

ЛЕКЦИЯ №17

По дисциплине:

«Электроника и электротехника»

Тема №:11

Электровакуумные приборы

Занятие №:11

Электровакуумные приборы

Учебные вопросы:

1. Устройство и принцип действия электровакуумных приборов.
2. Электронно-лучевые трубки
3. Газоразрядные приборы.
4. Специальные электровакуумные приборы

Литература для самостоятельной работы обучающихся:

1. **Иванов, И. И.** Электротехника и основы электроники: учебник. – 9-е изд., стер/ И.И. Иванов, Г.И. Соловьев, В.Я Фролов. – СПб: Лань, 2017. – 736 с.
2. **Касаткин, А.С.** Электротехника: учебник/ А.С. Касаткин, М.В. Немцов. – 12-е изд. стер. – Москва.: Академия, 2008. – 544 с. – и предыдущие издания.

б) дополнительная литература:

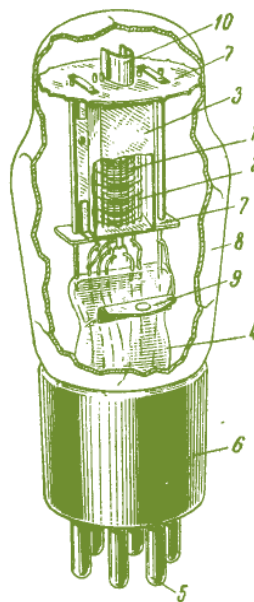
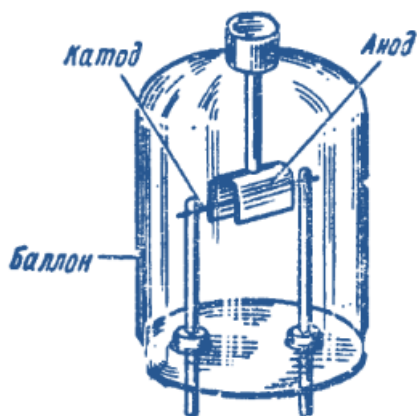
3. **Немцов, М. В.** Электротехника и электроника: учебник/ М. В. Немцов. – Москва: КноРус, 2016. – 560 с. – и предыдущие издания.

Устройство и принцип действия электровакуумных приборов

Основной частью является система *электродов*, иначе *разрядная система*, так как внутри ее происходит электрический разряд. В разрядную систему входит термоэлектронный катод 1, сетки 2 и анод 3.

Все электроды разрядной системы монтируются на стеклянной ножке 4, через которую проходят и их вводы, присоединяемые к штырькам 5 цоколя 6. Слюдяные пластины 7 фиксируют положение системы электродов. Стеклянная ножка сваривается с баллоном 5, из которого затем откачивается воздух. Газопоглотитель 9 поддерживает высокий вакуум в баллоне в течение всего времени работы лампы. На траверсах управляющей сетки располагаются охлаждающие пластины

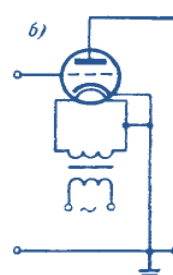
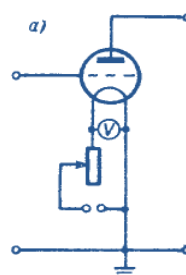
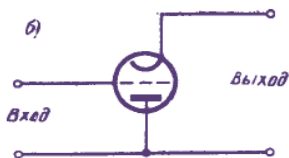
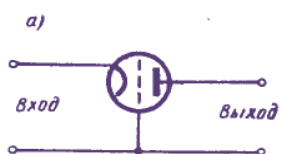
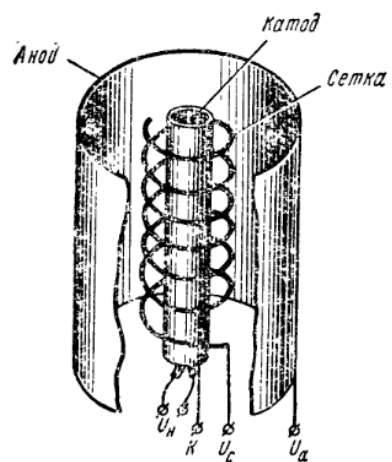
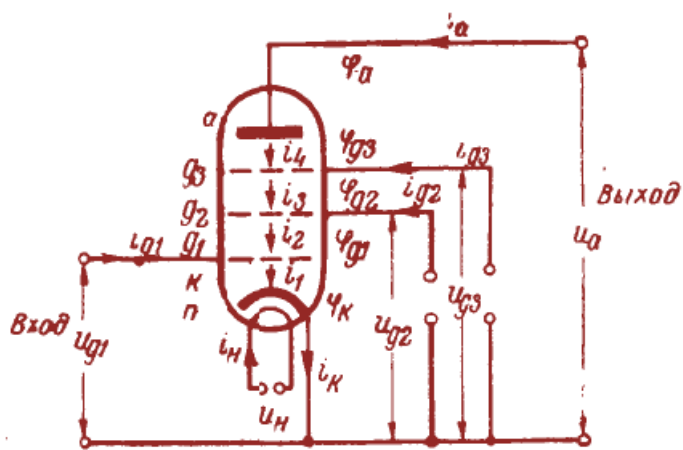
По назначению различают усилительные, генераторные, модуляторные, частотопреобразовательные, выпрямительные, измерительные и т. п. электронные лампы



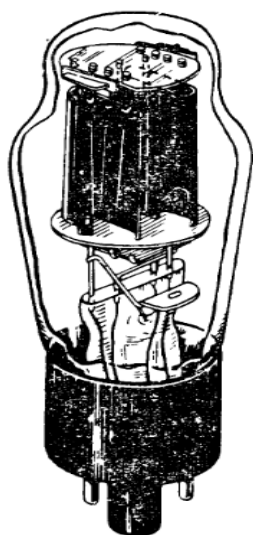
Условное обозначение и схемы включения

Устройство триода и схемы его включения

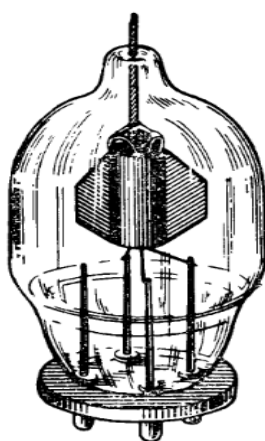
Подогревные катоды более перспективны, чем прямонакальные. Они обладают большей прочностью и без опасности разрушения могут работать при более высоких температурах. Более высокая температура и большая поверхность позволяют получить большие эмиссионные токи. Однако экономичность подогревного катода при этом ниже, чем у прямонакального. Значительное сопротивление длинной нити подогревателя приводит к уменьшению тока накала и увеличению напряжения источника, питающего цепь накала.



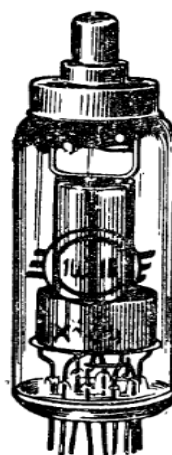
Кенотроны



Двуханодный кенотрон



Высоковольтный кенотрон



Высоковольтный кенотрон для телевизионных приемников

Электровакuumные фотоэлементы и фотоэлектронные умножители

Фотоэлементы. Фотоэлементы работают на принципе фотоэлектронной эмиссии. Фотоэлектронной эмиссией называется процесс выхода электронов из твердых или жидких тел под действием света. Фотоэлектронная эмиссия была исследована в 1887—1889 гг. профессором Московского университета А. Г. Столетовым, который открыл ее основной закон и создал первые фотоэлементы.

Если в вакууме на металлическую пластинку, покрытую светочувствительным слоем, направить световой поток, то из поверхности светочувствительного слоя будут выходить электроны. Расположим в непосредственной близости от поверхности светочувствительного слоя положительно заряженный электрод (рис. 32). Очевидно, что электроны, вылетающие из светочувствительного слоя, будут притягиваться этим электродом, создавая во внешней цепи ток.

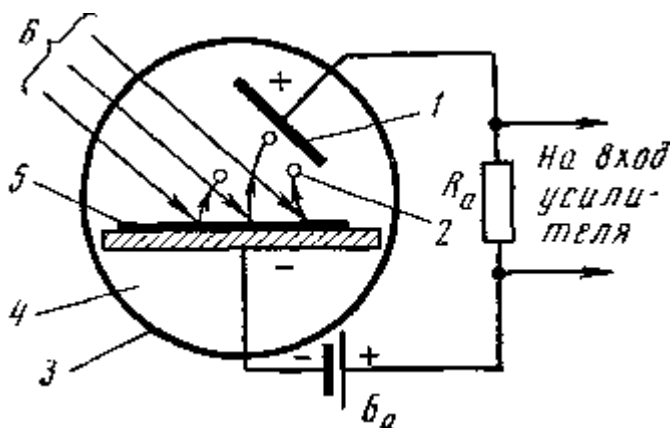


Рис. 32. Принцип действия электровакuumного фотоэлемента:

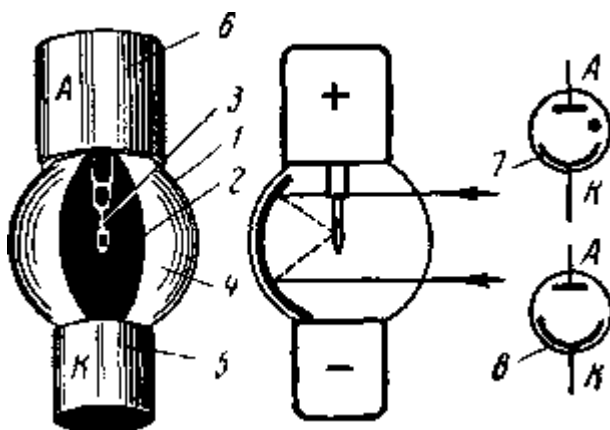


Рис. 33. Устройство электровакuumного фотоэлемента:

1 — стеклянная колба, 2 — фотоэлектронный катод, 3 — анод, 4 — прозрачное окно, 5 — вывод фотоэлектронного катода, 6 — вывод анода, 7 — условное обозначение нонного фотоэлемента, 8 — условное обозначение электронного фотоэлемента, А — анод, К — катод

Электрод, способный под действием света излучать электроны, называется фотоэлектронным катодом, или катодом фотоэлемента. Положительно заряженный электрод, к которому притягиваются электроны, называется анодом фотоэлемента.

Для использования энергии возникающего тока в цепь фотоэлемента включают резистор нагрузки R_a (активное сопротивление), на котором происходит некоторое падение напряжения.

Согласно основному закону фотоэлектронной эмиссии величина тока в цепи фотоэлемента пропорциональна падающему световому потоку. Если падающий световой поток будет изменяться, на R_a будет создаваться пульсирующее падение напряжения, переменную составляющую которого подводят к входу усилителя. В промышленных типах фотоэлементов сурьмяно-цезиевый или кислородно-цезиевый катод наносят на часть внутренней поверхности стеклянной колбы, а анод выполняют в виде кольца или пластинки, которую размещают так, чтобы она не препятствовала попаданию светового потока на катод (рис. 33).

Из колбы тщательно откачивают воздух, а для возможности быстрого и правильного включения в схему к колбе приклеивают цоколь с токоподводящими контактами или металлические цилиндры, соединенные с выводами анода и катода.

Иногда внутреннее пространство колбы заполняют разреженным инертным газом — аргоном. Электровакуумные фотоэлементы с ВЫСОКИМ вакуумом называются электронными, а фотоэлементы, наполненные газом, — ионными.

В ионных фотоэлементах электроны, вылетающие из катода, при своем полете к аноду ионизируют инертный газ, в результате чего появляются дополнительные электроны, которые тоже летят к аноду. Этот процесс увеличивает чувствительность фотоэлемента, но в то же время ухудшает его частотную характеристику.

Чувствительностью фотоэлемента называется величина, показывающая, какой ток дает фотоэлемент при световом потоке в 1 люмен (лм). Чувствительность измеряется в мкА/лм.

Фотоэлектронные умножители. Устройство. Электронные и ионные фотоэлементы имеют сравнительно малую чувствительность, поэтому был разработан новый тип фотоэлектрического прибора — однокаскадный фотоэлектронный умножитель (рис. 34), который обладает значительно большей чувствительностью и может работать при сравнительно невысоких питающих напряжениях.

При изготовлении фотоэлектронного умножителя на внутренней поверхности стеклянной колбы с помощью распылителя соз-

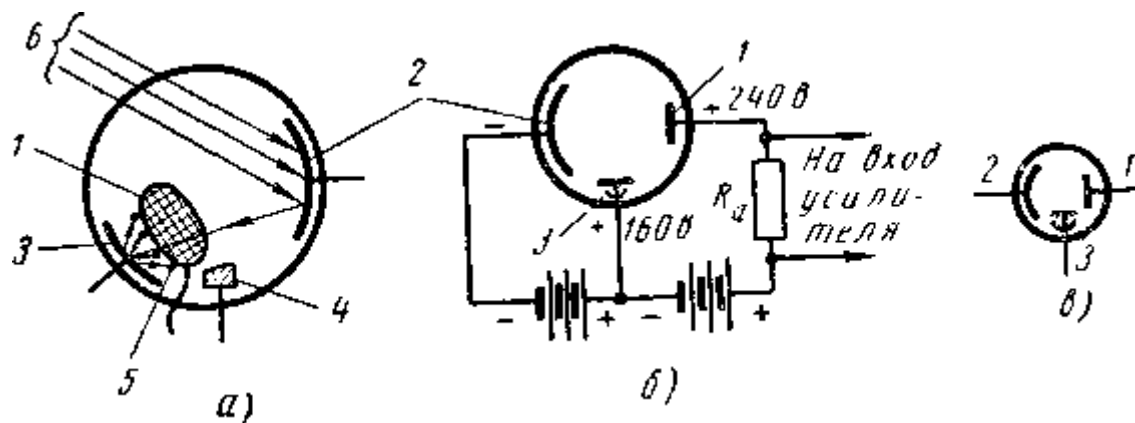


Рис. 34. Фотоэлектронный умножитель:

, 6 — световой поток дают два самостоятельных, изолированных друг от друга свето-чувствительных слоя. Светочувствительный слой большего размера является фотоэлектронным катодом, а меньшего размера — вторично-электронным катодом, или эмиттером. Анод выполняется в виде кольца или редкой сетки, расположенной на расстоянии 4—5 мм от вторично-электронного катода (рис. 34, а).

Принцип действия. Фотоэлектронный умножитель работает на принципе фотоэлектронной и вторичной электронной эмиссии.

Вторичной эмиссией называется выход электронов из поверхности металлов под ударами падающих на эту поверхность электронов. Падающие на поверхность электроны называются первичными, а выходящие — вторичными. Каждый первичный электрон может выбивать до десяти вторичных. Количество вторичных электронов зависит от энергии (скорости) первичных.

Для нормальной работы фотоэлектронного умножителя к аноду подводится +240 в, к вторично-электронному катоду + (160—170) в и к катоду — общий минус (рис. 34,б).

Световой поток, падая на катод, вызывает выход из него электронов. Электроны, вылетевшие из катода, под действием положительного потенциала анода и вторично-электронного катода развивают очень большую скорость, а поэтому, по инерции пролетая через сетку анода, с большой силой ударяются о вторичноэлектронный катод, выбивая из него вторичные электроны. Вторичные электроны, имея меньшую скорость, притягиваются анодом, у которого более высокий положительный потенциал. Так как первичный электрон может выбивать до десяти вторичных, чувствительность фотоэлектронного умножителя больше чувствительности обычного фотоэлемента.

Свойства. Каждый фотоэлектронный умножитель, как и фотоэлемент, характеризуется общей чувствительностью (к белому свету), спектральной чувствительностью (цветочувствительностью) и рабочим напряжением.

Чувствительность различных типов фотоэлементов, мка/лм:

Электронные фотоэлементы.....50—150

Ионные фотоэлементы.....50—250

Фотоэлектронные умножители.....400—800

Фоторезисторы Приемники.....400—500

Полупроводниковые фотоэлементы.....250—1000

Спектральной чувствительностью называется чувствительность фотоэлемента к различным частям спектра. Спектральная чувствительность зависит от типа применяемого фотоэлектронного катода. В фотоэлектронных умножителях и электронных фотоэлементах применяется сурьмяно-цезиевый катод, который обладает наибольшей чувствительностью к зеленым и голубым лучам. Кислородно-цезиевый катод, используемый в ионных фотоэлементах, наиболее чувствителен к красным лучам. Голубые лучи относятся к коротковолновому участку видимого спектра ($\lambda = 0,46 \pm 0,5 \text{ мк}$), а красные — к длинноволновому участку ($\lambda = 0,65-0,7 \text{ мк}$).

При воспроизведении фонограммы цветных фильмокопий, в эмульсионном слое которых преобладают зеленые и голубые красители, желательно применять фотоэлементы с сурьмяно-це-

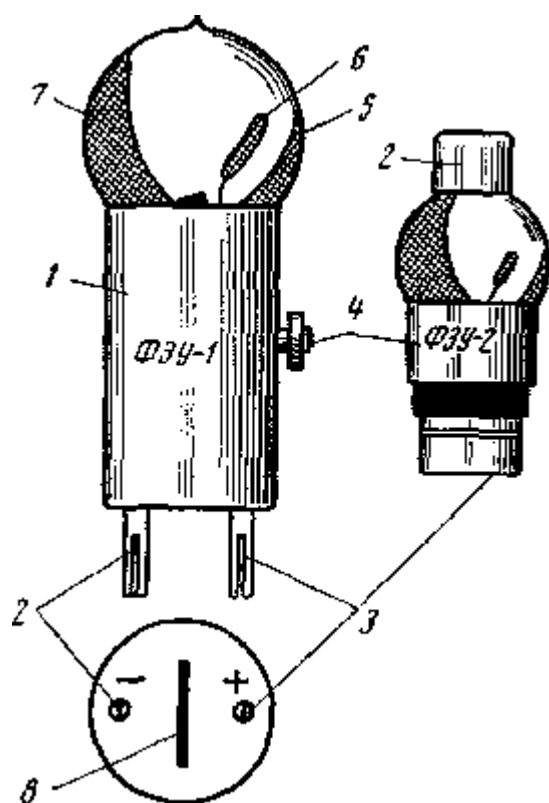
зиевым катодом, имеющие повышенную чувствительность в коротковолновом участке видимого спектра.

Рабочим называется напряжение, при котором фотоэлектронный умножитель имеет нормальную чувствительность. Рабочее напряжение обычно указывается в паспорте фотоэлектрического прибора.

С уменьшением величин питающих напряжений уменьшается чувствительность фотоэлектронного умножителя. Если в цепь вторично-электронного катода включить переменный резистор, то при изменении величины питающего напряжения будет изменяться количество вылетающих вторичных электронов, что приведет к изменению чувствительности. Этот принцип используется для выравнивания чувствительности фотоэлектронных умножителей на двухпостных киноустановках.

Промышленные типы. Промышленность выпускает много различных типов фотоэлектронных умножителей,, но в киносети используются только два: ФЭУ-1 и ФЭУ-2 (рис. 35). ФЭУ-1 преимущественно применяется в передвижных широкоплечных проекторах, а ФЭУ-2 — в узкоплечных.

Оба типа умножителей имеют одинаковое устройство и технические характеристики и отличаются только размерами и конструктивным оформлением. ФЭУ-1 включается в схему при помощи специальной панели с двумя гнездами для выводов анода и катода, а вторично-электронный катод соединяется со схемой гибким многожильным проводником. Включение в схему ФЭУ-2 производится с помощью пружинного держателя. На цоколе ФЭУ-1 между штырьками анода и катода имеется поперечная щель, которая служит для улучшения изоляции цоколя. При длительной эксплуатации фотоэлектронного умножителя между штырьками цоколя могут накопиться пыль и грязь. В случае сильного загрязнения цоколя сопротивление изоляции уменьшается и ток утечки независимо от светового потока начинает проходить как через полезную нагрузку, так и между штырьками анода и катода. В результате этого снижается отдача фотоэлектронного^ 42

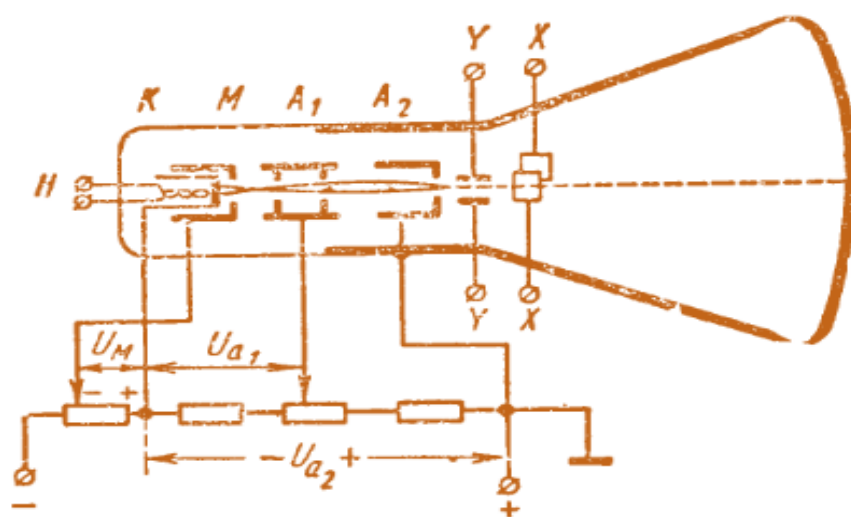
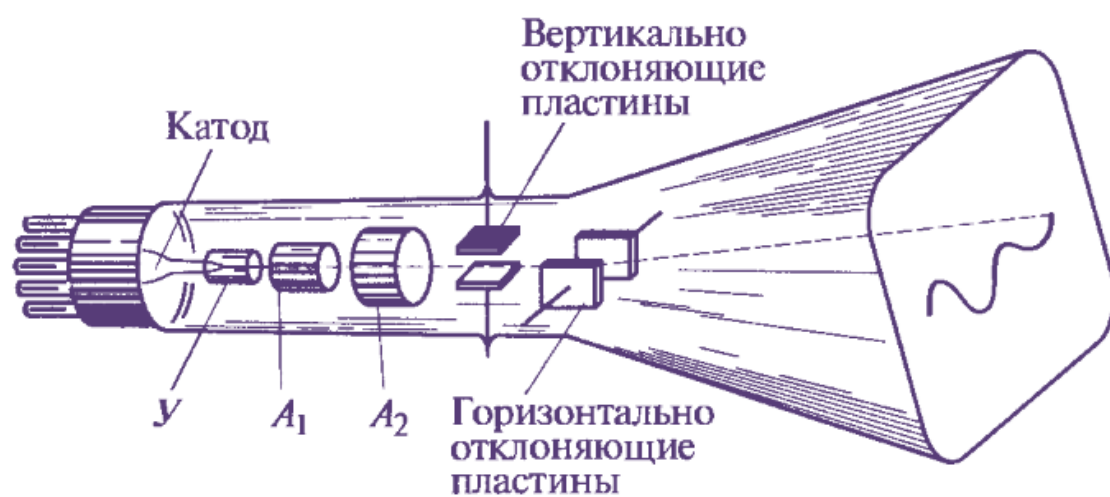


Однокаскадные фотоэлектронные умножители ФЭУ-1 и ФЭУ-2:

1 — цоколь, 2 — вывод катода, 3 — вывод анода, 4 — вывод вторично-электронного катода, 5 — вторично-электронный катод, 6 — анод, 7 — фотоэлектронный катод, 8 — щель умножителя, а в громкоговорителе появляются посторонние шорохи и трески. Наличие поперечной щели на цоколе практически устраняет данные явления.

Средний срок службы фотоэлектронного умножителя составляет 800—1000 рабочих часов, но при правильной эксплуатации может достигать 2—3 тыс. рабочих часов.

Электронно-лучевая трубка



Фокусировка луча в электронно-лучевой трубке

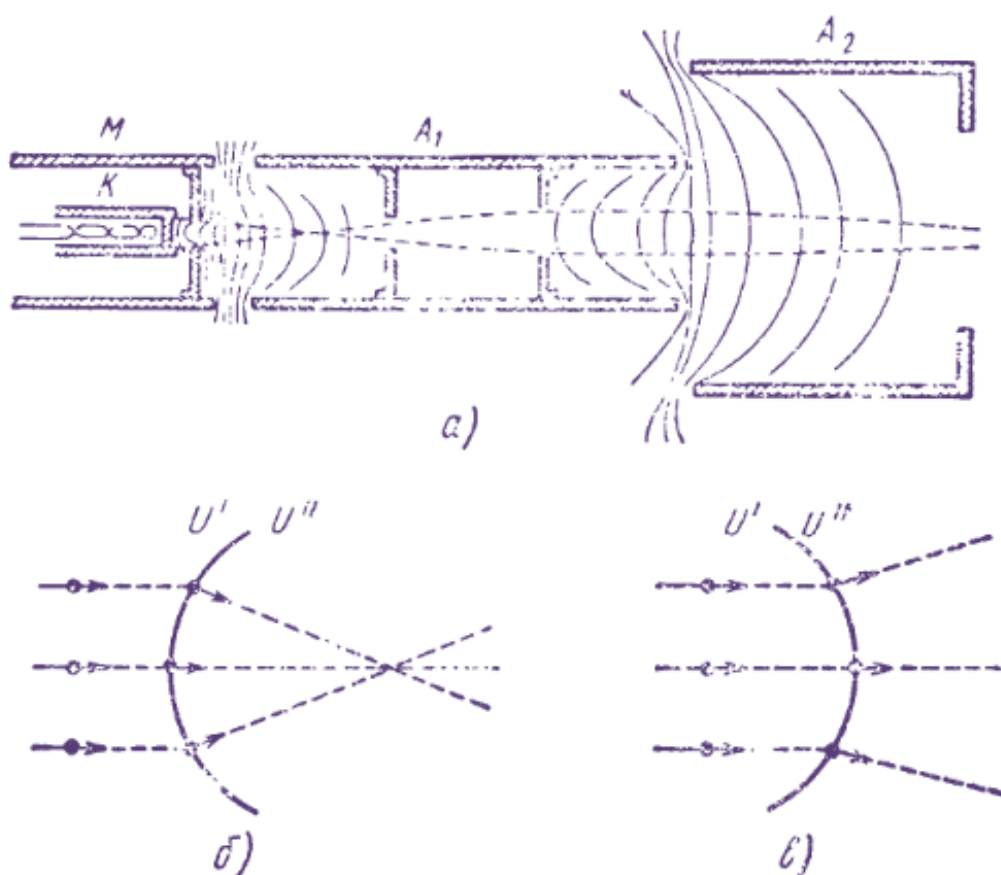
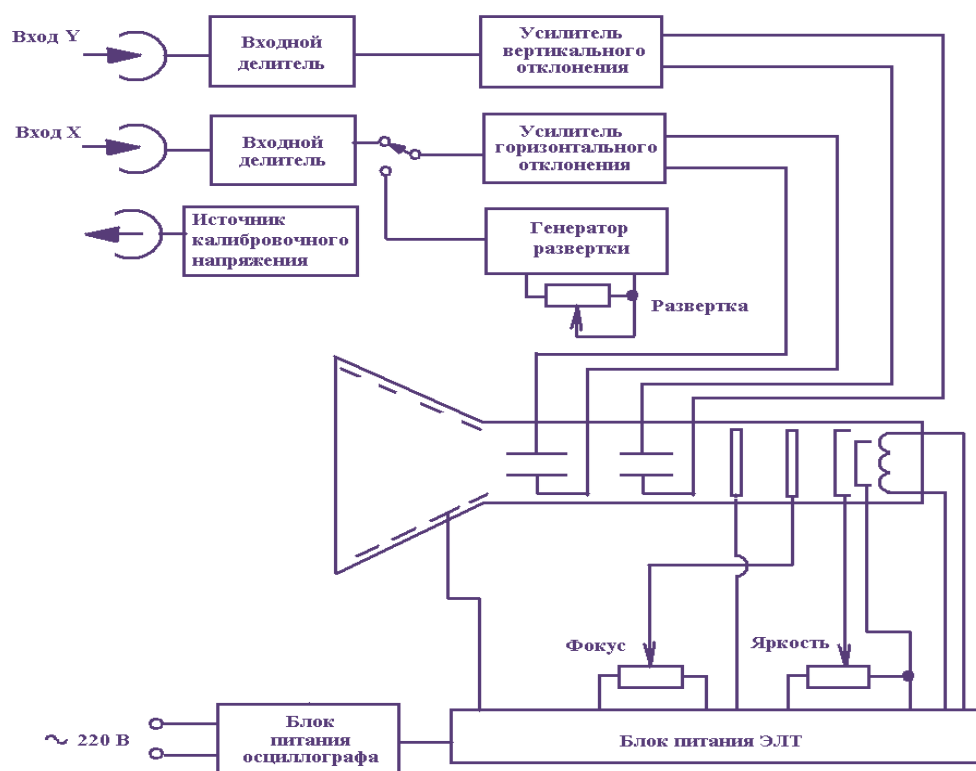


Схема осциллографа



Газоразрядные приборы

Электрический разряд в газе сопровождается целым рядом явлений, которые используются в электровакуумных приборах, называемых ионными или газоразрядными. Широкое распространение получили приборы, использующие такие виды разрядов, как тлеющий и коронный. В эту группу приборов входят стабилитроны тлеющего и коронного разряда, тиратроны тлеющего разряда, декатроны и целый ряд других.

На вольтамперной характеристике тлеющего и коронного разрядов наблюдаются участки, на которых напряжение разряда очень мало зависит от тока. Это свойство газового разряда нашло широкое применение для стабилизации напряжения в электронной аппаратуре. Двухэлектродные газоразрядные приборы с холодным катодом, используемые в качестве стабилизаторов напряжения, получили название стабилитронов. В зависимости от вида используемого разряда различают стабилитроны тлеющего разряда и стабилитроны коронного разряда.

Стабилитрон характеристика и схема, включения

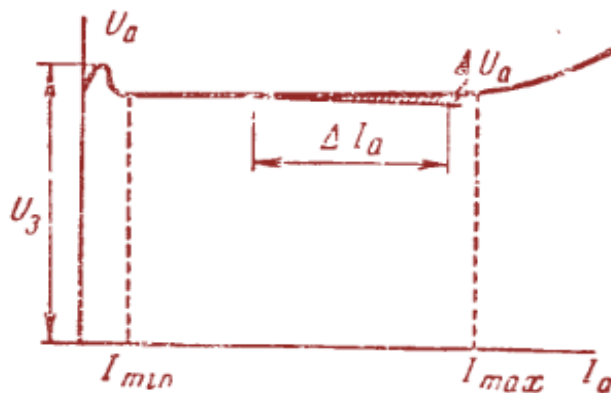
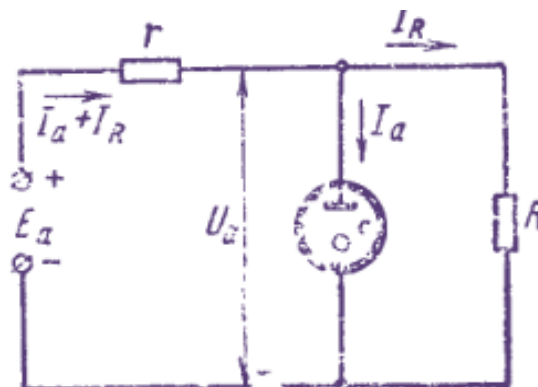
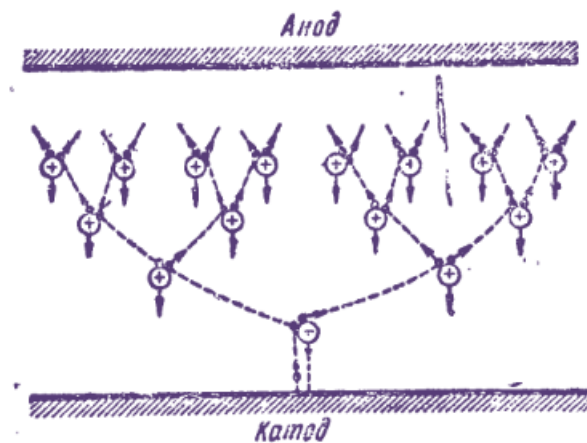


Схема включения стабилитрона

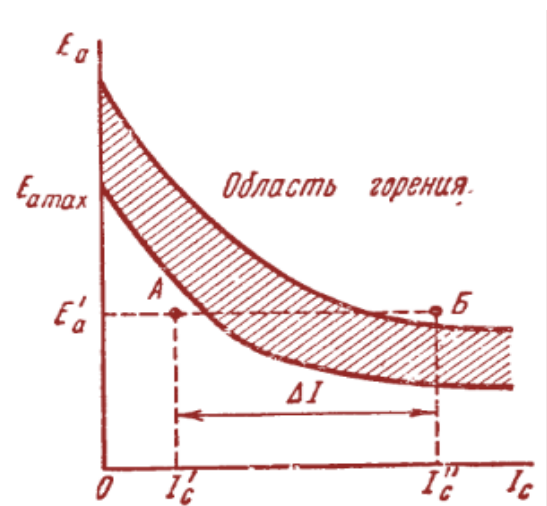
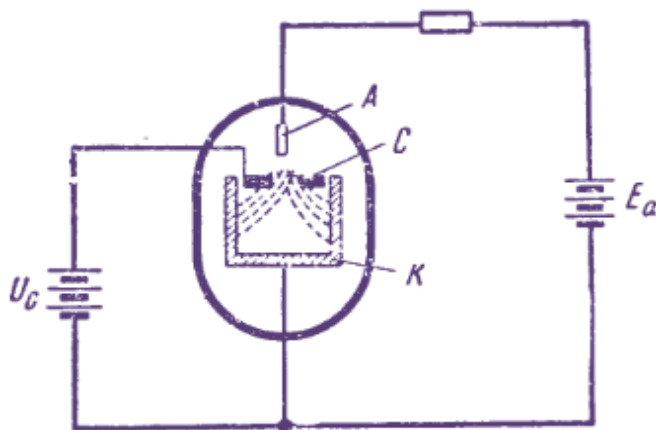


Упрощенная схема лавинной ионизации газа



Тиратрон тлеющего разряда

Если на сетку тиратрона подать напряжение такой величины, что между сеткой и катодом возникнет разряд, то электроны из области разряда начнут проникать сквозь отверстие сетки в анодную область и это облегчит условия возникновения разряда в промежутке анод—сетка. Чем интенсивнее разряд в цепи сетки, тем большее количество электронов проникает в анодное пространство, тем ниже оказывается напряжение зажигания по анодной цепи.



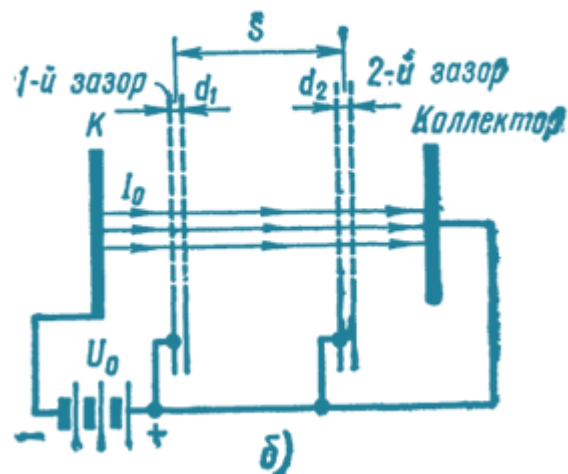
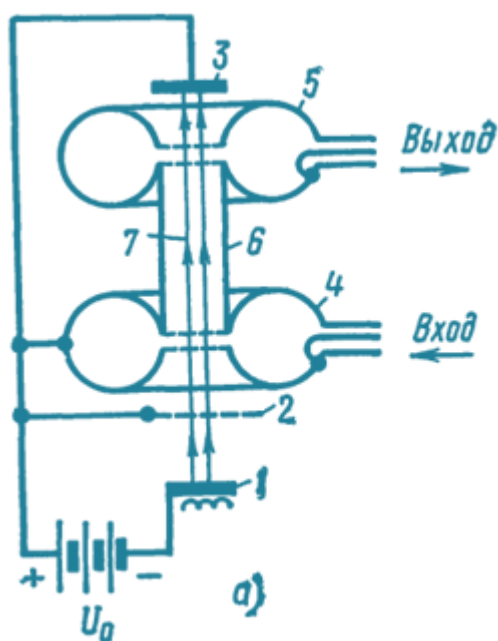
Тиратроны тлеющего разряда обладают небольшими размерами, высокой механической прочностью и широким диапазоном рабочих температур (от -60 до 100°C). Эти достоинства наряду с высокой долговечностью и большой экономичностью обуславливают применение их в технике.

Специальные электровакуумные приборы

Клистрон

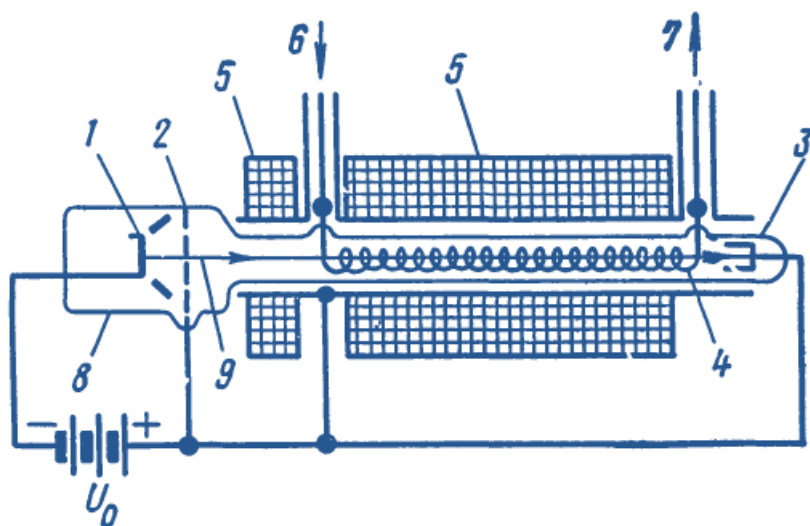
Основными отличиями клистрона от «обычных» низкочастотных ламп являются:

- 1) отказ от электростатического управления электронным потоком и использование динамического управления, основанного на скоростной модуляции и группировке электронов; время пролета электронов в пространстве дрейфа полезно используется при работе клистрона;
- 2) использование принципа наведения тока в выходном зазоре и разделение функций выходного зазора и коллектора электронов;
- 3) применение полых резонаторов, органически связанных с входным и выходным зазорами и более всего отвечающих требованиям диапазона СВЧ;
- 4) выделение катода из состава высокочастотной цепи и расположение ускоряющего промежутка перед высокочастотным управляющим зазором.



Лампа бегущей волны (ЛБВ) О-типа

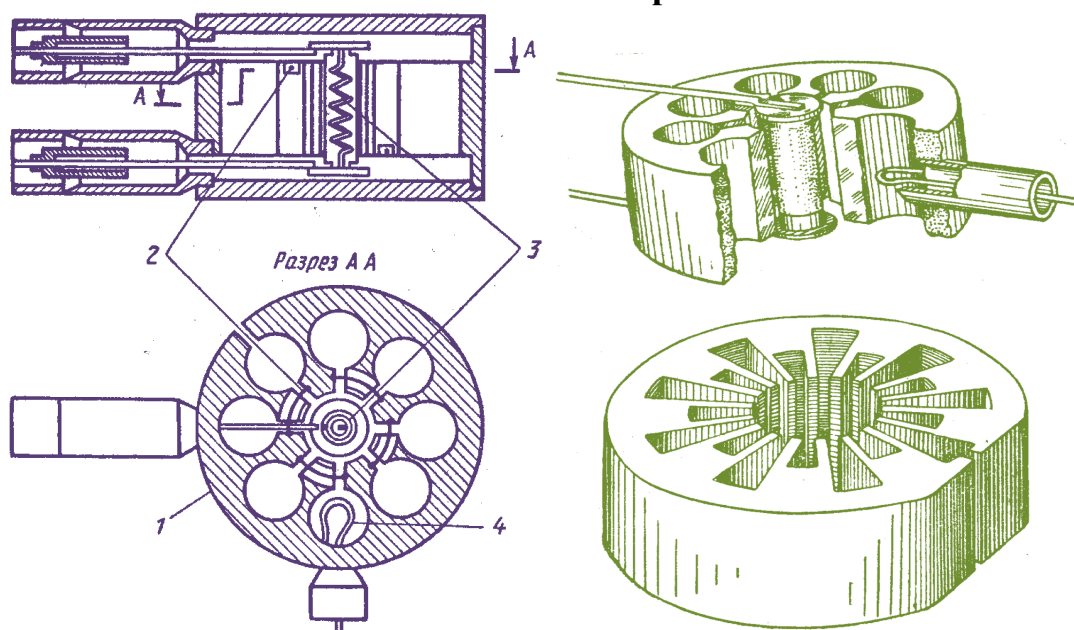
В основе усилительных и генераторных ламп бегущей волны в широком смысле слова лежит длительное взаимодействие электронов с бегущей электромагнитной волной, распространяющейся в нерезонансной колебательной системе. Этим лампы бегущей волны значительно отличаются от приборов СВЧ, использующих резонансные колебательные системы, — триодов, клистронов и магнетронов.



1 — катод; 2 — анод (ускоряющий электрод); 3 — коллектор; 4 — спираль; 5 — соленоид; 6 — вход; 7 — выход; 8 — стеклянная оболочка; 9 — электронный пучок

Приборы, в которых электронный поток взаимодействует с основной прямой замедленной волной или с положительной пространственной гармоникой, называются *лампами прямой волны*. За этими приборами закрепилось название *лампа бегущей волны* или *лампа с бегущей волной* (сокращенно ЛБВ), несмотря на то, что лампами бегущей волны в широком смысле являются все приборы рассматриваемого класса. Приборы, в которых используется взаимодействие электронов с обратными волнами (отрицательными пространственными гармониками), появились позднее и получили название *ламп обратной волны* (сокращенно ЛОВ).

Магнетрон



1 — анодный блок; 2 — связки; 3 — катод с подогревателем; 4 — петлевой вывод энергии

Образование спицеобразного облака в магнетроне

$$v = \frac{E}{B}$$

