

**Диоды и кенотроны. Устройство, физика работы. Схемные решения. Применения и параметры.**

Подготовили : Студенты группы БРТ-**2001**

Аншаков И.с , Васильев М.О

## Назначение радиоламп

Электрической лампа – вакуумное устройство, работа которого базируется в управление током со переменной потенциалов электродов. Функции электронных ламп различны, но можно выделить 2 основные функции этих элементов. Первое - преобразование электрической энергии, например преобразование постоянного тока источника питания в переменный и, наоборот, переменного в постоянный. Второе - преобразование электрических сигналов: усиление, изменение спектра и т. п. Во многих областях электроники, радиотехники и автоматики электронные лампы были обоснованно вытеснены полупроводниковыми и микроэлектронными приборами, имеющими меньше габаритные размеры и массу, более высокий коэффициент полезного действия. Однако в ряде случаев электронные лампы обладают преимуществами по сравнению с полупроводниковыми приборами, а иногда являются вообще незаменимыми на данном этапе приборами. Широкий диапазон рабочих температур, достигающий до нескольких сотен градусов, высокая радиационная стойкость, стабильность характеристик, высокие допустимые напряжения обуславливают дальнейшее развитие этих приборов.

## Устройство Электронной Лампы

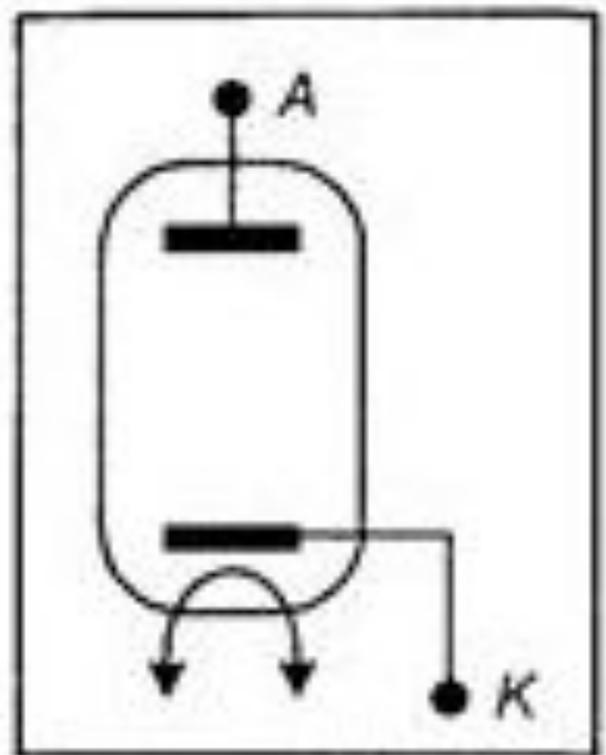
Устройство рассмотрим на двухэлектродной лампе

1. Источник электронов - накаливаемый катод — прямого накала или косвенный, т. е. снабженный специальным, изолированным от катода, подогревателем.
2. Приемник электронов - коллектор - анод, дополнительной задачей которого является рассеяние выделяемой на нем электронами мощности.
3. Оболочка (стеклянная, керамическая или металлическая), обеспечивающая необходимую для работы лампы степень разрежения воздуха (порядка  $10^{-6}$  мм рт. ст. и ниже) и обеспечивающая передачу изнутри наружу практически всей выделяемой в лампе тепловой энергии.
4. Металлические вводы тока (впаи) сквозь оболочку, изолированные от последней в случае металлической оболочки. В абсолютном большинстве конструкций все вводы (за исключением иногда одного или двух) сосредоточиваются в одной части оболочки и образуют так называемую ножку лампы.
5. Цоколь, обеспечивающий простое и надежное подключение лампы к схеме.

Внимательное рассмотрение устройства любой электронной лампы легко позволяет прийти к заключению, что у большинства деталей рабочими являются лишь поверхности этих деталей, а работа лампы в целом и ее параметры, равно как и устойчивость последних в процессе работы, обеспечиваются состоянием этих поверхностей, т. е. их физико-химическими свойствами (их строением, однородностью и т. п. Эти же свойства поверхностей в свою очередь обеспечиваются соответствующим выбором технологии деталей, несущих эти поверхности, и правильным выполнением всего технологического процесса, обеспечивающего необходимые для нормальной работы лампы свойства этих поверхностей.

Так, например, в случае катодов, особенно высокоактивных, т. е. торированных или оксидных, основным рабочим элементом катода является лишь эмиттирующая это поверхность или слой, весь же объем катода является лишь средством нагрева эмиттирующей поверхности до рабочей температуры и обеспечения электрического ее включения в рабочую цепь лампы.

Выдача анода — рассеяние выделяемой на нем мощности обеспечивающей, опять-таки в случае лучистого насаждения, в основном излучательной способностью его поверхности, зависящей от ее обработки.



# Принцип работы диода

Работа радиоламп основана на трех вещах. Два из них обязательны для любой радиолампы, третий характеризует работу ,только многоэлектродных (более двух электродов) ламп - усилительных и генераторных.

Об последнем мы не будем говорить , потому что мы рассматриваем диод.

Первое это наличие внутри лампы облака "свободных" электронов, т.е. отдельных, обособленных электронов, не входящих в данный момент в состав какого-либо атома. Такие свободные электроны, в частности, всегда присутствуют в теле любого металла. Появляются они из-за ряда причин, анализ которых выходит далеко за рамки нашей темы. Так что просто примем это за аксиому.

Оказавшись на поверхности металла эти свободные электроны за счет внутренней энергии могут покидать поверхность. И какое-то время "парить" в окружающем пространстве - скажем, в воздухе. Но поскольку воздух состоит из молекул газа, свободные электроны очень скоро неизбежно сталкиваются с ними, теряют свою энергию и поглощаются, т.е. становятся несвободными.

Если же наш теоретический кусок металла поместить в идеальный вакуум, вылетевшие с его поверхности свободные электроны, не встречая никаких помех в окружающем пространстве, могут достаточно долго находиться в свободном состоянии. Впрочем, подчиняясь закону всемирного тяготения, электроны, имеющие ничтожную массу, чаще всего возвращаются на поверхность массивного куска металла, **если** этому не противодействуют другие силы. Вот это самое **если** оказывается самым главным существенным для понимания принципа работы радиолампы.

Другая аксиома, которую мы примем без доказательства, состоит в том, что число свободных электронов покидающих поверхность металла, резко увеличивается с повышением его температуры. Свойство металла излучать с поверхности свободные электроны называют эмиссионной способностью. Для разных металлов она различна, и порой весьма существенно.

Чтобы сравнить эмиссионную способность разных металлов

и получить достаточно наглядную картину, можно представить все

вылетевшие свободные электроны не в виде "неорганизованной

толпы", а в виде направленного электронного потока, представляющего,

обычный электрический ток, который можно измерять, например, в миллиамперах. А степень

нагрева источника электронов оценивать не только по его температуре, но и по количеству затрачиваемой на нагрев металла электроэнергии в ваттах.

Эти данные можно представить в виде таблицы, в которой представлено не только соотношение между температурой металла количеством эмиттируемых свободных электронов, но и один из важнейших практических показателей реально й лампы *удельная эмиссия катода*, иными словами, эффективность (КПд) его работы. В таблице приведены данные только для тех металлов, которые наиболее часто используются для изготовления катодов лам. При этом надо иметь в виду, что обычно катоды комбинированные и источником тепла является вольфрамовая нить, обладающая высокой прочностью и долговечностью, но низкой эмиссионной способностью. Источником же свободных электронов служит нанесенный на ее поверхность спой другого металла или его оксида, эффективно излучающий электроны, но обладающий низкой механической прочностью.

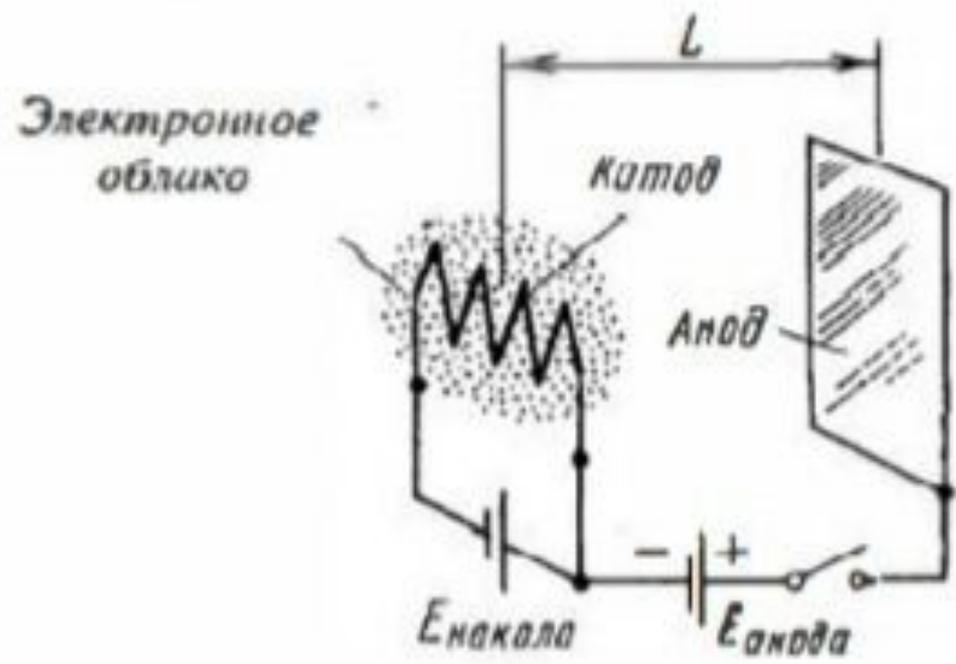
Тип катода	Рабочая температура °C	Удельная эмиссия мА/Вт	Примерный срок службы,ч
Вольфрамовый	2100-2300	2-6	200-1000
Торированный	1450-1600	30-50	800-1000
Карбонированный	1650-1750	40-70	500-700
Оксидированный	630-830	50-100	1000-1500
Бариевый	430-630	70-120	1400-1700
Цезиевый	380-430	250-30	-

Для работы любой радиолампы внутри ее вакуумированного баллона должен обязательно находиться источник свободных

электронов -это подогреваемая электрическим током металлическая нить -катод.

Второй принцип-это односторонняя проводимость .

*Электроны внутри лампы могут перемещаться только в одном направлении - от катода к аноду, но не наоборот.*



Здесь источником свободных электронов (катодом) служит активированная вольфрамовая нить, а вторым электродом (анодом) является цельнометаллическая пластина, находящаяся на расстоянии  $L$  от катода. Это расстояние  $L$  окажется очень существенным, когда мы будем рассматривать *электрические характеристики диода*. Не будем забывать также, что вся эта конструкция находится внутри запаянного стеклянного баллона, из которого полностью удален воздух.

При нагревании катода с его поверхности будут вылетать свободные электроны. Поскольку размеры электрона ничтожны и абсолютно несоизмеримы с расстоянием  $L$  и отсутствуют внешние причины, побуждающие электроны двигаться именно в сторону анода.

они будут накапливаться в некоторой области вокруг катода, образуя электронное облако.

Плотность этого облака пропорциональна эмиссионной эффективности данного вида катода и его температуре практически постоянна. Поскольку бесконечному притоку новых свободных электронов препятствует закон, согласно которому эти новые отрицательно заряженные электроны будут отталкиваться также отрицательно заряженным электронным облаком. Установившееся равновесие нарушится только при изменении температуры катода или под воздействием другой внешней силы. И именно такой внешней силой является электрический потенциал внешнего источника электрической энергии.

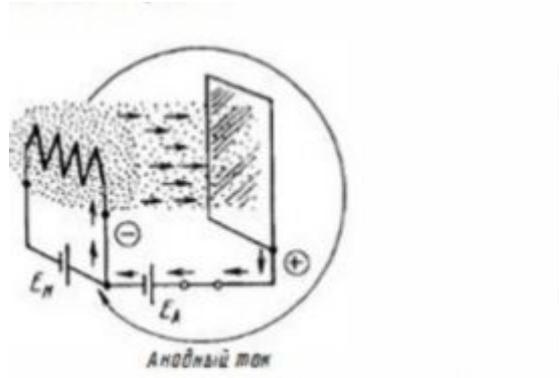
такая. Батарейка представляет собой источник постоянного тока, характеризуемый двумя основными параметрами: электродвижущей силой  $E$  и внутренним сопротивлением  $r$ .

Что произойдет, если мы подсоединим нашу батарейку плюсом к аноду, а минусом к катоду? Тогда окажется, что оба электрода лампы станут электрически заряженными: анод - положительно, катод отрицательно. И теперь электронное облако окажется под воздействием *внешней силы*.

Кроме того с подключением батарейки образуется *замкнутая электрическая цепь*.

Положительно заряженный анод начнет притягивать к себе отрицательно заряженные электроны из околочатодного облака. в результате часть из них (наиболее удаленная от катода) устремится в сторону анода.

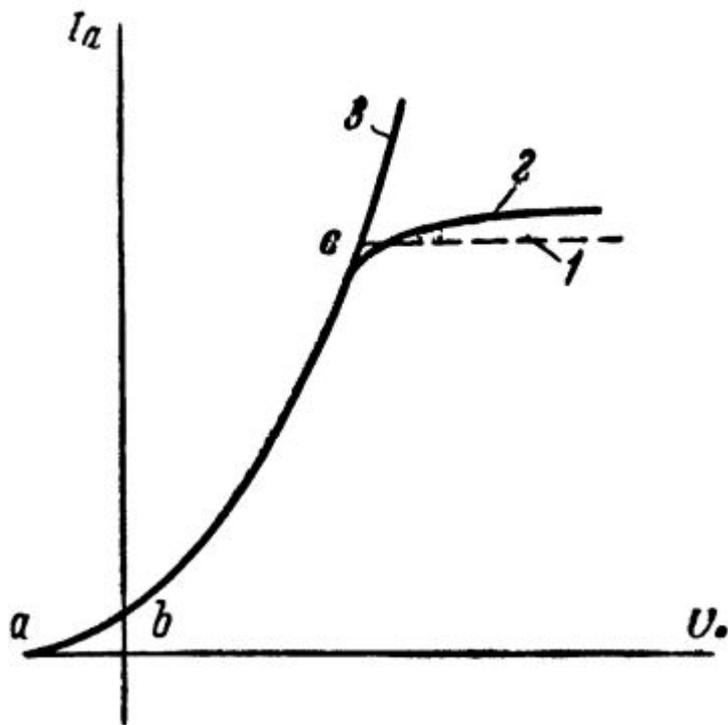
Поток этих электронов не что иное как постоянный электрический ток, направленный от катода к аноду. Значение этого тока будет тем больше, чем выше электрический потенциал анода.



А что произойдет, если мы подключим батарейку обратной полярностью, т.е. плюсом к катоду и минусом к аноду? Тогда тело катода будет находиться под положительным потенциалом, все электроны начнут притягиваться катодом и не смогут покинуть его поверхность.

# Теория процессов

Важной особенностью диода является нелинейность его ВАХ то есть зависимость Анодного тока от разности потенциалов между катодом и анодом. Такая зависимость называется анодной характеристикой.



Как видно из рисунка, имеется начальный участок характеристики  $ab$ , соответствующий отрицательным значениям анодного напряжения. Это объясняется тем, что электроны, выходя из катода, обладают начальными скоростями, которые позволяют электронам преодолевать тормозящее поле между катодом и анодом, имеющим небольшой отрицательный потенциал.

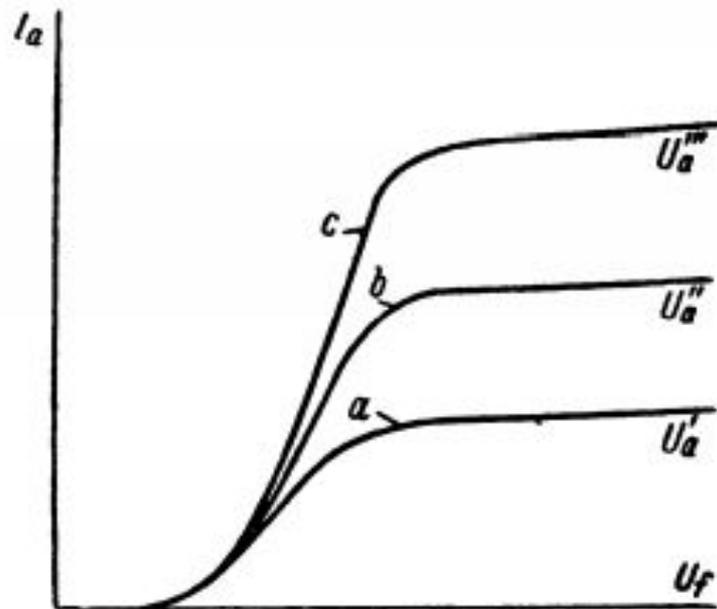
Участок кривой  $bc$  соответствует режиму когда ток ограничен действием электронного объемного заряда, накапливающегося между катодом и анодом. Выше участка  $bc$  ход анодной характеристики определяется величиной эмиссии катода. Если при анодном напряжении, соответствующем точке  $c$ , все электроны, излучаемые катодом при данной рабочей температуре, уходят к аноду, то имеет место ток насыщения

Анодная характеристика определяется закон степени трех-вторых.

$$I_a = g * U_a^{3/2}$$

$G$  = постоянная величина данного диода, зависящая только от конфигурации и размеров его электродов

Кроме анодной снимают еще одну характеристику Эмиссионная характеристика диода отражает зависимость анодного тока диода от напряжения накала при постоянном анодном напряжении.



# Статические параметры диода

Крутизна характеристики показывает крутизну кривой анодного тока. Чем больше крутизна, тем больше приращение анодного тока при изменении анодного напряжения и тем лучше свойства диода.

$$S = \frac{dI_a}{dU_a} \left[ \frac{\text{mA}}{\text{B}} \right]$$

Также важным параметром является мощность выделяемая на аноде

$$P = U_a * I_a$$

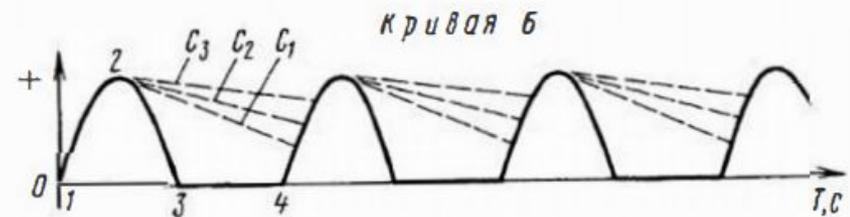
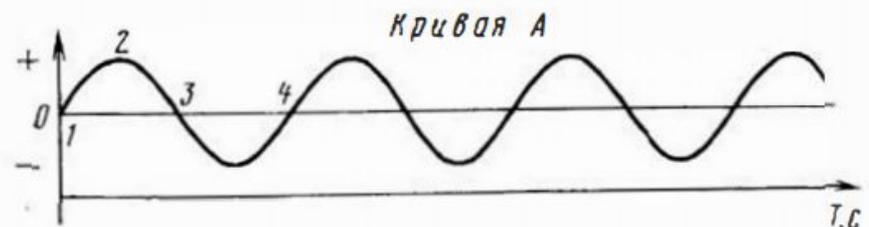
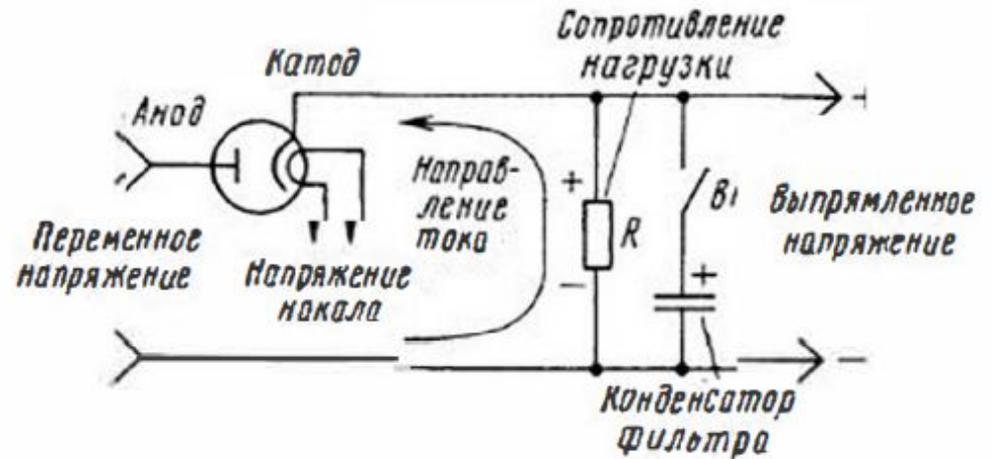
# Применение диодов

## Выпрямительные диоды

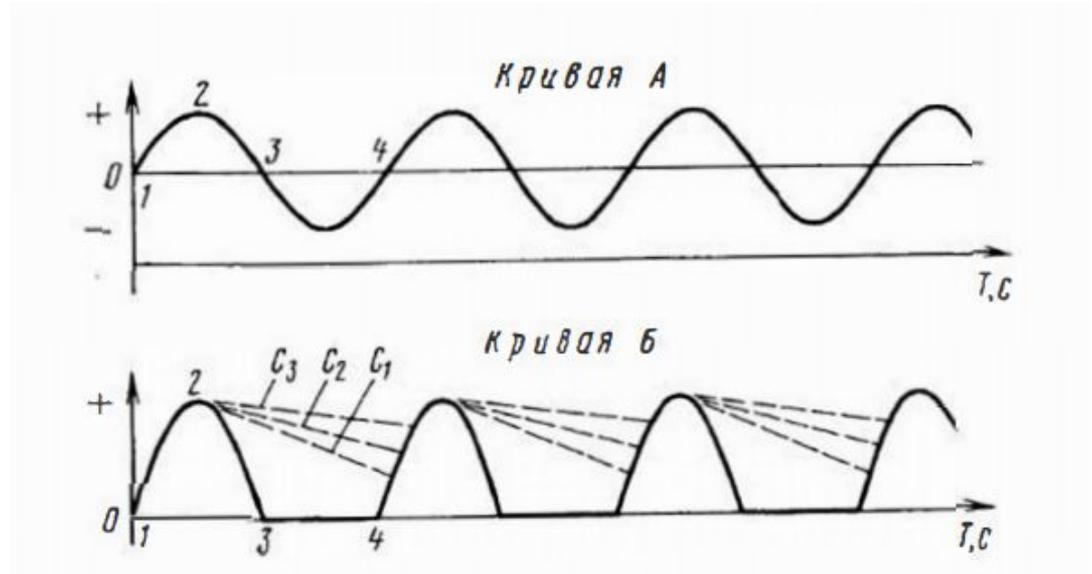
Диоды этой группы предназначены для преобразования переменного напряжения в постоянное, что возможно благодаря главной особенности диода - его односторонней проводимости.

Рассмотрим схему простейшего однополупериодного выпрямителя и графики, иллюстрирующие работу этой схемы.

Процесс начинается с положительного полупериода (точка 1 на кривой А), и в течение 0.5 секунды приложенное напряжение постепенно возрастает до максимума (точка 2), а затем спадает до нуля (точка 3). Поскольку на линейном участке характеристики ток диода прямо пропорционален приложенному напряжению, кривая тока повторит положительную полуволну напряжения и совпадет с ней по времени.



В течение первого отрицательного полупериода напряжения (участок 3-4 на кривой А) анод диода будет находиться под отрицательным потенциалом относительно катода, ток через диод протекать не будет, иными словами, он равен нулю), что отображено для кривой Б отрезком прямой линии 3-4



Ток протекающий через диод и нагрузку нельзя назвать постоянным . Это импульсный ток односторонней (положительной) полярности с частотой приложенного напряжения. Для того чтобы схема стала действительно выпрямителем. параллельно резистору нагрузки включают конденсатор  $C$  очень большой емкости. Подключим параллельно резистору конденсатор небольшой емкости . По мере нарастания напряжения (участок 1-2) синхронно синфазно будет расти и падение напряжения на резисторе нагрузки, а значит. и на подключенном параллельно конденсаторе . К концу первой четверти периода это напряжение достигнет максимального значения.

Энергия, запасенная конденсатором, не может мгновенно исчезнуть. А поскольку при запертом, непроводящем диоде токовая цепь фактически разорвана, в течение следующей четверти периода конденсатор начнет медленно разряжаться через подключенный параллельно ему резистор. По мере разряда конденсатора напряжение на нем будет постепенно понижаться (штриховая Кривая для  $C$ ). В следующий положительный полупериод в момент 5 падение напряжения на резисторе за счет тока через диод снова достигнет максимума, и начавший было разряжаться конденсатор подзарядится.



Время полного разряда конденсатора через параллельно подключенный резистор определяется постоянной времени  $\tau = RC$  обычно в тысячи раз превышает время одного полупериода переменного напряжения. Отсюда ясно, что за это время конденсатор не успевает существенно разрядиться, и напряжение на нем понижается от максимального значения на весьма незначительную величину

Время полного разряда конденсатора через параллельно подключенный резистор определяется постоянной времени  $\tau = RC$  обычно в тысячи раз превышает время одного полупериода переменного напряжения. Отсюда ясно, что за это время конденсатор не успевает существенно разрядиться, и напряжение на нем понижается от максимального значения на весьма незначительную величину

Ясно также, что по мере увеличения емкости конденсатора ( $C_1 < C_2 < C_3$ ) спад напряжения на нем на участке 3-4 будет все уменьшаться, а кривая выпрямленного напряжения, изображенная на кривой В, будет все ближе приближаться к прямой.

Ясно также, что по мере увеличения емкости конденсатора ( $C$ ) спад напряжения на нем на участке 3-4 будет все уменьшаться, а кривая выпрямленного напряжения, изображенная на кривой В, будет все ближе приближаться к прямой.

Но даже теоретически кривая выпрямленного напряжения никогда не будет идеально прямой, так как при любом значении емкости конденсатора фильтра за время очередного отрицательного полупериода напряжение на нем, хотя и не намного, но все же, уменьшится

Количественно качество выпрямленного напряжения характеризует *коэффициент пульсации* - отношение амплитуды переменной составляющей к постоянной составляющей, обычно выражаемый в процентах.

## Детекторные диоды

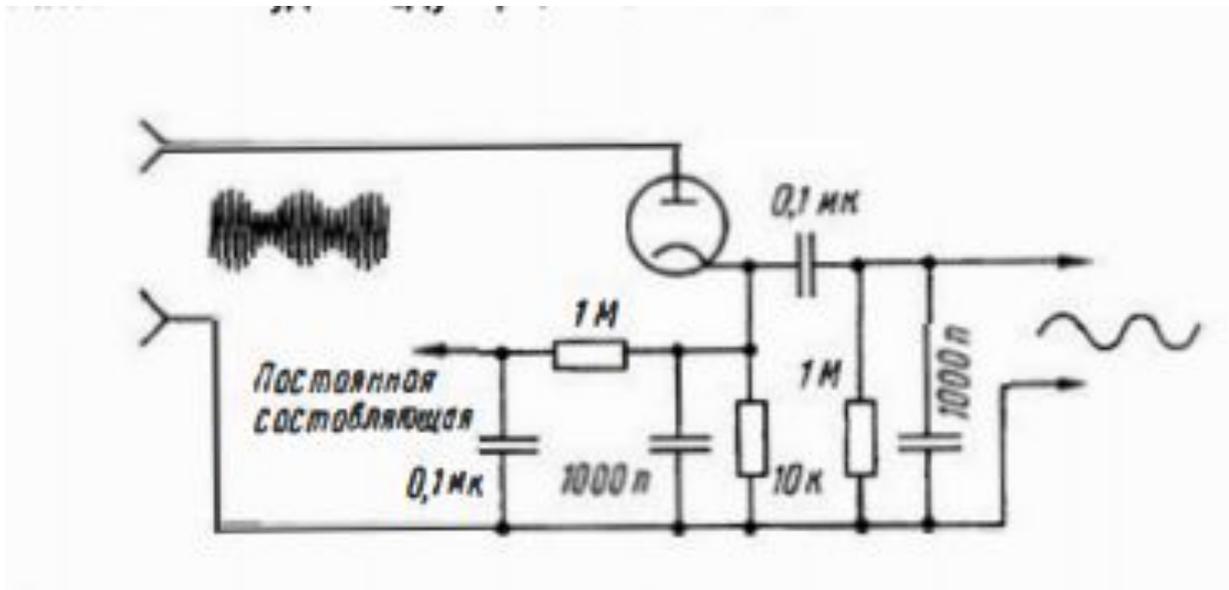
Здесь мы имеем дело с модулированным по амплитуде, частоте, фазе и т.д. переменным напряжением, содержащим в неявной, закодированной форме другое переменное напряжение с частотой, на несколько порядков более низкой. Высокочастотная составляющая является всего лишь переносчиком полезного сигнала более низкой частоты и после детектирования становится ненужной. Поэтому функцией детектора является разделение такого сигнала на две составляющие, ликвидация {подавление} сигнала несущей частоты и выделение "в чистом виде" низкочастотной составляющей по возможности с минимальными искажениями его формы.

Рассмотрим подробно принцип работы простейшего детектора амплитудно-модулированного сигнала

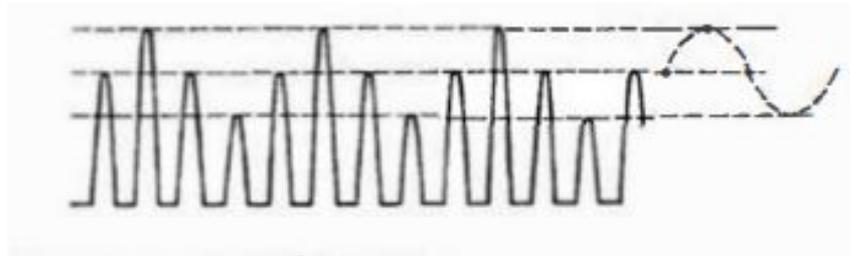
Это напряжение одной высокой частоты, амплитуда которого непрерывно меняется в некоторых пределах с определенной закономерностью. И именно в этой закономерности зашифрован, закодирован сигнал второй, низкой частоты. Именно закодирован, а не присутствует физически.

Рассмотрим схема простейшего однополупериодного детектора.

Нам нужно выделить по возможности без искажений переменную составляющую пульсации, полностью отделив ее от высокочастотной составляющей и образовавшейся постоянной {выпрямленной} составляющей.



Эта задача решается в два этапа. Первый этап практически ничем не отличается от работы на активную нагрузку однополупериодного выпрямителя без конденсатора фильтра.



амплитуда положительных импульсов тока через диод {а следовательно, и напряжение на нагрузке) не остается постоянной, а не прерывно изменяется по некоторому закону (в нашем случае - по синусоидальному) с частотой, на несколько порядков меньшей, чем частота несущего сигнала.

Второй этап состоит в разделении всех этих трех составляющих. 'Остатки' высокочастотной составляющей в дальнейшем не понадобятся. Они удаляются путем подключения параллельно резистору нагрузки конденсатора  $C$ , емкость которого, в отличие от емкости конденсатора фильтра выпрямителя, имеет существенное значение.

Теперь остается отделить на выходе детектора низкочастотную осуществляемую от постоянной составляющей. Это элементарно с помощью разделительного конденсатора, а оставшаяся постоянная составляющая выпрямляется с помощью сглаживающего фильтра, как в обычном выпрямителе.

## **Различие между детекторным и выпрямительным диодом**

Выпрямительные диоды должны в первую очередь обеспечивать необходимый выпрямленный ток, который в ряде случаев может достигать единиц и даже десятков ампер. Другой важнейший показатель - допустимая амплитуда обратного напряжения, достигающая десятков киловольт даже для обычных ламп в бытовой телевизионной аппаратуре. Такого же порядка может быть и требование к допустимому (без риска пробоя) напряжению между катодом и нитью подогревателя. В то же время значение емкости анод-катод в большинстве случаев вообще не критично и может достигать десятков пикофард, никак не влияя при этом на работу выпрямителя. Для детекторных диодов все наоборот. Амплитуда входного модулированного сигнала чаще всего измеряется милливольтами, редко достигая единиц вольт. Выпрямленный ток через диод и нагрузку настолько мал, что обычно просто не принимается в расчет при выборе типа диода. Зато значения входной, выходной и проходной межэлектродных емкостей критичны

У Детекторного диода собственная емкость между анодом катодом должна быть сведена к возможно меньшей величине. Размеры электродов расстояние между ними быть минимальными. У выпрямительных диодов электроды должны быть больших размеров, чтобы возможность получения достаточно большого выпрямленного тока и рассеяния на своих анодах той мощности, которая выделяется на них вследствие их бомбардировки электронами.

## Список используемой литературы:

1. Гендин Г.С. Все о радиолампах
2. Электронные лампы (3-е изд.) Автор(ы): Левитин Е.А, Левитин Л.Е.
3. Кацман Ю.А. Электронные лампы высоких и низких частот, 2-е изд.
4. Б.М Царев Расчёт и конструирование электронных ламп
5. Гуртовник А.Г Электровакуумные приборы и основы их конструирования