

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ**  
**ДОНЕЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Стефаненко П.В.

## **ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫЕ ПРИБОРЫ**

*Рекомендовано Министерством образования и науки Украины в  
качестве учебного пособия для студентов специальности  
«Радиотехника» и курсантов высших военных учебных  
заведений*

Донецк, ДонГТУ 2000

С 79 Стефаненко П.В. Электровакуумные приборы. Учебное пособие. — Донецк: ДонГТУ, 2000. — 73 с.

**Рецензенты:**

Н.И.Дворак  
канд.техн.наук, доцент кафедры  
Электрооборудования и автоматики  
Керченского МТИ

В.В.Колодажный  
канд.техн.наук, доцент кафедры  
Электрооборудования и автоматики  
Керченского МТИ

Рассматриваются физические процессы, происходящие в различных электровакуумных приборах, используемых в данное время в военной технике связи. Предназначено для самостоятельной работы студентов и курсантов высших учебных заведений.

ISBN 966-7559-30-0

© ДонГТУ, 2000

## ВВЕДЕНИЕ.

В настоящее время важна роль отводится перевооружению и повышению эффективности работы всех отраслей производственной инфраструктуры, к которым относятся системы связи информационного обеспечения народного хозяйства.

В настоящий рост ставится задача перевода экономики на интенсивный путь развития, кардинального повышения производительности труда на базе достижений научно-технического прогресса.

Выполнение намеченных планов немыслимо без ускорения научно-технического прогресса и, прежде всего, широкого внедрения электроники и вычислительной техники.

Ныне основной современной техники связи все больше становится повсеместное использование интегральных схем, полупроводниковых приборов, которые являются базой электронной техники.

Электровакуумные приборы являются одним из основных элементов радиоэлектроники, составляющих основу военных систем связи. Для современного этапа развития электроники характерно широкое внедрение технологий, позволяющей решить задачи микроминиатюризации радиотехнической аппаратуры. Миниатюризация электронных ламп и деталей, улучшение их характеристик, использование объемного монтажа существенно повысили качественные и объемно-весовые показатели радиоэлектронного оборудования, расширили его функциональные возможности.

Наиболее интенсивное развитие микроэлектроники связано с успехами физики полупроводников. Интегральные схемы позволяют достичь высокой плотности упаковки, что открывает большие перспективы в совершенствовании радиоэлектронного оборудования, повышения его надежности.

Однако, удельный вес электронных ламп в аппаратуре еще достаточно велик. Это связано с тем, что по ряду качественных показателей лампы превосходят

полупроводниковые приборы. Поэтому, одновременно с развитием микроэлектроники в последние годы продолжается развитие и совершенствование электровакuumных приборов—мощных генераторных ламп, газоразрядных приборов, электронно-лучевых трубок, приборов СВЧ.

За последнее десятилетие роль электроники в военном деле и народном хозяйстве еще более возросла. Благодаря электронике создана техника управления, АСУ, ЭВМ, развертывается современная научно-техническая революция.

## **ДВУХЭЛЕКТРОДНАЯ ЛАМПА**

### П 1-1. Общие сведения об электронно-лучевой лампе

Электровакuumные приборы представляют собой устройства, функционирующие на основе явлений, возникающих при движении электронов в вакууме. Такие приборы называются электронными. К ним относятся электронные лампы, широко применяющиеся в радиотехнике для усиления и генерирования колебаний, а также электронно-лучевые трубки, используемые в телевидении, радиолокации и измерительной технике для получения световых изображений и для их запоминания.

Электронная лампа представляет собой вакуумный прибор, состоящий из баллона с размещенным внутри электродами: катодом, анодом, сетками.

Катод располагается обычно в центральной части баллона. Одна, или несколько сеток, выполненных в виде спиралей окружают катод. Анод имеет вид цилиндра, охватывающего сетки. Электроды отделены друг от друга некоторыми промежутками и имеют выводы и штырьки, смонтированные в цоколь лампы, или другое контактное устройство.

Схема соединений электродов со штырьками называется цоколевкой. На рис. 1 показано схематическое изображение лампы и цоколевка.

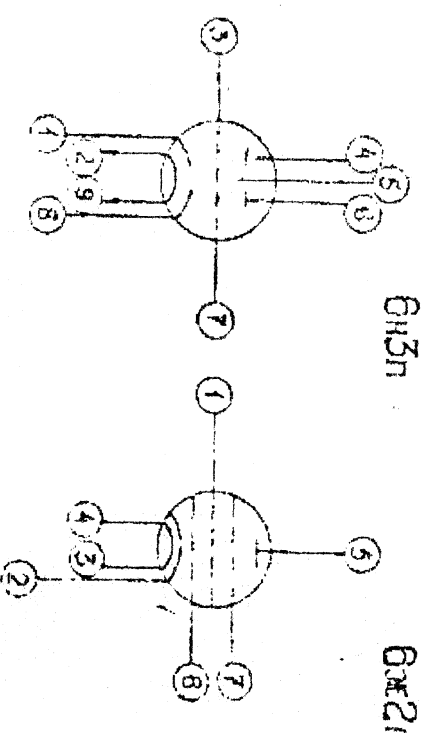


Рис. 1

В зависимости от материала баллоны бывают:

- стеклянные;
- металлокерамические;
- металлостеклянные;
- металлические;
- керамические.

Внутри баллона создается вакуум порядка  $10^{-5}$ – $10^{-9}$  м. ртутного столба. При этом электроны не испытывают столкновений с частями газа, наполняющего прибор и его свойства определяются взаимодействием электронного потока с электрическим полем электродов.

Нижняя часть баллона может заканчиваться ноксом, обеспечивающим включение лампы в аппаратуру с помощью специальной панели.

В некоторых лампах нокс, отсутствует, а в панельку лампа устанавливается непосредственно выходящими из баллона жесткими штырьками. Иногда выводы делают гибкими и тогда они встраиваются в стену или зажимаются.

Катодом называется электрод лампы, служащий для излучения электронов за счет электронной эмиссии. Сетки – это электроды, служащие для управления величиной тока, проходящего от катода к аноду. Анодом называется электрод, служащий для сбора электронов, излучаемых катодом.

В электронных лампах используются потоки свободных электронов в вакууме, которые получают за счет эмиссии. Электронной эмиссией называется явление выделения свободных электронов с поверхности тех или иных веществ.

Испускание электронов под влиянием тепла называется термоэлектронной эмиссией.

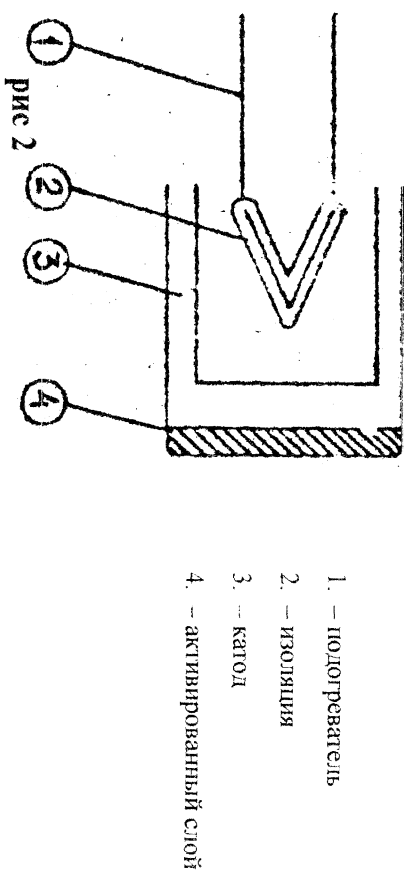
Работа электронных ламп основана на использовании термоэлектронной эмиссии, возникающей за счет накаливания катода. Основным электродом, определяющим долговечность лампы и ее эмиссионные свойства является катод.

По способу накаливания катоды подразделяются на промюканальные и подотревные.

Промюканальные катоды в простейшем случае – это металлическая нить (применяется вольфрам с температурой плавления  $3400^{\circ}\text{C}$ ), закрепленная концами в держателях, по которым подводится ток накала.

Вследствие малой тепловой инерции промюканальные катоды испускают натрив лишь постоянным током. При питании переменным током температура катода меняется, что вызывает пульсацию тока эмиссии.

Подотревные катоды состоят из самого катода, испускающего электроны и подотревателя (рис. 2). Разогрев эммитирующей поверхности осуществляется вольфрамовым подотревателем, который изолирован от катода слоем изоляции.



Особенностью подотревных катодов является большая тепловая инерция, что позволяет использовать для их накала переменный ток.

В зависимости от вида эммитирующей поверхности различают простые катоды (из чистого металла) и активированные. Простые катоды обладают постоянством эмиссии, но неэкономичны, т.е. их нужно накаливать до высокой температуры, на что затрачивается много энергии. Гораздо экономичнее активированные катоды из вольфрама или другого металла или оксидов, обладающих способностью хорошо выделять электроны при сравнительно низких температурах.

Большинство современных ламп имеет активированные катоды, и только некоторые мощные электронные лампы изготавливаются чисто вольфрамовым катодом.

Ценным качеством вольфрамового катода является постоянство эмиссии и нечувствительность к перекалу. После временного перекала эмиссия катода не уменьшается. У активированных катодов эмиссия не так постоянна, после перекала она легко теряется, и восстановить ее не удается. Это объясняется испарением активного слоя при перекале.

Для характеристики основных свойств катода пользуются параметрами, основанными из которых являются:

1. Удельная эмиссия катода—это величина тока эмиссии, исходящей на  $1 \text{ см}^2$  рабочей поверхности катода:  $j_e = \frac{I_e}{S} \left[ \frac{\text{mA}}{\text{cm}^2} \right]$

$j_e$  -- удельная эмиссия (у современных катодов порядка десятых долей ампера на  $1 \text{ см}^2$ ),  $I_e$  -- ток эмиссии данного катода,  $S$  -- рабочая поверхность катода.

2. Эффективность катода – это отношение тока эмиссии к мощности, расходуемой на канал катода:  $H = \frac{I_e}{P_k} \left[ \frac{\text{mA}}{\text{BT}} \right]$

$I_e$  -- ток эмиссии,  $P_k$  -- мощность канала. У современных катодов  $H$  может иметь величину порядка  $10^4 \left[ \frac{\text{mA}}{\text{BT}} \right]$ .

3. Долговечность катода (срок службы)—это время его работы, в течение которого эмиссионный ток обеспечивает максимальное действие прибора (500+2000 часов). Перекал уменьшает долговечность катода.

Аноды электронных ламп изготавливаются из никеля. Во время работы анод может иметь высокую температуру вследствие разогрева за счет электронной бомбардировки. Максимально допустимая температура анода определяет величину рассеиваемой анодом мощности. Для увеличения мощности, рассеиваемой анодом, прибегают к увеличению поверхности охлаждения, снабжая анод радиаторами. Чернение анода увеличивает лучеиспускание и, следовательно, рассеиваемую мощность.

В случае необходимости используют аноды с принудительным воздушным или жидкостным охлаждением.

## 1-2. Принцип действия диода.

Простейшая двухэлектродная лампа или диод представляет собой два электрода в стеклянном или металлическом баллоне (рис. 3).

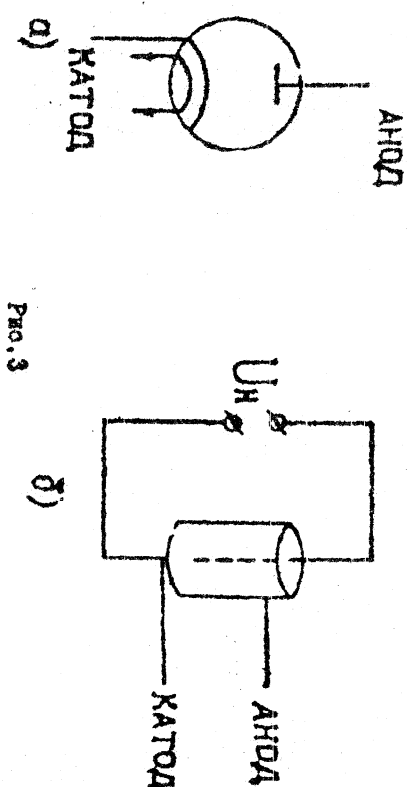


Рис. 3

Чтобы анод мог притягивать электроны, он должен быть заряжен положительно. Притяжение электронов к аноду объясняется тем, что между анодом и катодом образуется электрическое поле. Электроны, вылетевшие из катода, под действием этого поля движутся к аноду (рис. 4).

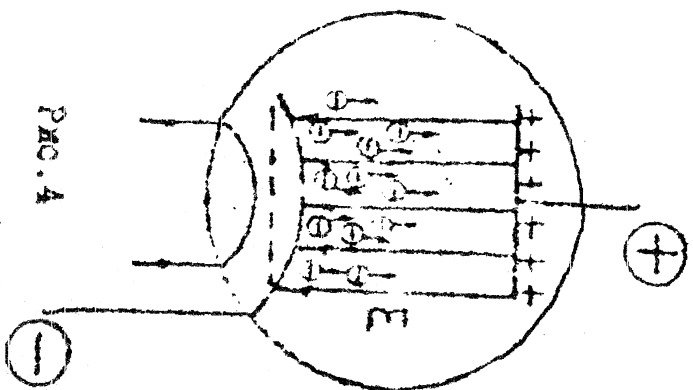


Рис. 4

Принцип работы диода состоит в следующем:

Под воздействием напряжения накала катод нагревается и вокруг него образуется электронное облако.

Если на анод подать положительное напряжение относительно катода, то электроны перемещаются от катода к аноду (а не наоборот), а за положительное направление тока в лампе принято обратное движение электронов направление, т.е. от анода к катоду.

Если же на анод подать отрицательное напряжение, то электроны к аноду притягиваться не будут и ток в лампе будет отсутствовать.

Таким образом, диод обладает односторонней проводимостью и схема включения диода будет иметь вид (рис. 5).

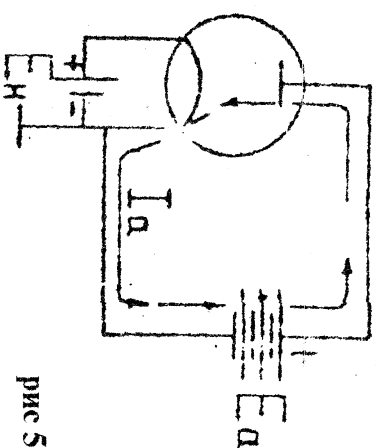
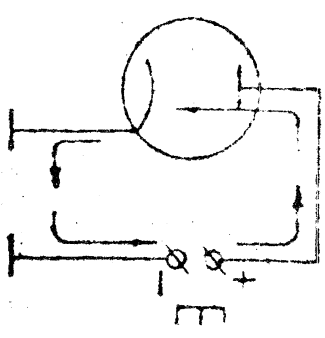


рис 5



1-3. Анодная характеристика диода

Зависимость анодного тока от напряжения между анодом и катодом при постоянном напряжении накала называется статической характеристикой диода.

$$I_a = f(U_a) \text{ при } U_H = const.$$

Типичный вид характеристики представлен на рис. 6

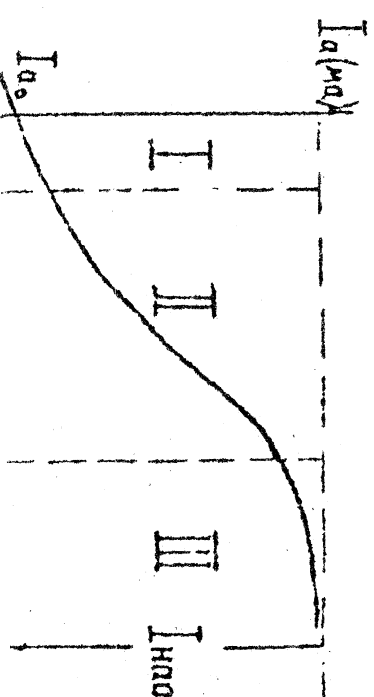


Схема для снятия анодной характеристики диода изображена на рис. 7

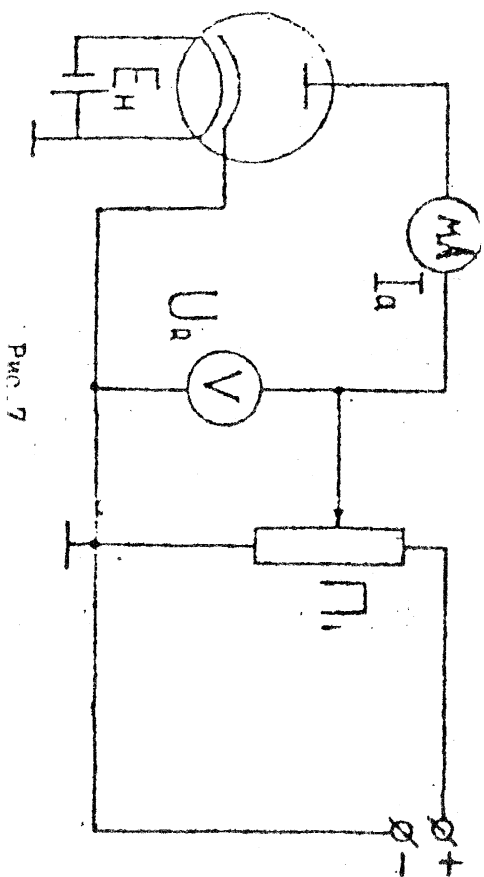


Рис. 7

При  $U_a = 0$  (ползунок находится в нижней точке) в междueleктродном пространстве электрическое поле отсутствует и на анод будут попадать лишь те электроны, которые покидают катод с достаточно большой скоростью. Число таких электронов весьма незначительно, и поэтому ток при  $U_a = 0$  (так называемый нулевой ток  $I_{a0}$ ) оказывается чрезвычайно малым, и обычно он не учитывается.

Большинство электронов, покинувших катод, не обладает энергией, достаточной для попадания на анод. Они располагаются вблизи катода, образуя электронное облако—пространственный заряд, создающий тормозящее поле.

Если между анодом и катодом приложить напряжение  $U_a > 0$ , то в междueleктродном пространстве образуется электрическое поле, ускоряющее электроны в направлении к аноду. Теперь уже большее число электронов будет достигать анода, т. е. анодный ток увеличится.

Однако при малых значениях  $U_a$ , когда еще не скомпенсировано действие пространственного заряда, приращение анодного тока мало (участок 1

характеристики). Такой режим называется режимом пространственного заряда. При напряжении  $U_a$  ускоряющее поле анода компенсирует тормозящее поле пространственного заряда, и анодный ток возрастает пропорционально анодному напряжению за счет электронов пространственного заряда (участок II).

Чем больше анодное напряжение  $U_a$ , тем больше анодный ток  $I_a$ .

Увеличение анодного тока будет продолжаться до тех пор, пока не иссякнет пространственный заряд вокруг катода. Дальнейшее увеличение напряжения  $U_a$  не приведет к нарастанию тока, анодный ток станет равным току эмиссии, определяемому для данного диода температурой катода. Это значение тока называется током насыщения  $I_{a\text{нас}}$ . Такой режим работы диода называется режимом насыщения.

В зависимости от величины напряжения накала меняется величина тока насыщения (рис. 8).

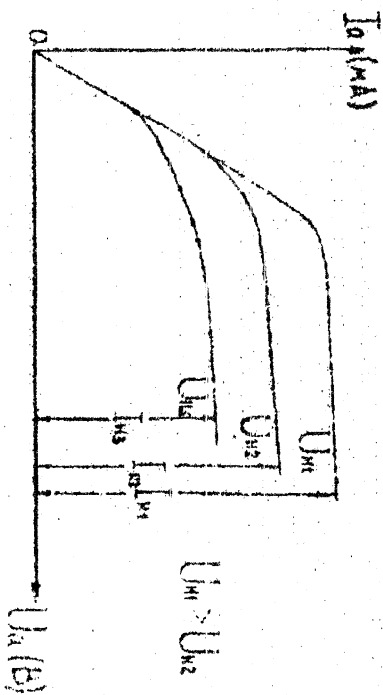


Рис. 8

А) Крутизна характеристики  $S$ .

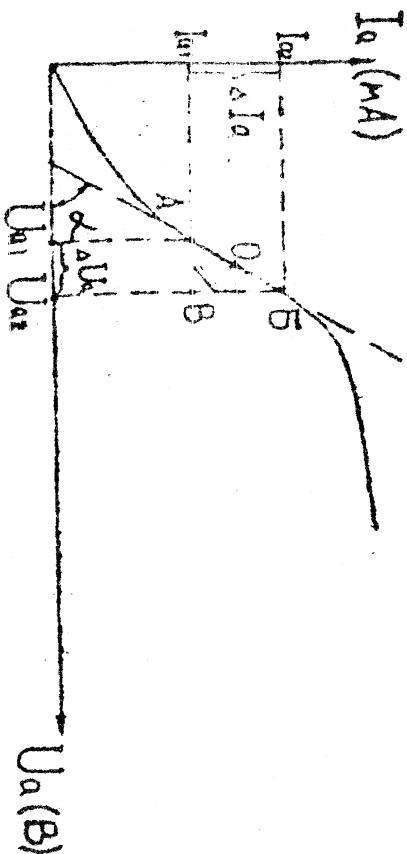
Этот параметр показывает на сколько миллиампер изменяется анодный ток

при изменении анодного напряжения на 1 В.  $S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_a} \left[ \frac{\text{mA}}{\text{B}} \right]$ .

Крутизну  $S$  можно определить графически, пользуясь анодной характеристикой (рис. 9).

Для этого строим характеристический треугольник  $ABV$ , где катет  $AB$  — приращение анодного напряжения, катет  $BV$  — приращение анодного тока. Тогда

крутизна характеристики в точке 0 будет равна  $S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_a} = \frac{I_{a2} - I_{a1}}{U_{a2} - U_{a1}}$ .



В криволинейной части характеристики крутизна в разных точках различна и равна тангенсу угла, образованному касательной в данной точке с положительным направлением оси абсцисс. Большая крутизна характеристики  $S$  является достоинством диода и зависит от конструкции лампы. Чем больше площадь анода и меньше расстояние между анодом и катодом, тем больше крутизна. В современных лампах крутизна  $S$  достигает 1-30 мА/В.

В) Внутреннее сопротивление  $-R_i$ . Величина, обратная крутизне

характеристики, называется внутренним сопротивлением переменному току

$R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} = \frac{1}{S} (OM)$ . Для современных диодов  $R_i$  обычно бывает порядка сотен, а

иногда даже десятков Ом.

Не следует смешивать величину  $R_i$  с внутренним сопротивлением диода

для постоянного тока  $R_0$ , которое определяется по закону Ома как отношение

величины постоянного анодного напряжения к соответствующей величине

анодного тока  $R_0 = \frac{U_a}{I_a} (OM)$ .

Для диода справедливо равенство  $S \cdot R_i = 1$ , так как  $S$  и  $R_i$  взаимно обратные величины.

В) Мощность, рассеиваемая анодом —  $P_a$ .

Электрон, попадая на анод диода, отдает приобретенную кинетическую энергию, которая выделяется в виде тепла  $P_a = I_a \cdot U_a [B7]$ .

Эта мощность называется мощностью, рассеиваемой на аноде, или мощностью потерь на аноде, поскольку нагрев анода совершенно бесполезен.

При большой мощности  $P_a$  возможен перегрев анода и анод может

расплавиться. Чтобы не допустить этого, необходимо выполнять условие

$P_a \leq P_{adm}$ , где  $P_{adm}$  — допустимая мощность, рассеиваемая анодом.  $P_{adm}$  указывается в паспорте диода.



Г) Максимально допустимое обратное напряжение--  $U_{обр.ом.}$

Во многих случаях к диоду прикладывается переменное напряжение (рис. 10).

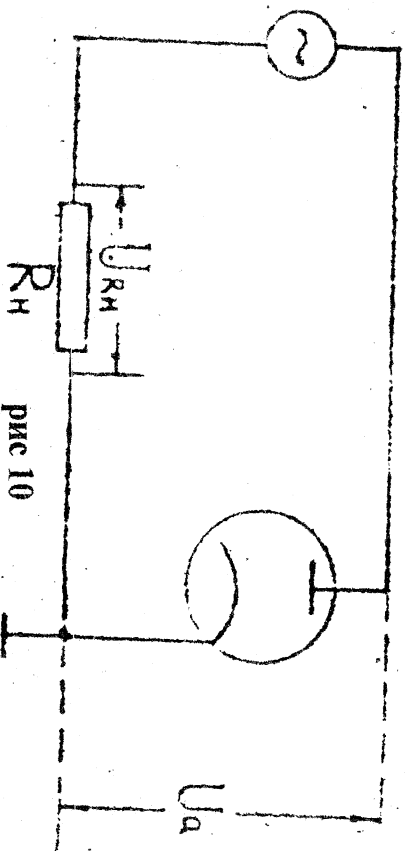


рис 10

За положительный полупериод напряжения источника через диод протекает ток, создавая падение напряжения на сопротивлении  $R_H$  и сопротивлении диода  $R_f$ . Так как  $R_f$  мало по сравнению с  $R_H$ , то основная часть напряжения источника выделяется на  $R_H$ . Поэтому напряжение между анодом и катодом диода невелико  $U_a = U_H - I_a \cdot R_H$ .

При отрицательном полупериоде напряжения источника ток через диод не проходит ( $I_a = 0$ ) и все подводимое напряжение источника приложено между анодом и катодом ( $U_a = U_H$ ). Такое отрицательное анодное напряжение называется обратным напряжением  $U_{обр.}$

При большом значении  $U_{обр.}$  может наступить пробой участка анод-катод. Каждый тип диода характеризуется величиной максимально допустимого обратного напряжения, при котором пробой лампы не возникает. Поэтому при работе диода всегда должно выполняться условие  $U_H \leq U_{обр.ом.}$

Д) Междуэлектродная ёмкость диода ( $C_{ак}$ ).

Ёмкость между анодом и катодом  $C_{ак}$  в диоде тем больше, чем больше площадь катода и анода и чем меньше расстояние между ними. Эта ёмкость подключена параллельно внутреннему сопротивлению (рис. 11).

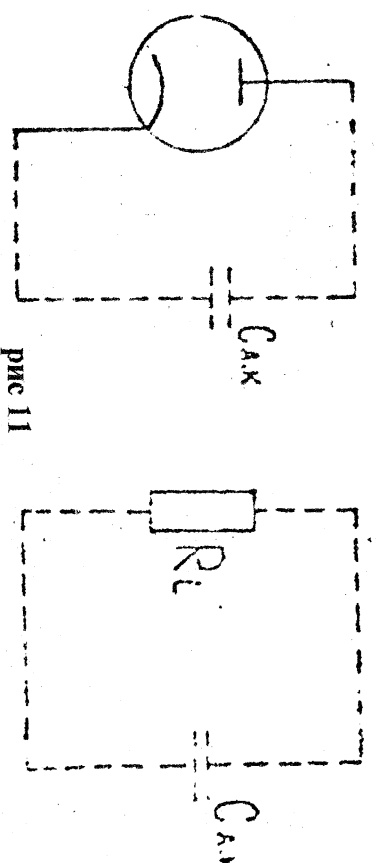


рис 11

Реактивное сопротивление  $X_{C_{ак}} = \frac{1}{\omega C_{ак}}$  зависит от частоты переменного

напряжения. На низких частотах  $X_{C_{ак}}$  велико и не оказывает влияния на работу диода. Но на высоких и особенно сверхвысоких частотах  $X_{C_{ак}}$  уменьшается и, шунтируя  $R_f$ , ухудшает выпрямительные свойства диода. Поэтому для работы на высоких частотах применяют диоды с малой ёмкостью  $C_{ак}$  (единицы пикофарад).

#### 1-5. Типы диодов

Из вольтамперной характеристики диода видно, что диод обладает односторонней проводимостью, т.е. его характеристика является нелинейной. Свойством нелинейных сопротивлений является то, что форма тока, протекающего через него, не соответствует сумме приложенного напряжения.

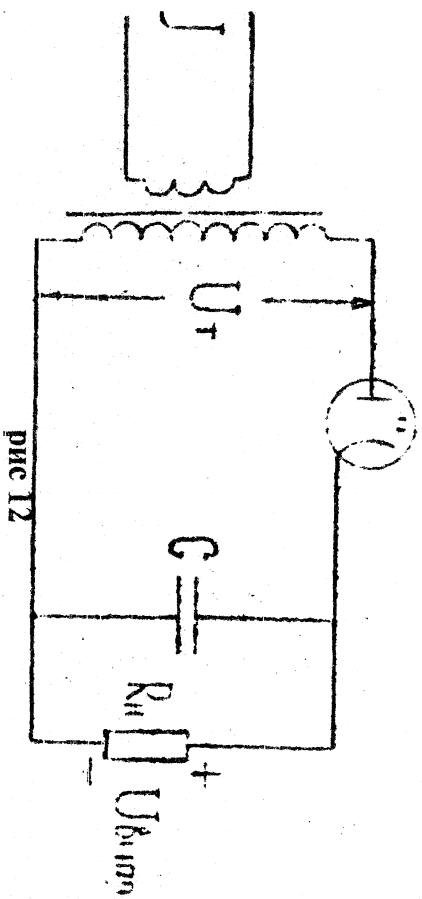
Это свойство широко используется в радиотехнике для выпрямления переменного тока, детектирования колебаний, фиксирования и ограничения напряжения и т.д.

Основными типами вакуумных диодов являются:

#### А) Кенотроны.

Диоды этого типа используются для выпрямления переменного тока, т.е. преобразование его в постоянный ток.

Простейшая схема выпрямителя показана на рис. 12.



Переменное напряжение, повышенное (пониженное) с помощью трансформатора до необходимой величины  $U_t$  подаётся через диод на конденсатор  $C$  большой ёмкости. Параллельно конденсатору подключена нагрузка  $R_n$ , ток в которой должен быть постоянным. Положительный полупериод анодного напряжения через диод проходят импульсы тока, которые подзаряжают конденсатор. Остальную часть периода конденсатор разряжается через нагрузку. Так как ёмкость конденсатора выбирается достаточно большой, то напряжение на нём и на нагрузке меняется мало и оказывается фактически постоянным.

Возможности диода как выпрямителя характеризуется допустимыми величинами выпрямленного тока и напряжения.

#### Б) Высокочастотные диоды.

Лампы этого типа используются для преобразования высокочастотных колебаний (детектирование, модуляция, преобразование частоты).

Особенностью высокочастотных диодов является то, что они работают на низких уровнях мощности, при малых токах и напряжениях, имеют небольшие размеры электродов и выводов.

Как выпрямительные, так и высокочастотные диоды могут иметь разные конструктивные особенности. В частности в одном баллоне могут быть расположены несколько электронных схем с общим или разделёнными катодами (рис. 13).

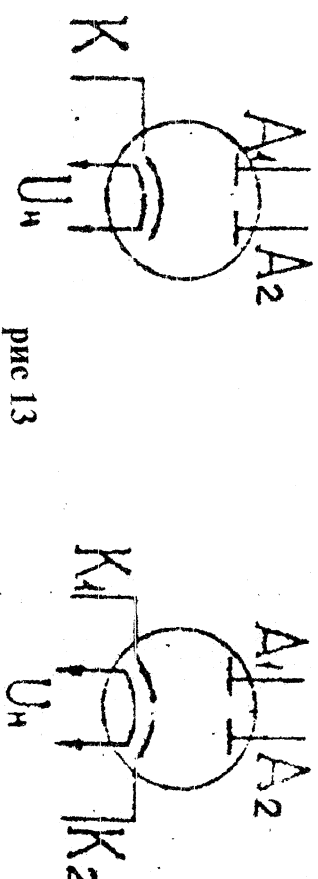


рис 13

Обозначение типа ламп состоит из четырёх элементов:

1. Напряжение накала (округленно).
2. Тип лампы: Ц—кенотрон, Д—одинарный диод, Х—двойной диод.
3. Порядковый номер модели.
4. Конструктивное оформление лампы: С—стеклянный баллон.

П—миниаюрная лампа,

Д—с дисковыми выводами.

Отсутствие 4-го элемента указывает на то, что баллон металлический.

Пример 6 X 2П—миниаюрный двойной диод с напряжением 6,3 В.

### Вопросы для закрепления материала

1. Объяснить режим пространственного заряда в диоде (нижний загиб вольт-амперной характеристики).
2. Объяснить режим насыщения в диоде (верхний загиб характеристики).
3. Почему диод обладает свойством односторонней проводимости.
4. При повышении анодного напряжения на 6 В анодный ток возрос на 1,5 мА. Определить крутизну и внутреннее сопротивление диода. (Ответ:  $S=4 \text{ кОм}$ ).
5. Определить тип диода 5П2С.
6. Изобразить схему для снятия анодной характеристики, пояснить принцип её графического построения.

## ТРЕХЭЛЕКТРОДНЫЕ ЛАМПЫ.

### П 2-1. Устройство триода.

Триодом называется электровакуумный прибор, у которого в промежутке катод-анод помещен дополнительный электрод—управляющая сетка, имеющий самостоятельный внешний вывод.

Сетка пронизана для электронов, её роль состоит в управлении плотностью электронного тока, а следовательно, и величиной анодного тока. Обычно выполняется в виде спирали, окружающей катод.

Схематическое изображение триода приведено на рис. 14.

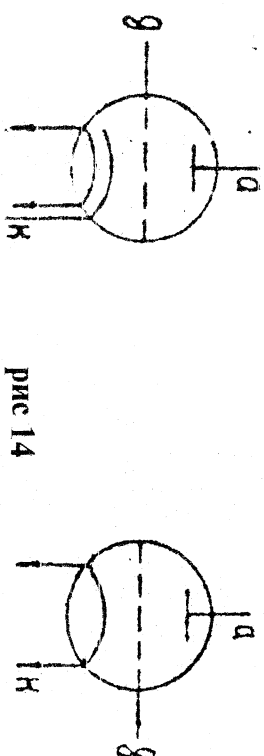
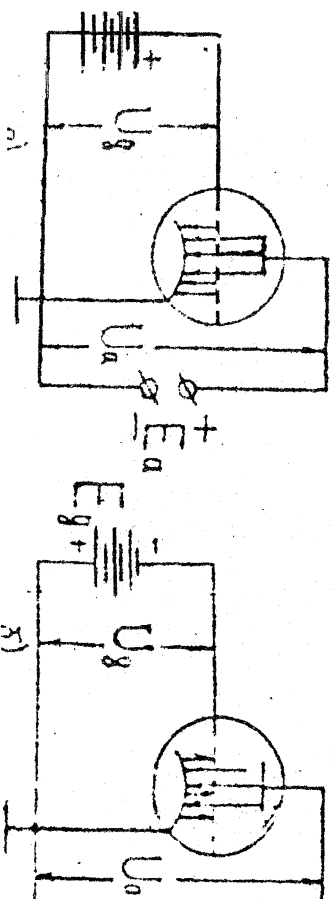


рис 14

К промежутку анод-катод триода прикладывается анодное напряжение  $U_a$ , к промежутку сетка-катод—сеточное напряжение  $U_g$  (рис. 15 а, б).



Триодно-анодный ток зависит не только от величины анодного напряжения, но и от величины напряжения на сетке.

За счет приложения  $U_0$ , приложенного к промежутку сетка-катод, создается электрическое поле сетки, величина напряженности которого определяется знаком и величиной напряжения сетки относительно катода. Если приложенное напряжение положительно (рис.15), то поле является ускоряющим, совпадает по направлению с полем анода и подобно полю анода, компенсирует действие противострельного заряда. Таким образом, напряженность результирующего поля, создающего электронный поток в лампе, увеличивается за счет действия положительно заряженной сетки.

Чем больше положительный потенциал сетки, тем больше интенсивность потока и величина анодного тока  $I_a$  в лампе.

При отрицательном напряжении на сетке, поле сетки направлено навстречу полю анода. Результирующее поле в лампе уменьшается, следовательно, анодный ток уменьшается за счет отрицательно заряженной сетки. Чем больше отрицательный потенциал сетки, тем меньше анодный ток триода.

В простейшем катод-сетка электрон подвергается воздействию электрических полей анода и сетки. Величина анодного тока зависит от знака и величины напряжения на сетке.

Конструктивно сетка расположена к катоду ближе, чем анод, экранируя катод от воздействия электрического поля анода. Следствием этого является относительно слабое влияние анодного напряжения  $U_0$  на движение электронов в простейшем катод-сетка. Сеточное напряжение влияет гораздо сильнее, как вследствие большей близости катода к сетке, так и из-за отсутствия между ними экранирующих элементов. Так, изменение напряжения на сетке на несколько вольт воздействует на анодный ток так, как изменение напряжения на несколько десятков или сотен вольт. Значит, для управления анодным током лампы на сетку достаточно подавать небольшие по величине изменяющиеся напряжения. В этом и проявляются свойства триода.

## II 2-2. Статистические характеристики триода

В процессе работы триода в радиосхеме напряжения на его электродах (анод и сетке) меняются одновременно.

В результате этого анодный ток зависит от двух одновременно изменяющихся величин  $I_a = f(U_a, U_0)$ .

Для простоты эту сложную зависимость рассматривают раздельно по аргументам:

1. Анодно-сеточная характеристика, показывающая зависимость анодного тока от напряжения на сетке при постоянном анодном напряжении:

$$I_a = f(U_0) \text{ при } U_a = \text{const.}$$

2. Анодная характеристика, показывающая зависимость тока от напряжения на аноде при постоянном напряжении на сетке:

$$I_a = f(U_a) \text{ при } U_0 = \text{const.}$$

Иногда используется характеристика тока сетки:  $I_0 = f(U_0)$  при  $U_a = \text{const.}$

Для снятия этих характеристик используется схема (рис. 16).

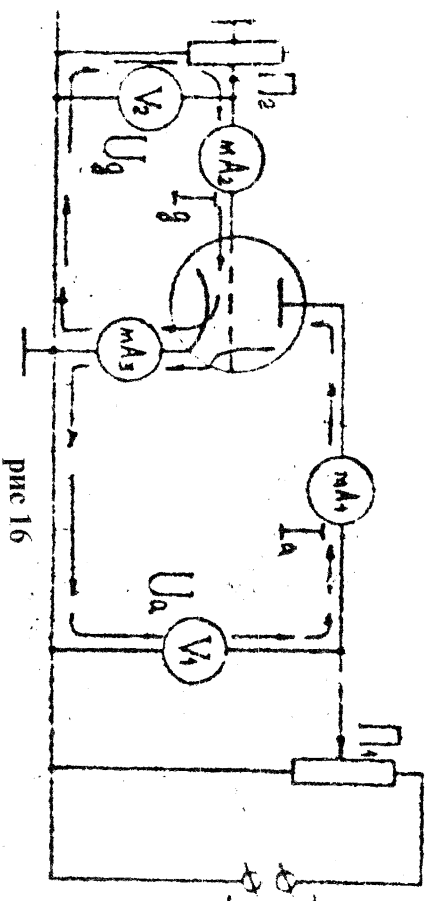
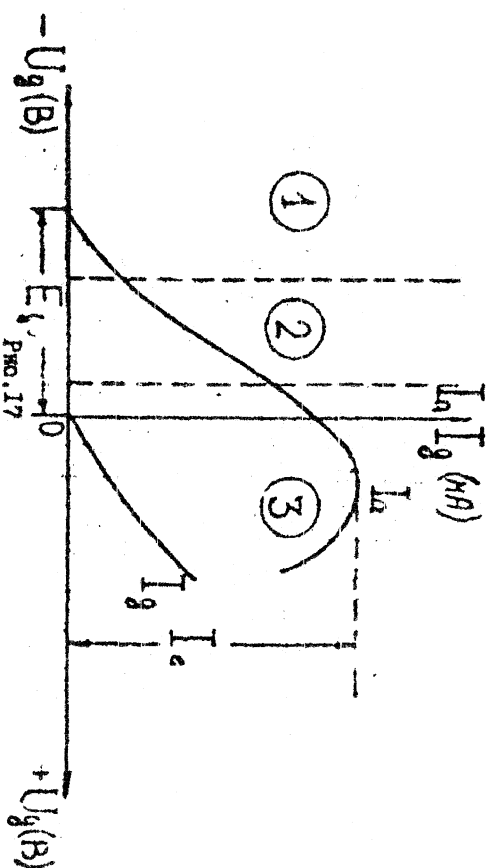


рис 16

Рассмотрим эти характеристики:

### 1. Анодно-сеточная характеристика (рис. 17)



При отрицательном напряжении на сетке, равном  $E_0$ , анодный ток равен нулю. Напряженность тормозящего поля сетки равна напряженности

ускоряющего поля анода и электроны не могут преодолеть действие пространственного заряда.

Напряжение  $E_0$  называется напряжением запирания. Это наименьшее отрицательное напряжение на сетке (при  $U_a = \text{const}$ ), при котором анодный ток лампы равен нулю.

При уменьшении отрицательного напряжения на сетке напряженность результирующего поля внутри пространств анод-катод возрастает. Анодный ток растёт. При напряжениях, близких к напряжению запирания, тормозящее действие пространственного заряда не скомпенсировано и его преодолевают лишь электроны с большими скоростями. Поэтому вначале анодный ток мал и медленно увеличивается при уменьшении отрицательного напряжения на сетке (участок 1). Это режим пространственного заряда.

Дальнейшее уменьшение отрицательного потенциала сетки приводит к компенсации поля пространственного заряда и анодный ток возрастает пропорционально напряжению на сетке (участок 2).

При напряжениях на сетке, близких к нулю, рост анодного тока замедляется. Это объясняется наступлением режима насыщения, когда пространственный заряд отсутствует, и все электроны катода идут на создание электронного потока.

При положительных напряжениях на сетке часть электронов перехватывается витками положительно заряженной сетки. В результате в цепи сетки появляется ток управляющей сетки  $I_g$ , величина которого тем больше, чем больше положительное напряжение на сетке.

Итак, в триоде можно выделить (при  $U_a > 0$ ) следующие цепи токов (рис.

16): 1. Цепь анодного тока  $I_a$ .

2. Цепь сеточного тока  $I_g$ .

В триоде всегда выполняется равенство: общий (катодный) ток равен сумме анодного и сеточного тока:  $I_k = I_a + I_g$ .

Анодно-сеточную характеристику можно снять при различных значениях анодного напряжения.

Изобразим характеристики, снятые при трех различных значениях напряжения на аноде. Чем больше величина анодного напряжения  $U_a$ , тем больше напряженность поля анода и тем больше должно быть напряжение запаривания лампы, чтобы прекратить ток. Чем выше напряжение  $U_a$ , тем величина тока  $I_a$  больше при любом заданном напряжении на сетке (рис. 18).

На рис. 18 видно, что характеристика, снятая при более высоком напряжении  $U_a''$ , расположена левее, чем характеристика, снятая при меньших значениях  $U_a''$  и  $U_a'$ .

Здесь же показаны характеристики тока сетки. Чем больше напряжение  $U_a$ , тем больше электронов попадает на анод и меньше на сетку. При более высоком напряжении  $U_a$  величина тока  $I_g$  меньше. Характеристики, снятые при различных значениях анодного напряжения, называются семейством анодно-сеточных характеристик.

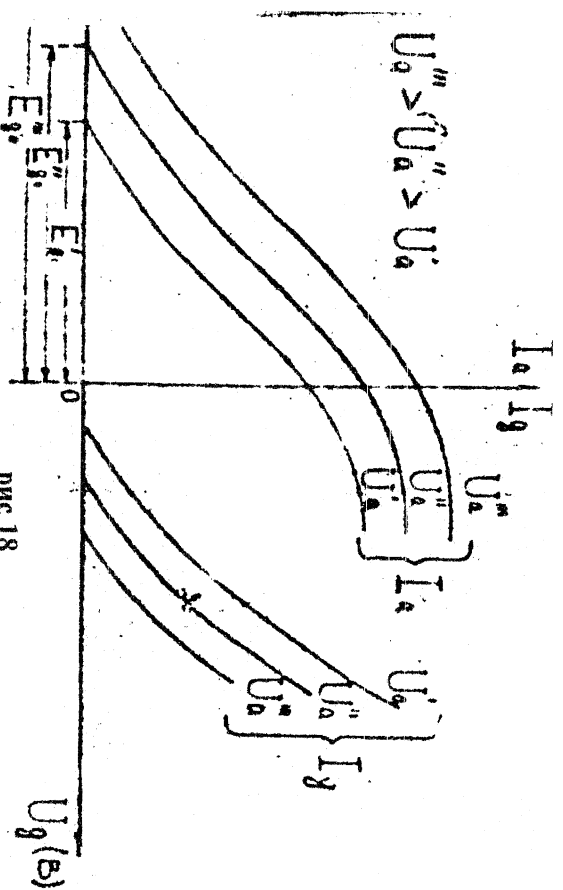


рис. 18

## 2. Анодная характеристика (рис. 19).

Обычно на сетку триода подается отрицательное напряжение, поэтому при малых анодных напряжениях ток в триоде отсутствует.

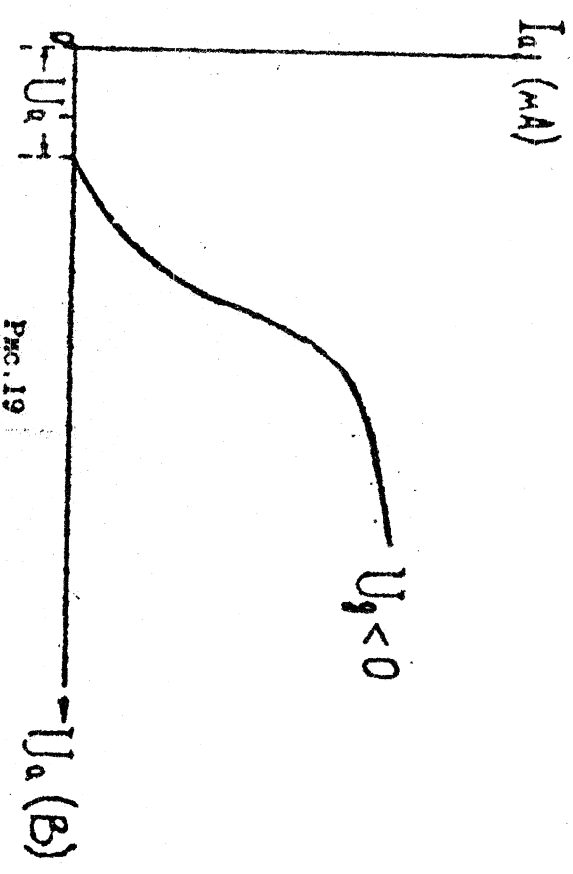


рис. 19

Только при анодном напряжении  $U_a = U_a'$ , когда поле анода компенсирует тормозящее поле сетки, появляется анодный ток. Величина  $U_a'$ , при которой появляется анодный ток, зависит от напряжения на управляющей сетке.

Анодные характеристики, снятые при различных сеточных напряжениях, называются семейством анодных характеристик (рис. 20).

Чем больше отрицательное напряжение на сетке, тем больше должно быть анодное напряжение, при котором появляется анодный ток.

Следовательно, увеличение отрицательного напряжения на сетке приводит к смещению анодной характеристики вправо.

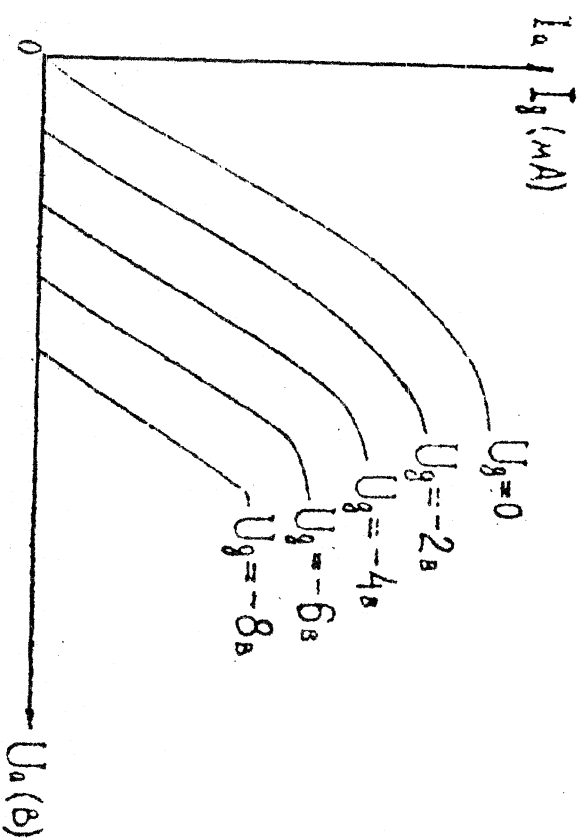


Рис. 20

П 2-3. Параметры триода.

Обычно, для правильного выбора лампы нет нужды учитывать все детали её вольтамперных характеристик. Достаточно знать основные электрические свойства лампы, которые характеризуются статистическими параметрами. К ним относятся: проникаемость сетки  $\Delta$ , коэффициент усиления лампы  $\mu$ , крутизна характеристики  $S$ , внутреннее сопротивление  $R_i$ .

1. Крутизна характеристики  $S$  показывает степень влияния сеточного напряжения  $U_g$  на анодный ток  $I_a$  и определяется по анодно-сеточной характеристистике (рис. 21). При изменении сеточного напряжения от значения  $U_g'$  до  $U_g''$ , анодный ток изменяется от значения  $I_a'$  до  $I_a''$ , т.е. приращение  $\Delta U_g$  вызывает изменение тока  $\Delta I_a = I_a'' - I_a'$ .

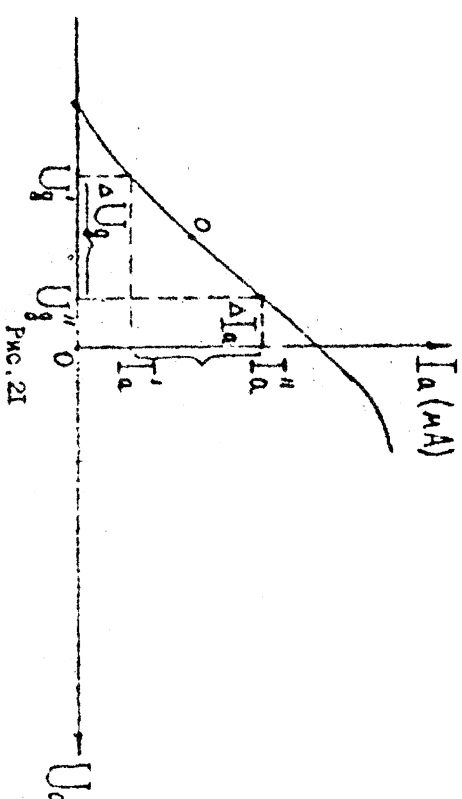


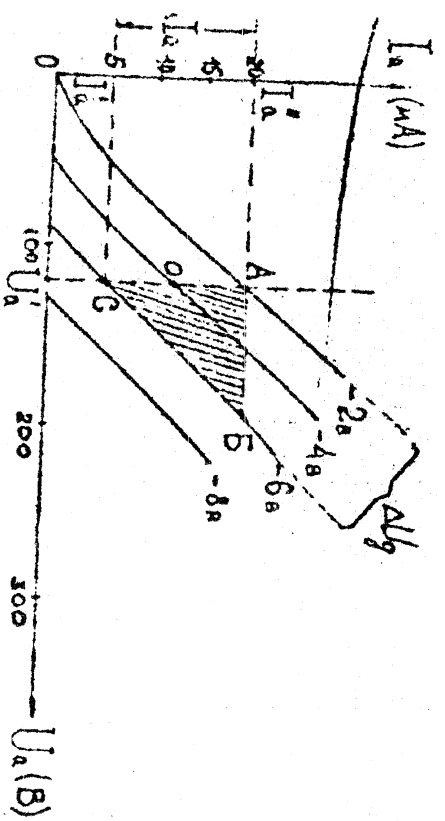
Рис. 21

Крутизна характеристики есть отношение приращения анодного тока к вызвавшему его приращению напряжения на сетке при постоянном анодном напряжении ( $U_a = const$ ):  $S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_g} = \frac{I_a'' - I_a'}{U_g'' - U_g'} \quad (2-1)$ .

Так как на разных участках характеристики значение  $S$  различно, то параметром лампы считают крутизну среднего прямолинейного участка, где  $S$  постоянна.

Большая крутизна характеристики—достоинство лампы, т.к. для управления анодным током потребуются небольшие изменения напряжения на сетке. Крутизна зависит от конструкции ламп. Крутизна тем больше, чем больше поверхность катода, чем гуще сетка и чем ближе расположена она к катоду.

Крутизну можно определить по семейству анодных характеристик (рис. 22).



Проведем прямоу, параллельную оси координат при выбранном анодном напряжении  $U'_a$  и построим параметрический треугольник ABC. Точка "А" и "С" соответствует одно и то же значение напряжения  $U'_g$ . При переходе из точки "С" ( $U'_g = -6\text{В}$ ) в точку "А" ( $U'_g = -2$ ) анодный ток увеличивается на величину  $\Delta I_a = I'_a - I'_g = (20 - 5)\text{мА} = 15\text{мА}$ .

Следовательно, в рассматриваемом случае крутизна характеристики в точке 0 равна:  $S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U'_g} = \frac{I'_a - I'_g}{U'_g - U'_g} = 15/4 = 3,75 \frac{\text{мА}}{\text{В}}$ .

## 2. Внутреннее сопротивление $R_i$ .

Этот параметр показывает степень влияния анодного напряжения на анодный ток и представляет собой отношение приращения анодного напряжения к вызванному им приращению анодного тока при постоянном сеточном напряжении:  $R_i = \frac{\Delta U'_a}{\Delta I_a}$  при  $U'_g = \text{const}$  (2-2).

Внутреннее сопротивление характеризует сопротивление лампы переменной составляющей анодного тока. Оно определяется по анодной характеристике лампы (рис.23).

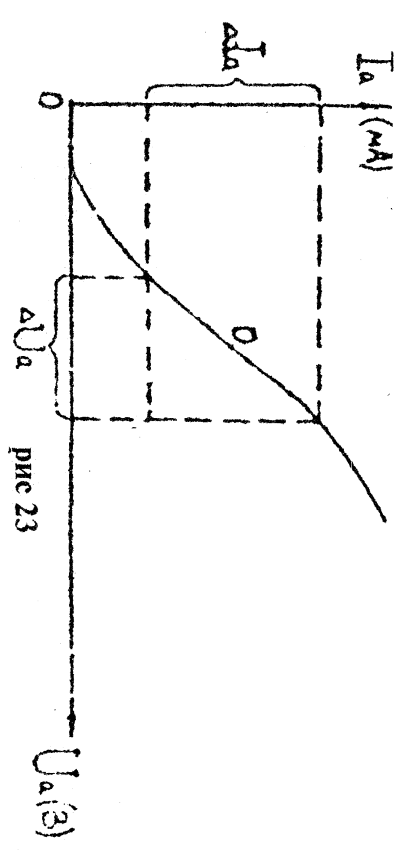


рис 23

Изменение напряжения  $\Delta U_a$  вызывает изменение тока  $\Delta I_a$ . Отношение этих приращений определяет величину внутреннего сопротивления триода. Обычно у триодов  $R_i = (3-100) \text{кОм}$ .

Внутреннее сопротивление можно определить по семейству анодно-сеточных характеристик (рис.24).

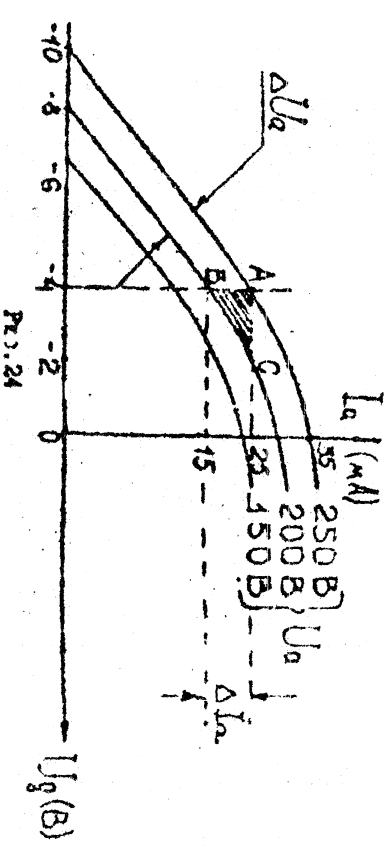


рис.24



Проведем прямую, параллельную оси ординат при выбранном сеточном напряжении. Точкам А и Б соответствует одно и то же сеточное напряжение ( $U_g = -4В$ ). При переходе из точки Б ( $U_a = 200В$ ) в точку А ( $U_a = 250В$ ) анодный ток увеличивается на  $\Delta I_a = 10мА$ . Следовательно,  $R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} = \frac{50}{10} = 5 кОм$ .

Постоянной составляющей анодного тока триод оказывает другое сопротивление, которое называется сопротивлением постоянному току  $R = \frac{U_{a0}}{I_{a0}}$  (2-3). Оно не является параметром лампы, в различных точках практически оно различно.

### 3. Коэффициент усиления $\mu$ .

Этот параметр позволяет судить о сравнительном влиянии одного напряжения  $U_g$  и сеточного напряжения  $U_a$  на диодный ток  $I_a$ .

Коэффициентом усиления называется отношение приращения диодного напряжения  $\Delta U_a$  к приращению сеточного напряжения  $U_g$ , вызывающему такое же изменение анодного тока  $\Delta I_a$ .

Коэффициент усиления  $\mu$  можно определить только по семейству анодно-сеточных (рис.25) или анодных характеристик

$$\mu = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_g} \text{ при } \Delta U_a = const \quad (2-4).$$

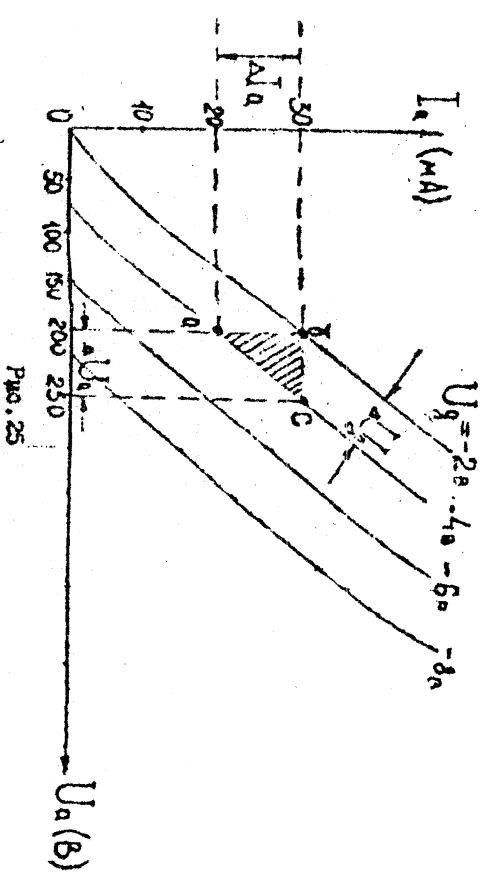


Рис. 25

Для определения  $\mu$  по семейству анодных характеристик строим треугольник  $abc$ . При изменении анодного напряжения на величину  $\Delta U_a = 50 В$  (при  $U_g = 4 В = const$ ) анодный ток изменяется на величину  $\Delta I_a = 10 ма$ . Такое же изменение анодного тока  $\Delta I_a$  можно получить изменением остаточного напряжения, переходя из точки а ( $U_g = -4 В$ ) в точку б ( $U_g = -2 В$ ) при  $U_a = 200 В = const$ . Тогда коэффициент усиления

$$\mu = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_g} = \frac{10}{2} = 25.$$

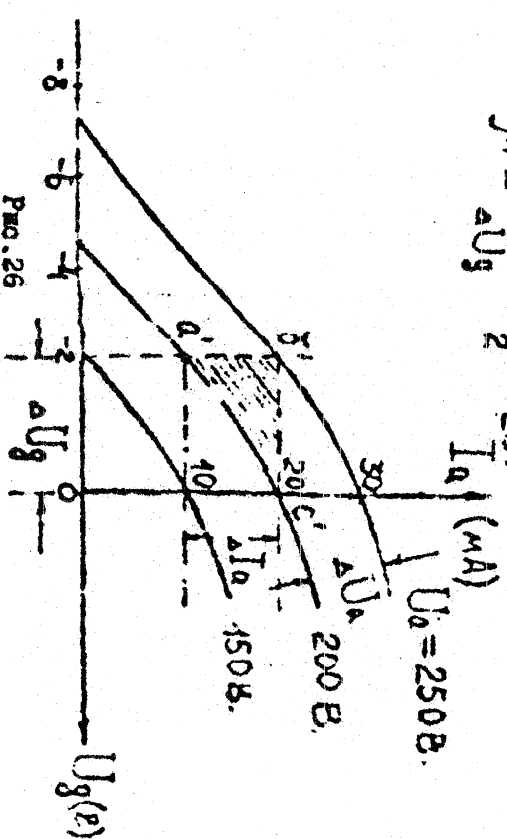


Рис. 26

Для определения  $\mu$  по семейству анодно-сеточных характеристик строим треугольник  $a'b'c'$ . При изменении сеточного напряжения на величину  $\Delta U_g = 2$  В при  $U_a = 200$  В анодный ток изменяется на величину  $\Delta I_a = 10$  ма. Такое же изменение анодного тока  $\Delta I_a$  можно получить изменением анодного напряжения, переходя из точки  $a'$  ( $U_a = 200$ В) в точку  $b'$  ( $U_a = 250$  В) при  $U_{g1} = -2$  В. Тогда коэффициент усиления

$$\mu = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_g} = \frac{250 - 200}{2} = 25$$

Величина, обратная коэффициенту усиления, называется проницаемостью

$$D = \frac{1}{\mu} = \frac{\Delta U_g}{\Delta U_a} \quad (2-5)$$

Физически проницаемость характеризует, какая часть силовых линий поля анода проникает сквозь сетку к катоду.

Параметры  $\mu$  и  $D$  зависят от густоты сетки и её расстояния от катода. Чем гуще сетка и чем ближе она расположена к катоду, тем меньше проницаемость и больше коэффициент усиления. У триодов  $\mu$  может быть до 100.

Рассмотренные статические параметры связаны между собой простым соотношением:

$$S \cdot R_i \cdot D = \frac{\Delta I_a \cdot \Delta U_a \cdot \Delta U_g}{\Delta U_g \cdot \Delta I_a \cdot \Delta U_a} = 1, \quad (2-6)$$

или

$$S \cdot R_i = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_g} \cdot \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} = \mu.$$

$S \cdot R_i = \mu$

(2-7)

Уравнение (2-7) называется основным уравнением триода. Пользуясь этим уравнением можно по двум известным параметрам триода определить третий.

При анализе работы триода, особенно на высоких частотах, следует учитывать его междоэлектродные ёмкости (рис. 27).

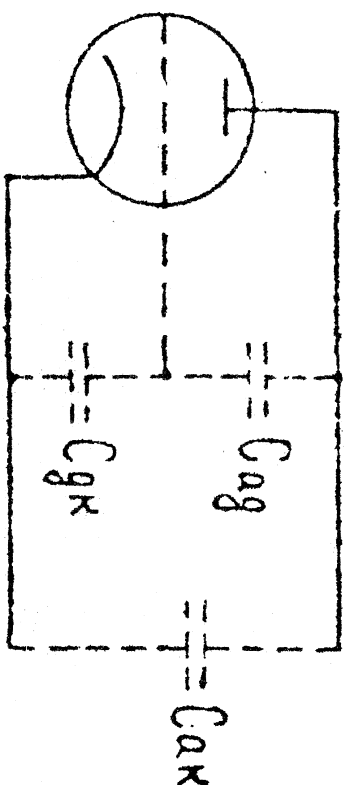


Рис. 27

$C_{ag}$  — ёмкость сетка-анод (проходная)

$C_{gk}$  — ёмкость сетка-катод (входная)

$C_{ak}$  — ёмкость анод-катод (выходная)

Величины этих ёмкостей зависят от размеров электродов и расстояний между ними.

Проходная ёмкость оказывает наиболее сильное влияние на работу триода. Через неё из выходной цепи во входную проходит ток, создающий дополнительное переменное напряжение на сетке.

Величина ёмкости может изменяться при прогреве лампы вследствие изменения размеров электродов, расстояний между ними, а главное, от пространственного заряда в лампе. Наиболее сильно изменяется входная ёмкость  $C_g$ , которая при включении накала может возрасти на 50%. Величина этой ёмкости сильно зависит от напряжения сетки. Так при увеличении отрицательного потенциала сетки происходит перераспределение пространственного заряда на участке сетка-анод и входная ёмкость уменьшается. Это явление используется при частотной модуляции.

## § 2-4 ДИНАМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ТРИОДА

В динамическом режиме между сеткой и катодом триода прикладывается напряжение сигнала  $U_c$ , подлежащее усилению, а в анодную сеть лампы включается сопротивление  $R_n$ , являющееся нагрузкой, на которой выделяется усиленное напряжение  $U_{\text{вых}}$  (рис. 28).

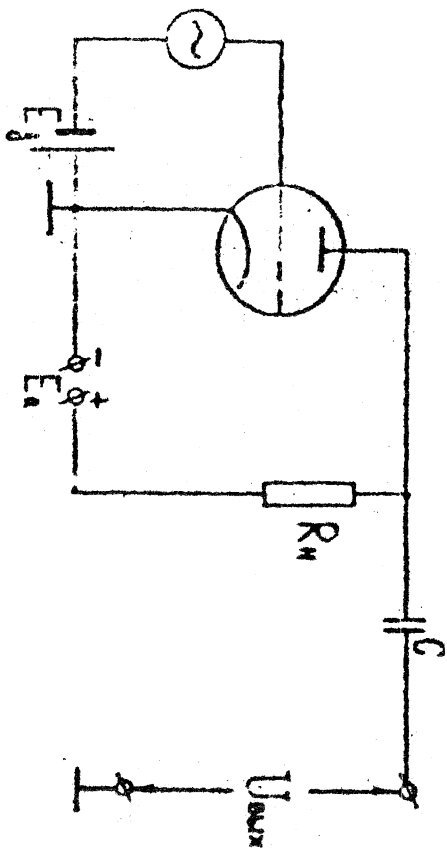


Рис. 28

При подаче в сеть переменного напряжения  $U_c$  в анодной цепи появляется переменная составляющая анодного тока, создающая на сопротивлении  $R_n$  переменное напряжение

$$U_{R_n} = I_a \cdot R_n \quad (2-8)$$

Напряжение на аноде при наличии нагрузки

$$U_a = E_a - I_a R_n \quad (2-9)$$

Из уравнения (2-9) видно, что при изменении напряжения на сетке изменяется и анодное напряжение: при увеличении сеточного напряжения растёт ток анода, увеличивается падение напряжения на нагрузке и напряжение на аноде падает, при уменьшении сеточного напряжения — анодное напряжение возрастает. Чтобы потенциал сетки не оказался положительным, в схеме имеется источник сеточного смещения  $E_g$ .

Величину его выбирают так, чтобы при всех значениях входного сигнала  $U_c$  потенциал сетки был отрицательным.

В динамическом режиме величина анодного тока  $I_a$  зависит от двух меняющихся величин  $U_g$  и  $U_a$ . Статические характеристики, предусматривающие  $U_a = \text{const}$ , не применимы для определения тока. Определить ток можно только учитывая уравнение (2-9). Характеристики, снятые с учётом уравнения (2-9), называются динамическими.

## § 2-5 ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРИОДА

а) Сеточная динамическая характеристика.

Сеточная динамическая характеристика строится с помощью анодно-сеточных характеристик триода и уравнения (2-9). Решим это уравнение относительно анодного тока  $I_a$ .

$$I_a = \frac{E_a - U_a}{R_n} \quad (2-10)$$

Выберем значения  $E_a = 250 \text{ В}$ ,  $R_n = 5 \text{ кОм}$ .

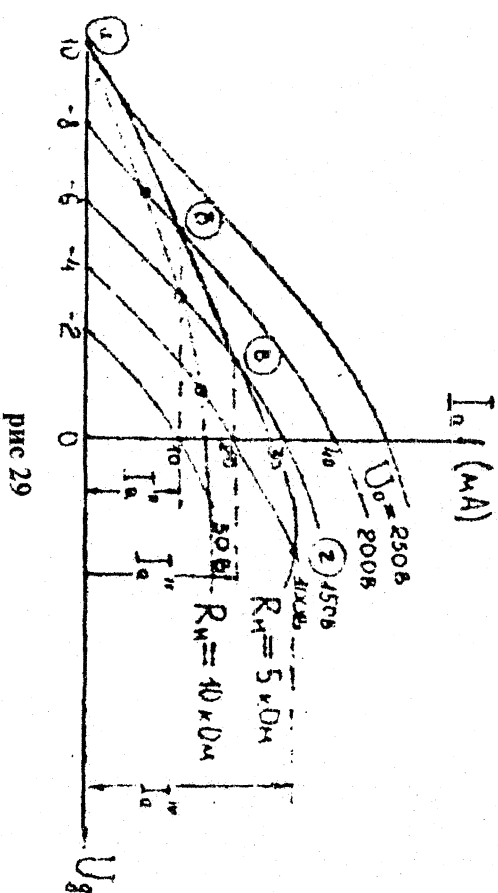


рис 29

**Пример:** для  $U_g = -2В$  (точка 0):  $I_a = 25 мА$ .

$$U_{R_n} = 120 В; \quad U_a = 130 В.$$

Физически нагрузочная характеристика означает, что в триоде возможны два режима:

- 1) режим, когда триод заперт подачей на сетку напряжения запирания (т. а). При этом  $I_a = 0$ ;  $U_a = E_a$ . (Для рис. 30  $E_{g0} = -12 В$ ).
- 2) режим динамического насыщения, когда на сетку подано такое положительное напряжение, что сопротивление лампы очень мало ( $U_a \approx 0$ ) и ток в анодной цепи равен току насыщения

$$I_a = I_{a_{\text{удл}}} = \frac{E_a}{R_n} \quad (\text{точка б})$$

В отличие от статического тока насыщения, определяемого эмиссионной способностью катода, величина  $I_{a_{\text{удл}}}$  ограничена сопротивлением  $R_n$ .

Наклон нагрузочной характеристики зависит от величины сопротивления  $R_n$ . Чем больше  $R_n$ , тем меньше ток динамического насыщения и меньше наклон нагрузочной характеристики. Т. о. угол наклона характеристики обратно пропорционален величине нагрузки  $R_n$ .

## § 2-6 ПОСТРОЕНИЕ СЕТОЧНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ

### ХАРАКТЕРИСТИКИ

#### ПО СЕМЕЙСТВУ АНОДНЫХ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

(рис. 31)

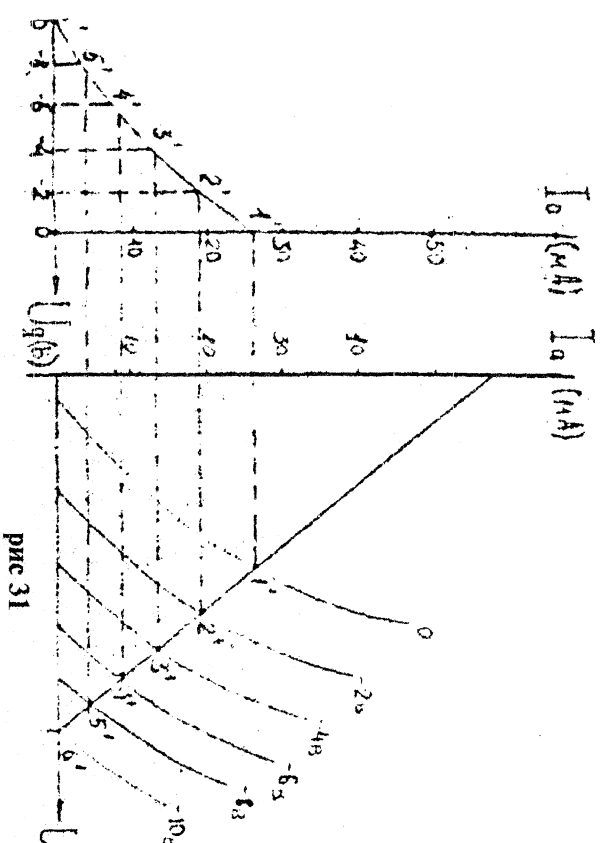


рис 31

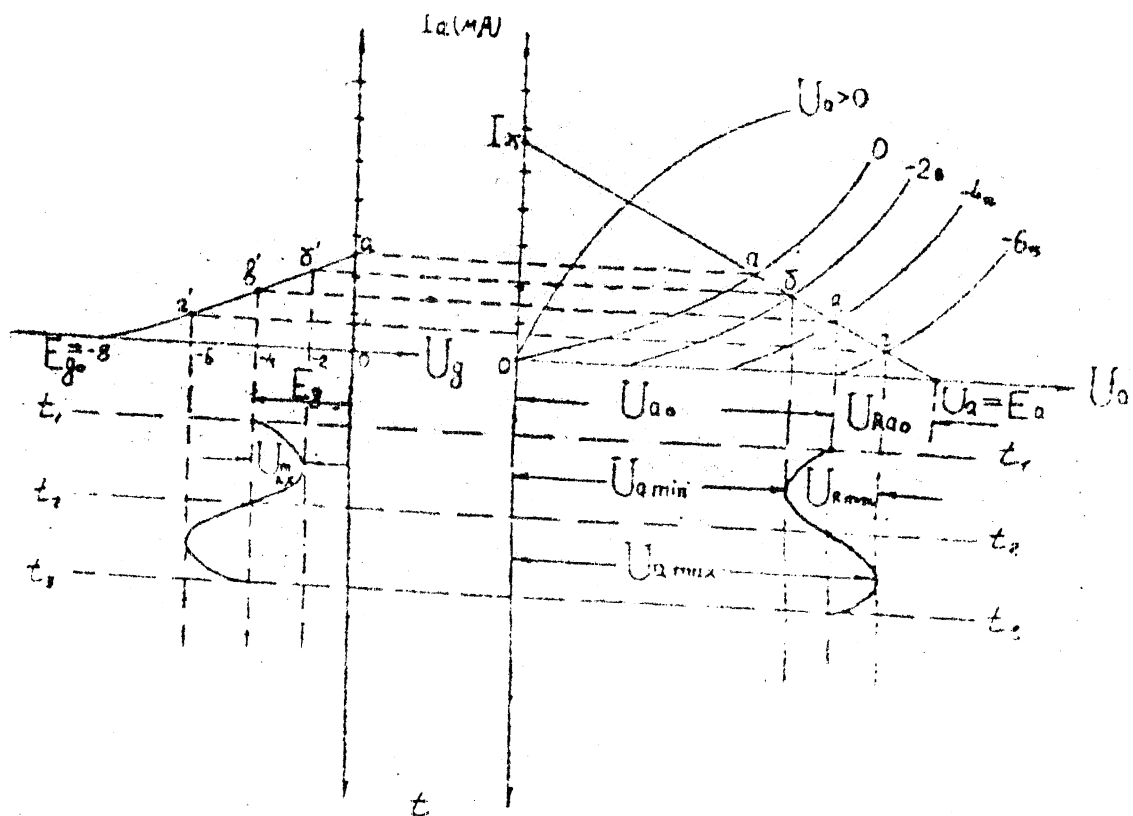
- 1) По заданным значениям  $E_a$  и  $R_n$  построим на семействе анодных характеристик нагрузочную характеристику.
- 2) Точки пересечения её со статическими характеристиками 1, 2, 3, ... определят режим лампы и характеризуются координатами ( $I_a$ ,  $U_g$ ).
- 3) Нанесём эти точки в системе координат  $I_a = f(U_g)$ , для чего из точек 1, 2, 3, ... проведём горизонталь до пересечения с перпендикулярами, восстановленными из соответствующих точек оси  $U_g$ .
- 4) Соединяя точки 1', 2', 3', получим сеточную динамическую характеристику.

## § 2-7 УСИЛИТЕЛЬ НА ТРИОДЕ

Простейший усилитель представляет собой триод в динамическом режиме, на вход которого подается усиливаемый сигнал  $U_{вх}$ , а с нагрузки  $R_n$  снимается усиленное напряжение  $U_{вых}$  (рис. 32).



Его величина выбирается такой, чтобы рабочий участок характеристики (т. е. участок, где происходят изменения  $U_{вн}$ ) был прямолинейным и находился в области отрицательных напряжений на сетке (рис. 33). При таких условиях сеточный ток не возникает, а анодный будет меняться по закону входного напряжения. Усилитель не будет искажать форму усиливаемого сигнала.



Рассмотрим физические процессы на графиках:

$$I_a = f(U_g); I_a = f(U_a); U_a(t); U_{вх}(t)$$

Линейным участком сеточной динамической характеристики является участок «бг». Для обеспечения положения рабочей точки «в» на его середине выберем смещение  $E_g = -4В$ ;  $U_{m\text{ вх}} = 2В$ . При  $U_{m\text{ вх}} = 0$  в анодной цепи проходит постоянный ток  $I_{a0}$ , величина которого определяется на динамической характеристике

$$I_a = f(U_g).$$

Этот ток создаёт падение напряжения

$$U_{Ra0} = I_{a0} \cdot R_a \quad (2-11)$$

Тогда

$$U_{a0} = E_a - I_{a0} \cdot R_a \quad (2-12)$$

Эти величины определяются на графике  $I_a = f(U_a)$ . Т. к. постоянное напряжение  $U_{a0}$  не проходит через конденсатор  $C_p$ , то на выходе усилителя напряжения нет.

$$U_{вх} = 0$$

Подставим на вход усилителя переменный входной сигнал

$$U_{вх} = U_{m\text{ вх}} \sin \omega t \quad (2-13)$$

За время положительного полупериода напряжение на сетке увеличивается

$$U_g = -E_g + U_{вх}, \quad (2-14)$$

что приводит к увеличению анодного тока в триоде. Следовательно, падение напряжения  $U_{Ra}$  — увеличивается, а напряжение на аноде  $U_a$  — уменьшается.

За время отрицательного полупериода напряжение на сетке уменьшается

$$U_g = -E_g - U_{вх} \quad (2-15)$$

Это приводит к уменьшению анодного тока, уменьшению напряжения  $U_{Ra}$  и увеличению анодного напряжения  $U_a$ .

Таким образом, напряжение на сетке, оставаясь отрицательным, изменяет свою величину (пульсирует) по закону входного сигнала. В связи с этим ток  $I_a$ , напряжения  $U_{Ra}$ ,  $U_a$  также получаются пульсирующими. Пульсирующее напряжение можно представить в виде суммы постоянной и переменной составляющих. Постоянная составляющая через конденсатор  $C_p$  не проходит. Поэтому на выходе схемы получается только переменное напряжение.

Выводы:

1. Переменная составляющая анодного тока совпадает по фазе с входным сигналом.
2. Переменная составляющая анодного напряжения (следовательно  $U_{вх}$ ) противофазна анодному току и входному напряжению. Значит, усилитель на резисторе изменяет фазу усиливаемого сигнала на  $180^\circ$ . По характеристикам  $I_a = f(U_g)$  и  $I_a = f(U_a)$  можно определить все параметры тока и напряжения усилителя.

## § 2-8 ЭКВИВАЛЕНТНАЯ СХЕМА УСИЛИТЕЛЯ. ДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ УСИЛИТЕЛЯ

При действии входного сигнала  $U_{вх}$  на выходе схемы создаётся напряжение

$$U_{вх} = \mu \cdot U_{вх} \quad (2-16)$$

Это равноценно появлению в анодной цепи схемы генератора переменной ЭДС амплитудой  $\mu \cdot U_{вх}$ , внутреннее сопротивление которого равно  $R_i$ . Значит, лампа может быть условно заменена эквивалентной схемой (рис. 34).

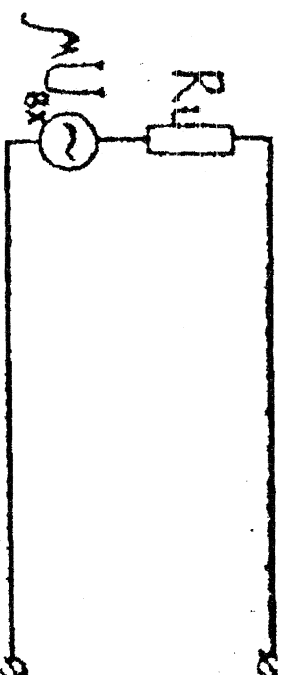


Рис. 34

Но для переменного тока, протекающего в цепи анода, кроме сопротивления лампы  $R_l$  имеется сопротивление нагрузки  $R_n$ .

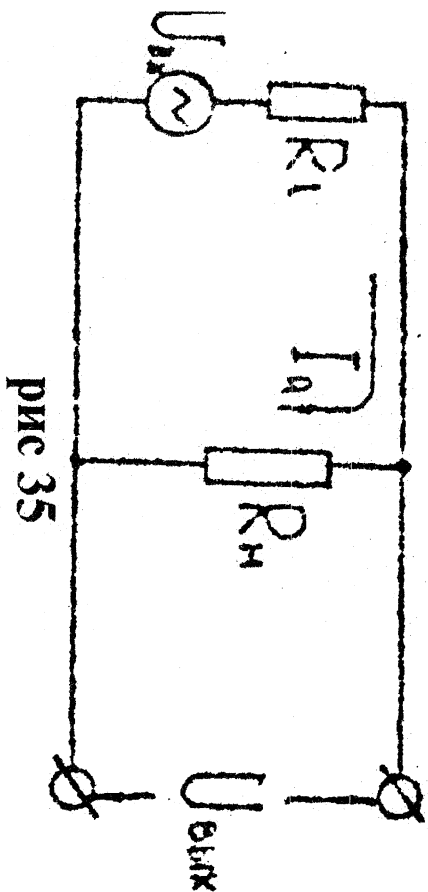


рис 35

Поэтому эквивалентная схема для переменного тока усиленного каскада состоит из эквивалентного генератора  $\mu \cdot U_{вх}$  с внутренним сопротивлением  $R_l$  и нагрузки  $R_n$  (рис. 35).

Для эквивалентной схемы (рис. 35) амплитуда переменного анодного тока

$$I_a = \frac{\mu \cdot U_{вх}}{R_l + R_n} \quad (2-17)$$

Амплитуда выходного напряжения

$$U_{вх} = I_a \cdot R_n = \frac{\mu \cdot U_{вх}}{R_l + R_n} \cdot R_n \quad (2-18)$$

Отношение выходного напряжения к входному называется динамическим коэффициентом усиления (коэффициент усиления по напряжению).

$$K_n = \mu_g = \frac{U_{вх}}{U_{вх}} = \frac{\mu \cdot U_{вх}}{(R_l + R_n) \cdot U_{вх}} \cdot R_n = \mu \cdot \frac{R_n}{R_l + R_n} \quad (2-19)$$

Т. е.  $\mu_g$  зависит от соотношения  $R_l$  и  $R_n$ . Динамическая крутизна также зависит от соотношения  $R_l$  и  $R_n$

$$S_g = S \cdot \frac{R_l}{R_l + R_n} \quad (2-20)$$

Построение величины анодного тока  $I_{a0}$  и анодного напряжения  $U_{a0}$  позволяют вычислить мощность, рассеиваемую на аноде

$$P_a = U_{ах} I_{a0} \quad (2-21)$$

Маркировка приёмно-усилительных триодов, как и диодов, состоит из 4-х элементов. Для второго элемента наиболее часто применяют буквы: С – одиодный триод, Н – двойной триод.

Пример: 6 НЗП – двойной триод «пальчиковой» серии, напряжение накала 6 В.

### Вопросы для закрепления материала

1. Назначение электродов триода.
2. В чём заключается принцип усиления сигнала триодом?
3. Как изменяется величина анодного напряжения при изменении сеточного напряжения?
4. Как изменяется положение анодно-сеточной характеристики при увеличении входного напряжения?
5. Как изменяется положение анодной характеристики при уменьшении сеточной характеристики?

6. Анодно-сеточные характеристики  $I_a = f(U_g)$  сняты при анодных напряжениях  $U_a = 60 \text{ В}$ ;  $U_a = 80 \text{ В}$ . Приrost тока  $\Delta I_a = 2 \text{ мА}$ ; приrost сеточного напряжения  $\Delta U_g = -2 \text{ В}$ . Найти значения параметров  $S$ ,  $R_p$ ,  $\mu$ ,  $D$ .

7. Заполнить в таблице недостающие цифры:

Тип лампы	$S$ [мА/В]	$R_p$ [кОм]	$\mu$	$D$
6 НЗП	1,5	—	22	—
00-248	2,1	—	32	—

8. Объяснить противофазность напряжения на входе и выходе усилителя на триоде.

## МНОГОЭЛЕКТРОДНЫЕ ЛАМПЫ

### § 3-1 УСТРОЙСТВО И РАБОТА ТЕТРОДА

Триод находит применение в каскадах усиления низкой и высокой частоты, но не является основным типом лампы из-за следующих недостатков:

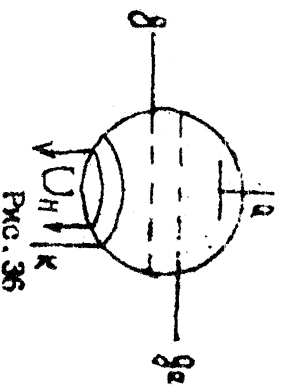
а) Значительная величина междуэлектродной ёмкости сетка-анод (катод). Она равна ёмкостям пикофард и при сигналах достаточно высоких частот даёт значительную проводимость между цепями анода и сетки (рис. 32).

Это даёт возможность переменному току из анодной цепи разветвляться через ёмкость  $C_{ag}$  в сеточную цепь. Значит, выходное напряжение воздействует обратно на вход лампы, т. е. имеет место обратная связь. Это может перевести триод из усиительного режима в генераторный режим.

б) Небольшой коэффициент усиления триода ( $\mu$ ). Если увеличить коэффициент усиления триода конструктивно (сделать сетку более густой), то тогда уже небольшое отрицательное напряжение на управляющей сетке будет записывать лампу, а потому все характеристики будут располагаться правее начала координат в области положительных сеточных напряжений.

Оба эти недостатка устраняются путём размещения между управляющей сеткой и анодом ещё одного электрода — экранирующей сетки. Лампа, имеющая катод, анод, управляющую сетку и экранирующую сетку называется тетродом.

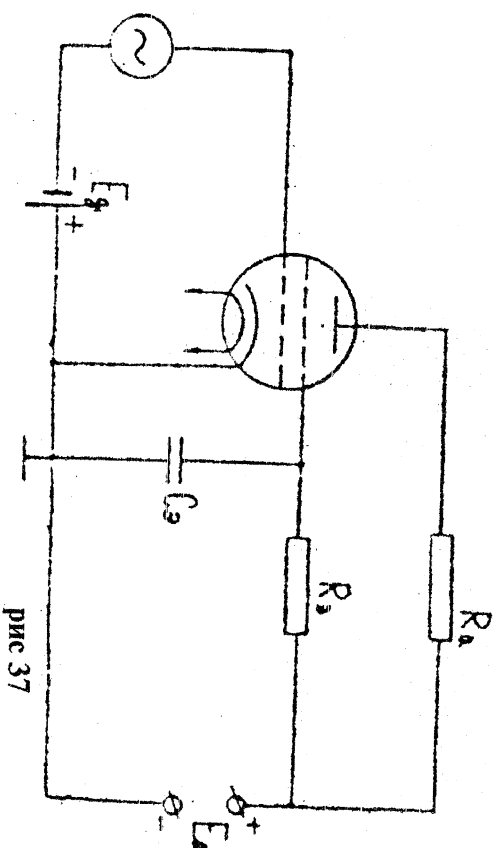
Условное обозначение тетрода показано на рис. 36



Управляющая сетка в тетроде располагается ближе к катоду, экранирующая — между управляющей сеткой и анодом.

Обычно экранирующая сетка бывает гуще, чем управляющая. Сетка  $g_2$  (экранирующая) в тетроде уменьшает ёмкость между анодом и управляющей сеткой до величины порядка сотых и даже тысячных долей пикофард, чем резко ослабляется обратная связь выходной цепи со входной.

Вместе с тем действие анодного поля на поверхность катода ослабляется двумя сетками, т. е. уменьшается проницаемость лампы или увеличивается коэффициент усиления тетрода ( $\mu$  в тетроде бывает равен нескольким сотням). Экранирующая сетка не должна иметь нулевой потенциал относительно катода, т. к. она в этом случае не будет давать электронам ускорения, необходимого для их движения к аноду. Поэтому на экранирующую сетку подают положительное напряжение от источника  $E_a$  через гасящее сопротивление  $R_g$ . Величина этого сопротивления берётся равной  $0,25 + 0,5$  от величины анодного напряжения (рис. 37). Между экранирующей сеткой и катодом должен включаться конденсатор  $C_g$ , создающий практически короткое замыкание этой сетки на катод для переменного тока частоты сигнала.





Этот конденсатор отводит переменный ток с экранирующей сетки на катод. Он также обеспечивает постоянство потенциала экранирующей сетки относительно катода.

Рассмотрим движение электронов в тетроде. Электроны, вылетевшие из катода, попадают в ускоряющее поле лампы и движутся через витки первой сетки по направлению ко второй. Часть электронов будет перехвачена положительно заряженной второй сеткой и создаст экранный ток  $I_s$  в её цепи. Другая часть, пройдя между витками, попадет на анод, создавая анодный ток  $I_a$ .

При наличии соотношения  $U_{g2} > U_a$  часть электронов, имеющих меньшие скорости движения, вернется в плоскость второй сетки и попадет на её витки, увеличивая ток экранной сетки. Наиболее быстрые электроны смогут достигнуть анода.

При  $U_{g2} < U_a$  все электроны, прошедшие через витки второй сетки, будут двигаться к аноду и достигнут его, увеличивая анодный ток  $I_a$ . Режим работы тетроды, при котором часть электронов, прошедших витки экранирующей сетки, возвращается на неё называется режимом возврата.

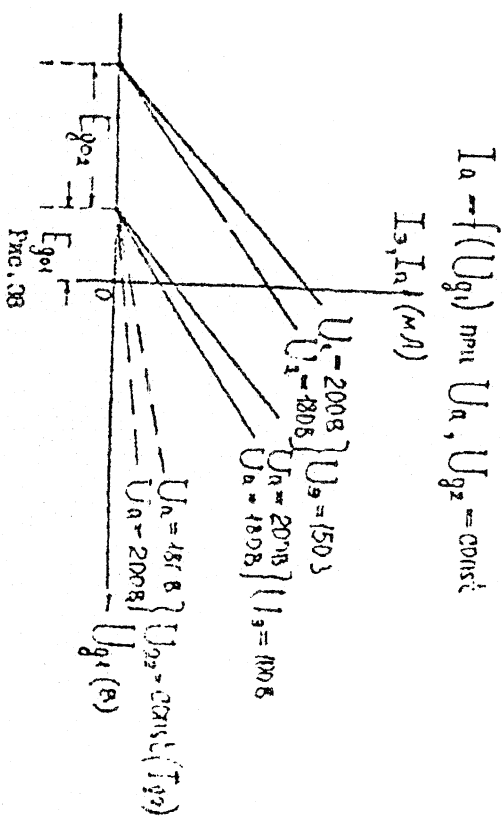
Режим, при котором все электроны, прошедшие плоскость экранирующей сетки, достигают анода называется режимом перехвата. Таким образом в тетроде всегда протекают два постоянных тока (при  $U_{g1} < 0$ ):

- ток экранной сетки  $I_{s0}$
- $+ E_a \rightarrow R_s \rightarrow (g_2 - k) \rightarrow L \rightarrow -E_a$
- ток анода  $I_{a0}$ :
- $+ E_a \rightarrow R_a \rightarrow (a - k) \rightarrow L \rightarrow -E_a$

### § 3-2. СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕТРОДА. ДИНАТРОННЫЙ ЭФФЕКТ, ЕГО УСТРАНЕНИЕ.

Работа тетрода описывается двумя характеристиками: анодно-сеточной и анодной.

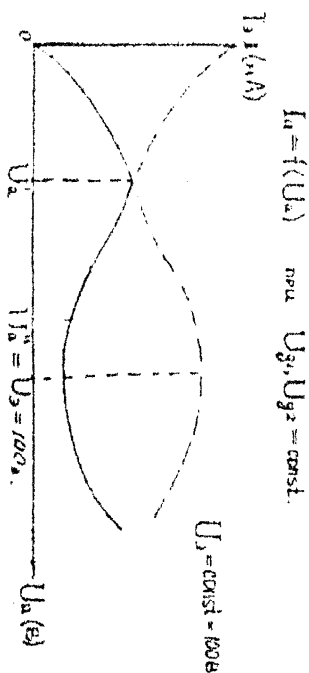
а) Анодно-сеточная характеристика показывает зависимость анодного тока от напряжения на управляющей сетке (рис. 38).



При изменении анодного напряжения характеристики не смещаются, как в триоде, а располагаются веерообразно. Это объясняется тем, что анодное напряжение почти не влияет на напряжение задержки  $E_{g0}$  и лишь слабо влияет на токораспределение: большому значению анодного напряжения соответствует большое значение анодного тока. Изменение же экранного напряжения  $U_{g2}$ , тем левее смещаются характеристики.

Характеристика  $I_s = f(U_{g1})$  при  $U_{a1}, U_{g2} = const$  начинается из той же точки, что и анодно-сеточная характеристика. Чем больше анодное напряжение  $U_a$ , тем меньше экранный ток  $I_{g2}$  т.к.  $I_{g2} = I_k - I_a$ .

б) Анодная характеристика показывает зависимость анодного тока от напряжения на аноде (рис. 39).



При напряжении  $U_a = 0$  ( $U_{g2} = 100$  В) анодный ток в тетроде отсутствует  $I_a = 0$ . Все электроны, достигая экранной сетки, участвуют в образовании экранного тока  $I_{ex}$ .

Возрастание анодного напряжения приводит вначале ( $U_a < U_g$ ) к пропорциональному увеличению анодного и уменьшению экранного тока. Дальнейшее увеличение анодного напряжения ( $U_a > U_g$ ) приводит к уменьшению анодного тока и увеличению экранного. Это явление называется динаotronным эффектом. В его основе лежит вторичная эмиссия с поверхности анода. При ударах достаточно быстрых электронов о поверхность металла часть энергии расходуется на нагрев, а часть передается непосредственно свободным электронам. Внутри металла, давая им возможность выхода во внешнее пространство.

При малых анодных напряжениях ( $U_a < U_g$ ) скорость первичных электронов мала и они могут вызвать вторичную эмиссию с поверхности анода. При определенном анодном напряжении ( $U_a = U_g$ ) возникает явление вторичной эмиссии с анода. Число вторичных электронов больше, чем число первичных. Поскольку потенциал экранной сетки больше анода ( $U_g < U_a$ ), то вторичные электроны притягиваются экранной сеткой и ток в ее цепи возрастает, а ток в цепи анода падает т.е.  $I_a = I_a + I_g$ .

Так продолжается до тех пор, пока анодное напряжение не станет равным экранному  $U_a = U_g$ .

С ростом анодного напряжения все большая часть вторичных электронов возвращается к аноду и анодный ток возрастает. Таким образом, характеристика анодного тока тетрода имеет провал ( $U_a' - U_a$ ). Провал характеристики тем глубже, чем больше напряжение на экранной сетке. Искривление характеристики лампы в результате динаotronного эффекта является значительным недостатком тетрода, ограничивающим его применение.

Для устранения динаotronного эффекта между анодом и экранной сеткой должна быть область с низким потенциалом, тормозящим движение вторичных электронов и возвращающим их на анод.

Такая область может быть создана путем увеличения плотности потока электронов, летящих к аноду.

Тетрод, в котором устраняется динаotronный эффект, имеет особую конструкцию и называется лучевым (рис. 40).

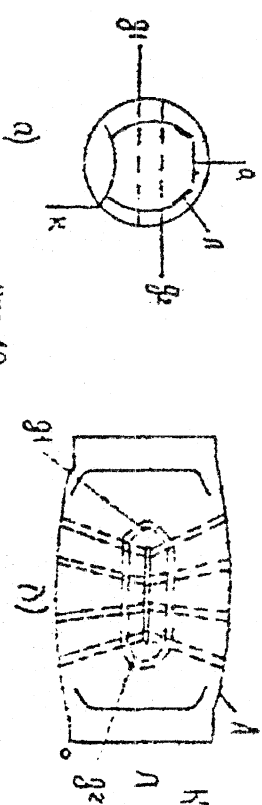


Рис. 40

В лучевом тетроде электронный поток концентрируется в узкие пучки — лучи.

Фокусировка электронного потока в вертикальной плоскости достигается с помощью специальных электродов Л, называемых лучеобразующими. Эти электроды имеют нулевой потенциал (соединены с катодом), поэтому в промежутке между ними и экранной сеткой создается электрическое поле, направляющее электроны на анод узким пучком.

Для фокусировки в горизонтальной плоскости витки управляющей сетки делаются с одинаковым шагом и размещаются друг против друга. Протока между витками отрицательно заряженной управляющей сетки, электроны собираются в узкие плоские пучки и пролетают мимо витков сетки, почти не оседая на них. Благодаря этому в лучевом тетроде ток экранной сетки оказывается гораздо меньше, чем при обычной конструкции сеток.

В результате двойной фокусировки электронного потока плотность пространственного заряда перед анодом в лучевом тетроде значительно повышается, что способствует созданию потенциального минимума у анода. Для дополнительного снижения минимума потенциала анод лучевого тетрода отодвигают от экранной сетки. Этот потенциальный минимум возвращает

режим пентода называют режимом возврата. Он характеризуется большим током экранирующей сетки и малым анодным током.

При большом напряжении на аноде все электроны, прошедшие плоскость второй сетки преодолевают тормозящее поле защитной сетки и достигают анода. Такой режим пентода называется режимом перехвата.

Во всех режимах поток электронов распределяется между экранирующей сеткой и анодом (при  $U_{g1} \leq 0, U_{g3} \leq 0$ ).

$$\text{Общий ток лампы } I_k = I_a + I_{g2}.$$

### § 3.4. СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПАРАМЕТРЫ ПЕНТОДА.

а) Анодно-сеточная характеристика представляет зависимость  $I_a = f(U_{g1})$  при  $U_a, U_{g2}, U_{g3} = \text{const}$ . Эта характеристика подобна характеристике лучевого тетрода. Характеристики, снятые при экранирующих, но разных анодных напряжениях, практически совпадают (рис. 43). Это объясняется еще более слабым влиянием анода, чем в тетроде, т.к. анод экранирован от катода тремя сетками.

Т.к. вторая сетка экранирована от катода только управляющей сеткой, то изменение экранирующего напряжения  $U_{g2}$  влияет значительно на положение характеристики, изменяя потенциал заширания лампы.

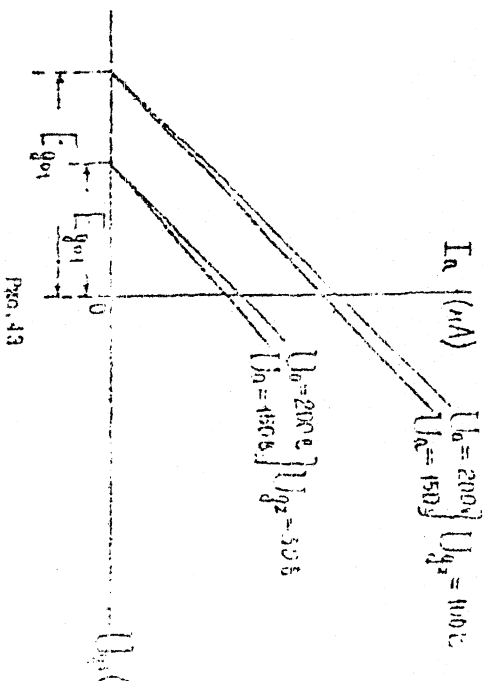


Рис. 43

Анодно-сеточная характеристика пентода, имеющего вид узкого веерообразного пучка, делает их неудобными для определения статических параметров.

б) Анодная характеристика представляет зависимость  $I_a = f(U_a)$  при  $U_{g1}, U_{g2}, U_{g3} = \text{const}$ . Семейство анодных характеристик снимается при различных значениях напряжения на управляющей сетке (рис. 44).

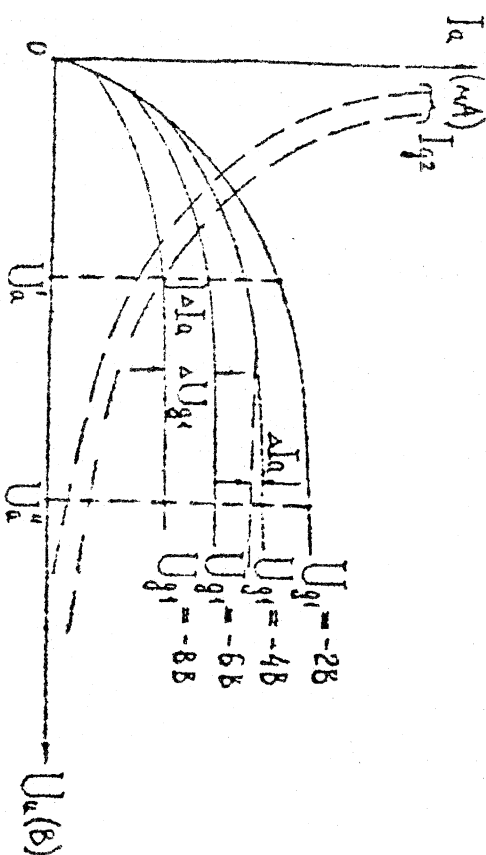


Рис. 44

На начальном участке характеристики наблюдается резкий рост анодного тока и спад тока экранирующей сетки. На участке  $(0 - U_a')$  пентод переходит из режима возврата в режим перехвата.

В режиме перехвата характеристики идут почти горизонтально, т.к. увеличение анодного тока происходит только за счет перераспределения потока электронов между экранирующей сеткой и анодом, что даст незначительный прирост анодного тока.

На анодные характеристики существенно влияет напряжение на управляющей сетке. Чем больше это напряжение, тем больше электронов преодолевают пространственный заряд. При этом увеличиваются токи анода и экранирующей сетки.

По анодным характеристикам можно определить основные статические параметры пентода. Пентод имеет более высокие параметры, чем триод, т.к. анодное напряжение в очень малой степени влияет на анодный ток.

1. Внутреннее сопротивление переменному току  $R_i$

$$R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} = \frac{U_a'' - U_a'}{\Delta I_a}$$

На пологих участках характеристики ( $U_a'' - U_a'$ ) величина  $R_1$  превышает  $1M\Omega$ .

2. Крутизна характеристики  $S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_{g1}}$  зависит от токораспределения между экранирующей сеткой и анодом ( $S > 10 mA/V$ ).

Часто применяются пентоды с переменной крутизной для регулировки коэффициента усиления схемы. Их характеристика выгнута влево и в разных точках имеет различную крутизну (рис. 45).

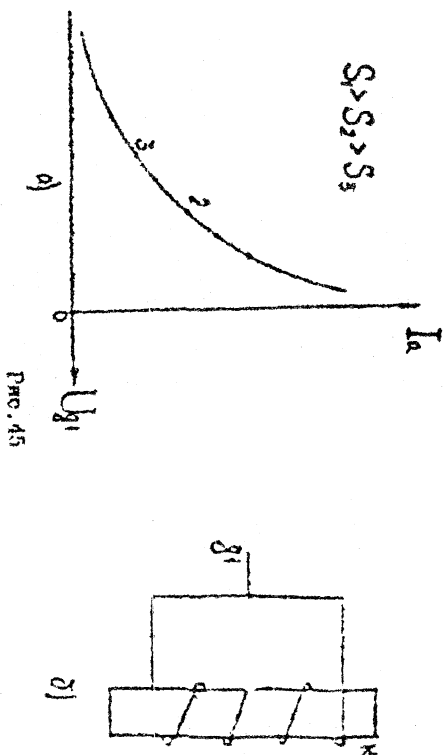


Рис. 45

Такая характеристика получается, если спираль управляющей сетки имеет переменный шаг намотки. При увеличении отрицательного сеточного напряжения сетка перестает пропускать электроны в тех местах, где ее шаг меньше, и электроны пролетают только с той части поверхности катода, которая находится против витков с большим шагом. Уменьшение эффективной поверхности катода приводит к уменьшению крутизны лампы.

3. Коэффициент усиления пентода

$$\mu = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_{g1}}$$

зависит от режима работы лампы и может быть больше тысячи.

### § 3-5. ДВОЙНОЕ УПРАВЛЕНИЕ АНОДНЫМ ТОКОМ ЛАМПЫ.

Пентод, у которого защитная сетка имеет отдельный вывод, может использоваться как лампа с двойным управлением анодным током (от двух независимых источников сигнала рис. 46).

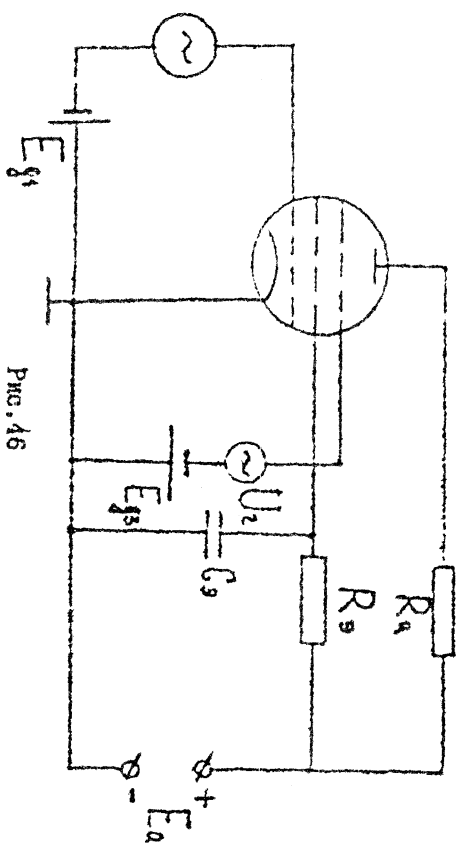


Рис. 46

К управляющей сетке подводится напряжение входного сигнала  $U_1$ , а к защитной сетке напряжение специального генератора  $U_2$ .

Изменение напряжения на управляющей сетке сопровождается изменением всех токов пентода ( $I_k, I_a, I_g$ ). Чем меньше потенциал сетки  $g1$ , тем меньше эти токи.

Изменение напряжения на защитной сетке приводит перераспределению электронного потока между анодом и экранной сеткой.

При увеличении отрицательного потенциала сетки  $g3$  тормозящее поле вблизи анода увеличивается и часть электронов, пролетевших плоскость экранирующей сетки, возвращаются в нее, увеличивая экранирующий ток. Соответственно анодный ток лампы уменьшается. Чем больше отрицательное напряжение на  $g3$ , тем меньше электронов принимает участие в создании анодного тока и тем меньше крутизна характеристики анодного тока (рис. 47).

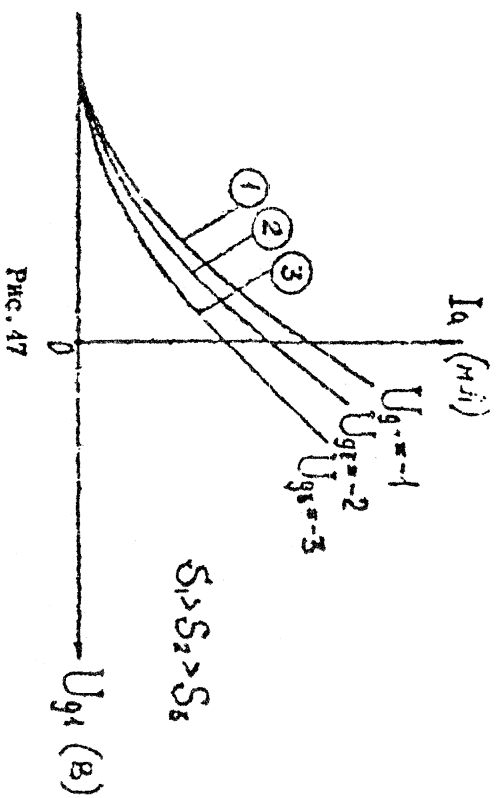


Рис. 47

Возможность изменять крутизну характеристики анодного тока лампы позволяет использовать пентод как лампу с переменными параметрами. При совместном действии напряжений  $U_c$  и  $U_2$  в анодной цепи лампы возникает ток сложной формы. В состав этого тока входят гармонические составляющие с частотами  $f_{np} = f_c \pm f_2$ . Это явление используется в супергетеродинном приемнике для преобразования частоты принимаемого сигнала.

Для целей преобразования частоты применяют специальные многосеточные лампы.

Наибольшее распространение получила семилэктродная лампа геттод (рис. 48).

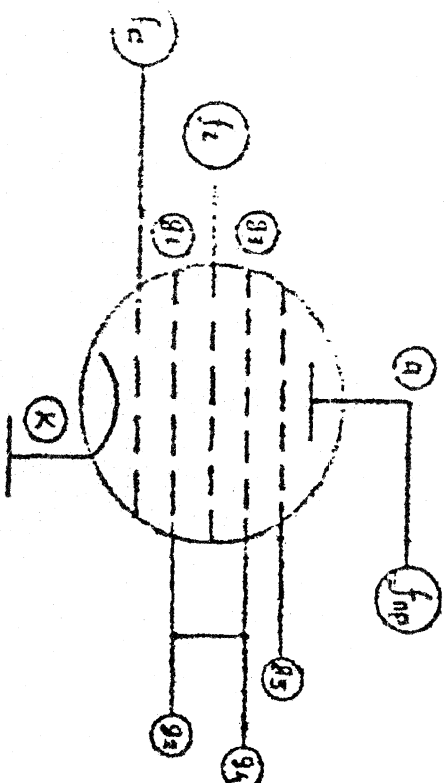


Рис. 48

$g_1$  - сигнальная сетка, на нее подается напряжение входного сигнала  $U_c$ ;

$g_2, g_4$  - экранирующие сетки, имеют общей вывод, на который подается постоянное напряжение  $U_1$ ;

$g_3$  - гетеродинирующая сетка, на которую подается напряжение гетеродина  $U_2$ ;

$g_5$  - защитная сетка.

Для преобразования частоты также применяются комбинированные лампы, где в одном баллоне триод-пентод, триод-пентод и т.д.).

### Вопросы для закрепления материала

1. Перечислить основные недостатки триода
2. Пояснить назначение экранирующей сетки в тетроде
3. Изобразить схему включения тетрода в электрическую цепь
4. Объяснить причину провала в анодной характеристике тетрода
5. Как устраняется динаatronный эффект в лучевом тетроде
6. Изобразить схему включения пентода в электрическую цепь
7. Пояснить назначение защитной сетки в пентоде
8. Почему в пентоде влияние анодного напряжения на величину анодного тока незначительно
9. Объяснить принцип двойного управления анодным током в пентоде
10. Почему в пентоде значения параметров  $M, S, R_1$  больше, чем в других лампах

### ГАЗОРАЗРЯДНЫЕ ПРИБОРЫ. ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫЕ ТРУБКИ

#### 4-1. ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ТОКА ЧЕРЕЗ ГАЗ

Наряду с электронными приборами широко используются приборы, работа которых основана на прохождении электрического тока через газ. Такие приборы называют газоразрядными или ионными.

Носителями зарядов в газоразрядных приборах являются не только электроны, но и ионы газа. При столкновении электрона (электроны вместе с ионами всегда имеются за счет естественной ионизации) с нейтральными атомами газа, последний расщепляется на положительный ион и свободный электрон. Этот процесс называется ударной ионизацией. Положительные ионы не ионизируют положительные атомы, но, ударяясь о катод, выбивают из него вторичные электроны, поэтому процесс ударной ионизации — непрерывен.

Одним из свойств газоразрядного прибора является то, что его сопротивление изменяется в широких пределах и зависит от ударной ионизации и величины тока в цепи. Сопротивление может оказаться настолько малым, что приведет к короткому замыканию источника. Поэтому последовательно с прибором включают сопротивление, ограничивающее величину тока в цепи (рис 49).

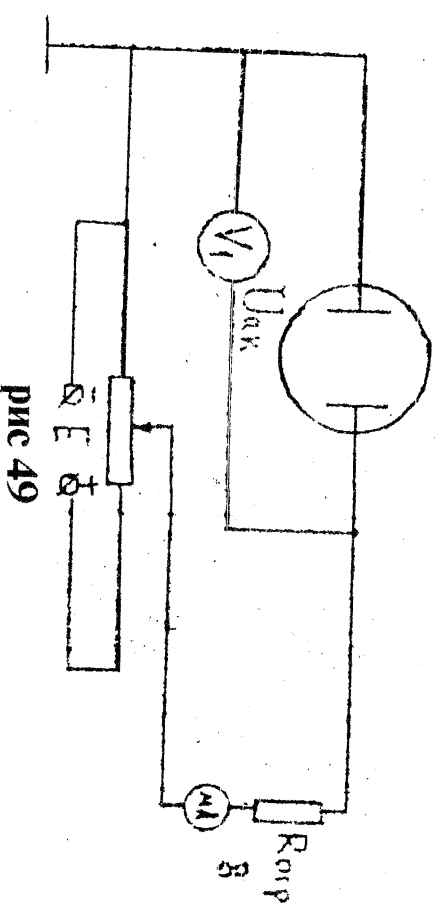


рис 49

При некотором напряжении на электродах прибора в цепи появится ток. Наименьшее значение напряжения при котором возникает ионизация, называется напряжением зажигания.

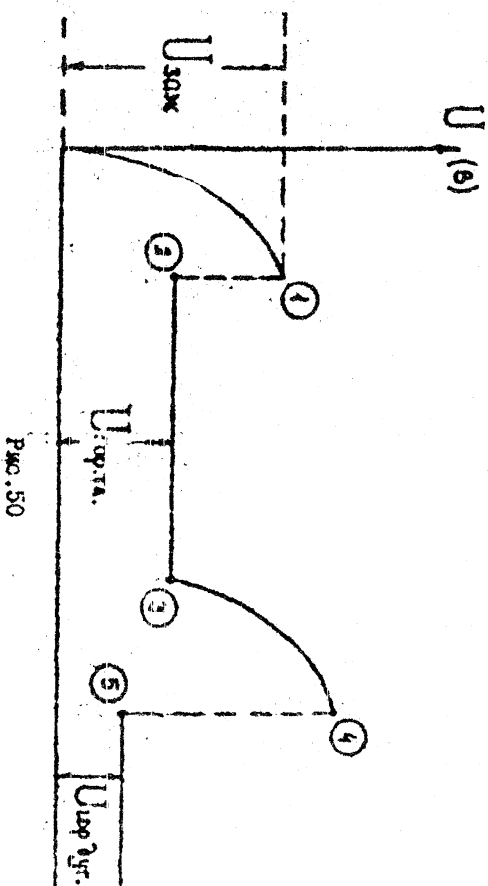
Схемой рис. 49 можно снять вольтамперную характеристику прибора,

т.е. зависимость падения напряжения на нем от величины тока в цепи (рис. 50).

На участке 0-1 напряжение мало и ионизации не возникает, ток

ничтожно мал, сопротивление прибора соизмеримо с величиной сопротивления

$R_{\text{кор}}$



При напряжении  $U=U_{30\%}$  наступает процесс ионизации, сопротивление прибора резко падает, ток в цепи создает падение напряжения на сопротивлении  $R_{\text{кор}}$ , поэтому напряжение на приборе падает до т.2.

Если ток в цепи возрастает ( $R_{\text{кор}}$  уменьшается) то должно увеличиться падение напряжения на приборе, однако даже небольшое увеличение напряжения увеличивает интенсивность ионизации и уменьшает сопротивление прибора. Этим объясняется неизменное напряжение, которое в установившемся режиме называется напряжением тления (участок 2-3).

На этом участке электроны выбиваются только с малого участка катода (холодного), а разряд называется тлеющим. Он характеризуется малым током, значительным напряжением тления и независимостью напряжения от тока на участке 2-3.

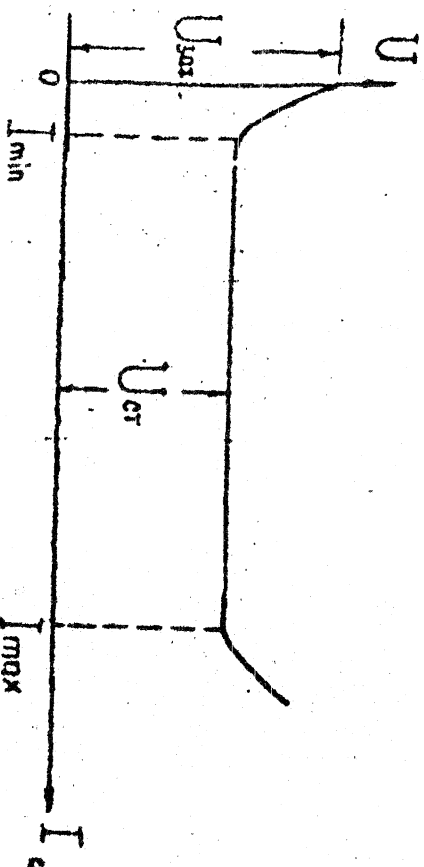
Дальнейшее повышение тока в цепи возможно только при большом напряжении (т.4), когда под действием ионной бомбардировки катода, последний разогревается, а с его поверхности начинается термоэлектронная эмисия. Количество электронов резко возрастает, что приводит к резкому уменьшению сопротивления прибора и уменьшению падения напряжения между электродами до величины  $U_{\text{н.д.}}$ . Разряд, сопровождающийся термоэлектронной эмисией, называется дуговым.

В приборах с не накаливаемым катодом дуговой разряд допустим кратковременно, иначе катод расплавится.

#### 4.2. ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ГАЗОРАЗРЯДНЫХ ПРИБОРОВ.

##### а) Стабилитрон.

Применяется для поддержания напряжения на нагрузке неизвестным при изменении напряжения источника или сопротивления нагрузки. Использует свойства тлеющего разряда. Состоит из баллона и двух электродов (анод, катод). Баллон наполнен аргоном, неоном или смесью газов. Вольтамперная характеристика приведена на рис. 51.



$U_{ст}$  — напряжение стабилизации (горения);

$I_{мин}$  — наименьший ток, необходимый для горения стабилитрона;

$I_{max}$  — максимальный ток при котором напряжение на стабилитроне остается равным  $U_{ст}$ .

Схема включения стабилитрона приведена на рис. 52.

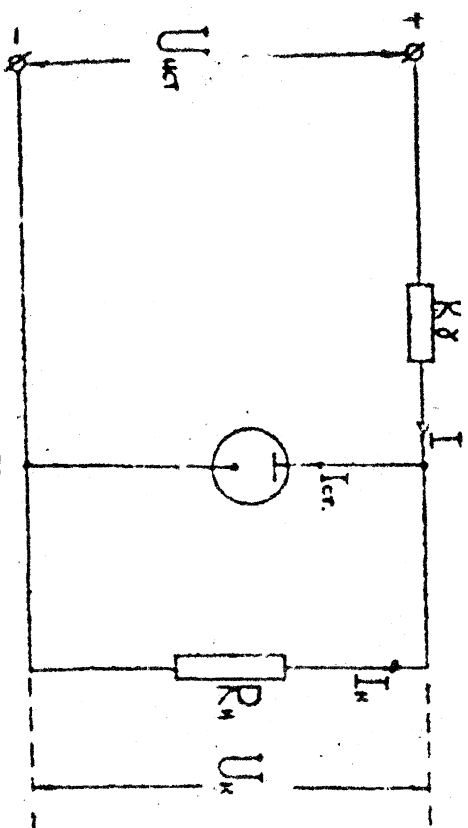


рис 52

Так как нагрузка и стабилитрон соединены параллельно, то

$$U_{ст} = U_{н} = U_{ист} - U_{R_б} = U_{ист} - I * R_б$$

где  $R_б$  — балластное сопротивление.

При увеличении  $U_{ист}$ , сопротивление стабилитрона уменьшается, а ток через него увеличивается.

За счет этого увеличивается напряжение  $R_б$ ,  $U_{ст} = U_{н}$  остается неизменным.

При уменьшении  $U_{ист}$  ток через стабилитрон уменьшается, а напряжение на стабилитроне не меняется.

Напряжение на нагрузке остается постоянным не только при изменении напряжения источника, но и при изменении самой нагрузки.

#### 6) Газотрон (рис. 53).

Это газоразрядная двухэлектродная лампа с накаливаемым катодом, в котором используется равномерность дугового разряда. Газотроны имеют мощный оксидный катод и заполняются инертным газом. Напряжение зажигания называют минимальное положительное напряжение на аноде, при котором в газотроне возникает ионизация.

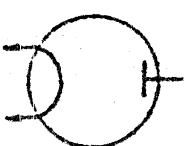


рис 53

Это напряжение обычно невелико, так как уже при этом напряжении скорости электронов достигают величин, достаточных для возбуждения ионизации.

Ионизация может возникнуть и при отрицательном напряжении на аноде. Минимальное отрицательное напряжение на аноде, при котором продолжается ионизация, называется напряжением обратного зажигания ( $U_{обр}$ ).

При этом напряжении скорость положительных ионов становится достаточной, чтобы вызвать вторичную эмиссию с поверхности анода.

Ввиду большой массы ионов для этого требуется поле большей напряженности, поэтому  $U_{обр} = 1000V$ .

Если газотрон включить в цепь переменного тока с напряжением, меньшим  $U_{обр}$ , то газотрон будет закидаться и пропускать ток только во время положительного напряжения на аноде, т. е. в этом случае газотрон обладает односторонней проводимостью и может использоваться для выпрямления переменного тока.



### в) Тиратрон (рис.54)

это газоразрядная лампа, в которой имеется сетка. Баллон заполняется парами ртути, водородом, инертным газом. Сетка служит для управления величиной напряжения зажигания и располагается так, чтобы электронное поле анода не попадало на катод, минуя сетку.

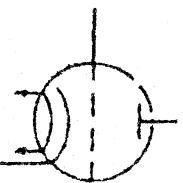


рис 54

Одним из свойств тиратрона является то, что напряжение на сетке не влияет на величину тока рабочего тиратрона. Это объясняется нейтрализацией отрицательного заряда сетки положительными ионами, осевшими на нем.

Потенциал сетки остается практически равным нулю, поэтому изменение отрицательного напряжения на сетке (в пределах нескольких десятков вольт) не изменяет процессов в анодной цепи и не позволяет погасить тиратрон. Напряжение на сетке определяет напряжение зажигания тиратрона, поэтому зажечь тиратрон можно увеличением анодного положительного напряжения на аноде или уменьшением отрицательного напряжения на сетке. Тиратрон применяют в качестве электронного реле.

## 4.3 НАЗНАЧЕНИЕ И ТИПЫ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫХ ТРУБОК

### (ЭЛТ)

ЭЛТ представляют собой разновидность ЭВП. Являясь практически безинерционным прибором, ЭЛТ позволяет наблюдать процессы весьма малой длительности, и, в общем случае, предназначена для наблюдения переодических и непрерывных электронных процессов. В трубках происходит преобразование электрических сигналов в видимое изображение. К таким трубкам относят кинескопы, индикаторные радиолампорные трубки, осциллографические трубки и т.д.

ЭЛТ по способу фокусировки и отклонения луча делятся на два основных типа:

1. ЭЛТ с электрическим управлением, в которых фокусировка и отклонение луча производятся электрическим полем.
2. ЭЛТ с магнитным управлением, в которых фокусировка и отклонение луча производится магнитным полем.

Иногда используется комбинационное управление лучом (кинескоп). ЭЛТ состоит из трех основных элементов:

- электронной пушки, создающей узкий электронный луч;
- отклоняющие системы (для отклонения луча от оси трубки);
- флуоресцирующего экрана для индикации положения электронного луча.

## 4.4 ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ ТРУБКА С ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ (рис.55).

### а) Электронная пушка.

В состав электронной пушки входят: катод, управляющий электрод, первый и второй аноды.

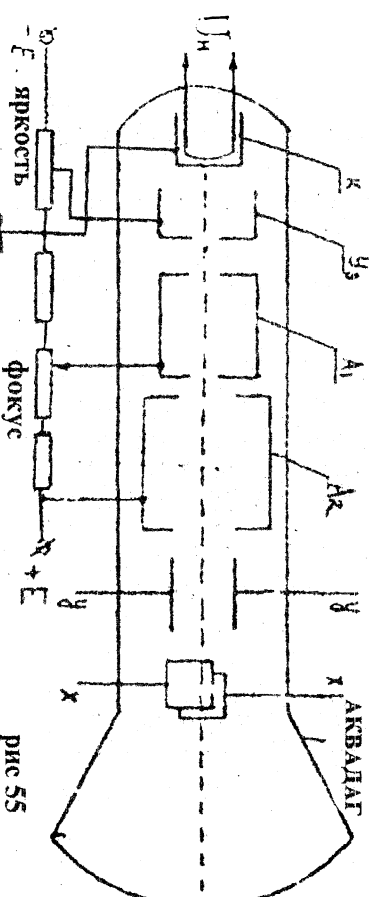


рис 55

Катод (оксидный) имеет плоскую поверхность и электроны излучаются узким лучом в направлении экрана.

Управляющий электрод предназначен для регулирования яркости пятна на экране. Выполнен в виде цилиндра, окружающего катод.

На управляющий катод подается небольшое отрицательное относительно катода напряжение. Изменяя это напряжение потенциальным методом 'яркость' можно регулировать величину тока луча (аналогично влиянию управляющей сетки на анодный ток). Первый и второй аноды  $A_1$  и  $A_2$  выполнены также в виде цилиндров, но второй имеет больший диаметр. К первому аноду подводится напряжение  $+300+1000\text{В}$ , на второй анод подается большее напряжение  $1000+16000\text{В}$ .

Принцип работы трубки состоит в следующем:

Катод излучает электроны. Под действием электронного поля между первым электроном и катодом электроны получают ускорение и пролетают сквозь диафрагмы в первом аноде. Из первого анода электроны расходятся в виде узкого расходящегося луча.

Электрическое поле между первым и вторым анодом называется фокусирующим, оно изменяет траектории электронов так, что выходя из второго анода электроны сдвигаются, приближаясь к оси трубки.

Фокусировка луча в некоторой степени осуществляется управляющим электродом, при большем отрицательном потенциале луч сужается. Однако основная фокусировка луча производится системой анодов  $A_1$  и  $A_2$ .

Потенциал второго анода  $A_2$  выше, чем потенциал первого  $A_1$ . Между ними образуется поле, направленное  $A_2$  от  $A_1$  (рис.56).

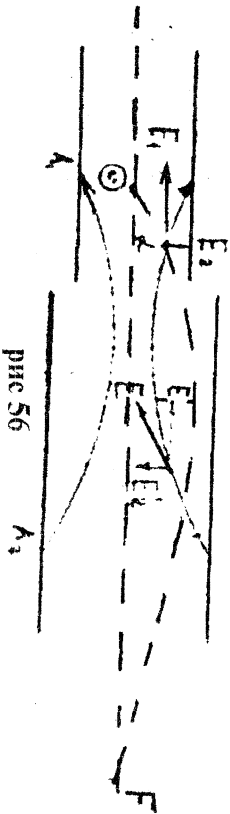


рис 56

На электрон, попадающий в поле, действует сила, направленная в каждой точке поля по касательной к силовой линии. Продольная составляющая действует на электрон с силой  $F_1 = -eE_1$ , ускоряющей его вдоль оси трубки. Поперечная действует на электрон с силой  $F_2 = -eE_2$ , прижимающей его к оси трубки. Поэтому электрон, вылетевший в поле под углом  $A$  к оси, по мере своего движения отклоняется к оси трубки. (Причем, чем больше угол  $A$ , тем больше сила, прижимающая его к оси). На участке второго анода картина поля и электрон отклоняется от оси трубки. Однако действие поля на участке первого анода преобладает над действием поля на участке второго анода по следующим причинам:

1. первый анод имеет меньший диаметр, чем второй, и, следовательно, изгиб электрических силовых линий вблизи оси трубки больше на участке первого анода.
2. Электроны двигаются по второму аноду с ускорением, т.е. проходят неблагоприятный участок с большей скоростью, чем участок первого анода.

В силу этого траектория электронного луча в трубке будет иметь следующий вид (рис57).

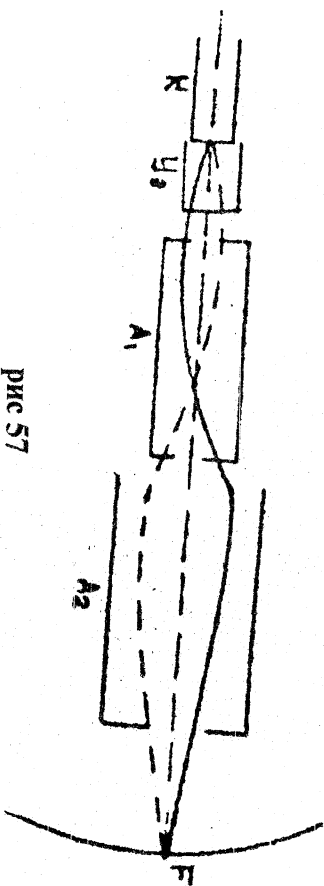


рис 57

Траектория электронов, прошедших поле анодов  $A_1$   $A_2$ , пересекаются в точке  $F$ . Изменяя потенциал первого анода потенциометр фокус, можно регулировать напряженность фокусирующего поля таким образом, что точка  $F$  остается на экране

## 6) Экран

при падении на экран электронов их кинетическая энергия частично превращается в световую, т.к. экран покрывается специальным веществом, способным флуоресцировать, т.е. светится в местах бомбардировки его электронами. светящиеся покрытия экранов, называются люминофорами, определяют света и длительность свечения экрана, луч выбивает из экрана вторичные электроны, которые улавливаются проводящим графитовым слоем – аквадагом, нанесенным на внутреннюю поверхность трубки. Кроме того аквадаг выполняет роль электростатического экрана, предохраняющего электронный поток от воздействия внешних полей.

При эксплуатации ЭЛТ нельзя долго оставлять луч неподвижным, т.к. в месте нахождения луча ослабляется яркость. Работать при большой яркости луча можно лишь в течении короткого времени и только, если он перемещается по экрану.

## в) Отклоняющая система.

Отклоняющая система состоит из двух пар взаимно перпендикулярных пластин, позволяющих получить на экране трубки график исследуемого процесса в прямоугольной системе координат.

Для отклонения луча по горизонтали (линия развертки)

На пластины ХХ подается пилообразное напряжение, изменяющееся по периодическому закону. При этом скорость перемещения луча по экрану будет постоянной (т.к. напряжение линейно). Тогда луч пройдет за равные промежутки времени одинаковые расстояния вдоль линии развертки. От быстрого изменения лавинообразного напряжения зависит скорость движения луча по экрану. Амплитуда напряжения развертки  $U_p$  определяет величину отклонения луча, т.е. длину линии развертки.

К вертикально отклоняющим пластинкам УУ подводится исследуемое напряжение (допустим,  $U_c = U_m \sin \omega t$ ), перемещающее луч по вертикали. При одновременном воздействии напряжений развертки и сигнала луч будет очерчивать на экране диаграмму исследуемого напряжения (рис.58)

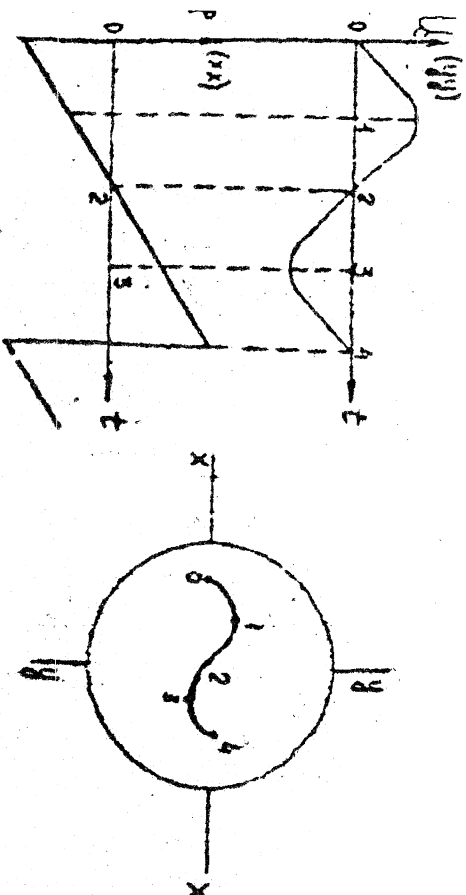


Рис.58

Для центрирования изображения напряжения на пластинках ХХ и УУ кроме переменных напряжений подаются постоянные напряжения, величину которых можно регулировать и тем самым перемещать изображение по вертикали и горизонтали.

ЭЛТ с магнитным управлением имеет ряд преимуществ перед трубками с электростатическим управлением:

1. Светящиеся пятно получается на экране меньше.
2. Геометрическая длина фокусирующей системы, расположенной вне трубки, получается меньше, поэтому горловина трубки может быть сделана короче.
3. Можно получить большой угол отклонения луча, т.к. внутри трубки нет пластин. Поэтому экран имеет большой размер.

### Вопросы для закрепления материала.

1. Изобразить схему включения газоразрядного прибора в электрическую цепь. Каково назначение ограничительного сопротивления?
2. Объяснить причину неизменности напряжения на участке тлеющего разряда.
3. Схема включения стабилизатора в электрическую цепь. Принцип стабилизации напряжения.
4. Назначение электродов электронной пушки ЭЛТ.
5. Как изменить положение точки "Г" на экране при увеличении напряжения второго анода.
6. Как изменить яркость пятна на экране трубки, если увеличить напряжение на управляющем электроде
7. Пояснить принцип получения изображения исследуемого напряжения на экране ЭЛТ.

### ЛИТЕРАТУРА.

- Батушев В. А. "Электронные элементы военной техники связи". Изд-во МО СССР 1980г.
- Быков И. Б. и др. Радиодетали. ВАС 1974г.
- Гапонов В. И. Электроника. Физматгиз 1970г.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

стр.	
Введение.....	
<u>Двуэлектродная лампа.</u>	
§ 1-1. Общие сведения об электронной лампе.....	2
§ 1-2. Принцип действия диода.....	7
§ 1-3. Анодная характеристика диода.....	9
§ 1-4. Статические параметры диода.....	12
§ 1-5. Типы диодов.....	15
<u>Трехэлектродные лампы.</u>	
§ 2-1. Устройство триода.....	19
§ 2-2. Статические характеристики триода.....	21
§ 2-3. Параметры триода.....	26
§ 2-4. Динамический режим триода.....	34
§ 2-5. Динамические характеристики триода.....	35
§ 2-6. Построение сеточной динамической характеристики.....	38
§ 2-7. Усилитель на триоде.....	39
<u>Многоэлектродные лампы</u>	
§ 3-1. Устройство и работа тетрода.....	46
§ 3-2. Статические характеристики тетрода.....	49
§ 3-3. Динамический эффект, его устранение.....	53
§ 3-4. Устройство и работа пентода.....	58
§ 3-5. Статические характеристики и параметры пентода.....	55
Двойное управление анодным током лампы	55
<u>Лазоразрядные приборы. Электронно-лучевые трубки</u>	
Физические процессы при прохождении тока через газ.....	62
§ 4-1. Основные типы газоразрядных приборов.....	63
§ 4-2. Назначение и типы электронно-лучевых трубок.....	66
§ 4-3. Электронно-лучевые трубки с электростатическим управлением.....	67
§ 4-4. Вопросы для закрепления материала.....	72
Литература.....	73

Стефаненко Павло Вікторович

## ЕЛЕКТРОВАКУУМНІ ПРИЛАДИ

Учебный посібник

Рекламно-видавнича агенція „КонДТУ“  
83000, м. Донецьк, вул. Артема, 58,  
Приймачий інститут, 9-й учбовий корпус  
Тел.: (0622) 99-99-94, 90-36-31

Редактирование, корректура и редакционно-техническое оформление Ю. В. Кошкарновой  
Компьютерная верстка В. Л. Хомченко

Подписано в печать 17.09.2000 г. Формат 60×84 1/8. Бумага PolSpeed. Печать цифровая трафаретная. Усл. печ. л. 8,49. Уч.-изд. л. 8,15. Тираж 200 экз. Заказ № 609. Цена договорная.