Многосеточные лампы . . . . .	14
§ 4. Электроннолучевые приборы . . . . .	20
Г л а в а II. Испытание основных электрических параметров электровакуумных приборов . . . . .	24
§ 5. Испытание электровакуумных приборов . . . . .	24
§ 6. Измерение тока и напряжения накала . . . . .	28
§ 7. Измерение токов анода и сеток, имеющих положи- тельный потенциал относительно катода . . . . .	30
§ 8. Измерение крутизны характеристики и выходной мощности электронных ламп . . . . .	33
§ 9. Измерение тока управляющей сетки электронных ламп . . . . .	38
§ 10. Испытание электронных ламп на отсутствие об- рывов электродов и внутриламповых замыканий . . . . .	42
§ 11. Испытание кинескопов . . . . .	49
§ 12. Испытание механической прочности конструкции и климатической устойчивости электровакуумных приборов . . . . .	52
§ 13. Правила техники безопасности при испытаниях . . . . .	57
Литература . . . . .	60

Иосиф Яковлевич Каменецкий,  
Герман Михайлович Санчурский

# ИСПЫТАНИЕ ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫХ ПРИБОРОВ

И. Б. № 811

Редактор Кобринская М. В.  
Художник Панферов В. Н.  
Художественный редактор Скворцова Т. М.  
Технический редактор Нестерова А. К.  
Корректор Малиновская М. М.

---

Т-03028 Сдано в набор 20/VII-76 г. Подп. к печати 21/I-77 г.  
Формат 84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>. Бум тип. № 3. Объем 2 печ. л. Усл. п. л. 3,36  
Уч.-изд. л. 3,17 Изд. № ЭГ-263 Тираж 10 000 экз. Зак. 1108  
Цена 7 коп.

План выпуска литературы для профтехобразования издательства  
«Высшая школа» на 1977 г. Позиция 56.

Издательство «Высшая школа»  
Москва, К-51, Неглинная ул., д. 29/14,

---

Московская типография № 32 Союзполиграфпрома при  
Государственном комитете Совета Министров СССР по делам  
издательств, полиграфии и книжной торговли.  
Москва, К-51, Цветной бульвар, д. 26.

**ИЗДАТЕЛЬСТВО**  
**«Высшая школа»**  
**выпустит в свет в 1977 г.**  
**для учащихся**  
**профессионально-технических училищ**  
**и для подготовки рабочих на производстве**  
**следующие учебные пособия и учебник:**

**Закиров Ф. Г., Николаев Е. А. Откачник-вакуумщик. Учебное пособие. Изд. 2-е, перераб. и доп. 14 л. с ил., 57 к.**

В книге рассмотрены основные элементы вакуумных систем, включая средства откачки и контрольно-термическое оборудование. Дано описание различных видов вакуумно-термического оборудования и приемов его обслуживания, объяснена сущность технологических процессов откачки приборов и термической обработки стекла.

Во втором издании (1-е — в 1973 г.) книги переработан материал, относящийся к контрольно-измерительным приборам, к устройству вакуумных насосов и систем, к технологическому процессу откачки электровакуумных приборов.

Книга предназначена в качестве учебного пособия для технических училищ.

**Карпихин В. В. Производство радиоконденсаторов постоянной емкости. Учебник. Изд. 3-е, перераб. и доп. 10 л. с ил., 48 к.**

В книге приведены общие сведения по технологии изготовления радиоконденсаторов постоянной емкости, даны их характеристики и конструктивные особенности. Рассмотрено оборудование и описаны материалы, необходимые для производства радиоконденсаторов.

Третье издание (2-е — в 1971 г.) переработано с учетом последних достижений в области радиоконденсаторостроения и дополнено сведениями о новых технологических агрегатах и приборах измерения и контроля.

Книга предназначена в качестве учебника для индивидуальной и бригадной подготовки рабочих радиоконденсаторного производства.



**Павлов М. С. Организация рабочих мест сборщиков и монтажников радиоаппаратуры.** Учебное пособие. Изд. 3-е, перераб. и доп. 3 л. с ил., 12 к.

В брошюре освещены вопросы организации и обслуживания рабочих мест сборщиков и монтажников радиоаппаратуры. Даны рекомендации по внедрению научной организации труда на рабочих местах и оснащению их современными средствами оргтехники.

В третьем издании (2-е — в 1973 г.) нашли отражение изменения в организации и обслуживании рабочих мест, которые проведены на основе совершенствования технологических процессов производства радиоаппаратуры на базе миниатюризации и микроминиатюризации радиоэлектронных устройств.

Брошюра предназначена в качестве учебного пособия для профессионально-технических учебных заведений.

**Уважаемые читатели!**

Издательство «Высшая школа» выпускает для вас учебники, учебные и методические пособия, плакаты. Подробнее познакомиться с учебной литературой вам поможет аннотированный план на 1977 г. (профтехобразование), который имеется в книжных магазинах. Предварительные заказы на книги можно сделать в магазинах Книготорга или потребительской кооперации.

**7 коп.**