1. Устройство и принцип действия

Для того чтобы увеличить возможность управления потоком электронов, эмиттированных .катодом, тем самым расширить об­ласть применения электронных ла.мп, были созданы трехэлектрод­ные лампы — триоды. В триоде (рис. 1) между анодом *А* и и катодом *К**,* помещен еще один электрод — *управляющая сетка* *УС.* Сетка конструктивно представляет собой либо спираль, либо сетку из переплетенных проводов, и выполняется из вольфрамо­вого, никелевого или молибденового провода. Условное изображе­ние триода в схеме дано на рис 2. Как и в диоде, в триоде имеются цепь накала для разогрева ка­тода и цепь анода для получения уско­ряющего поля для электронов. Главное отличие триода от диода в том, что в триоде имеется дополнительная возмож­ность управления анодным током путем изменения напряжения между сеткой и катодом

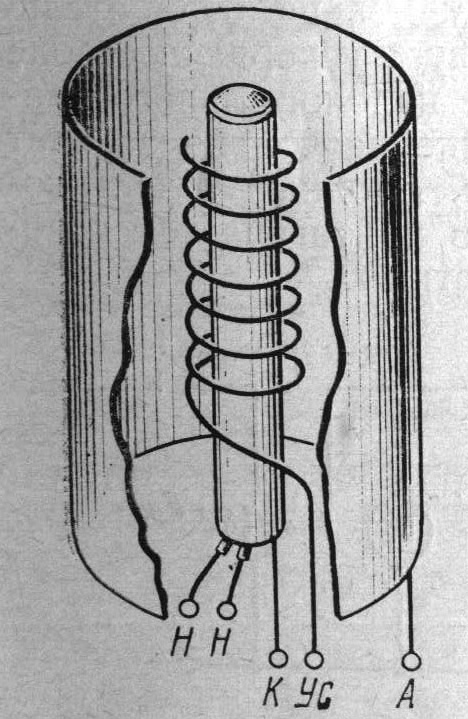
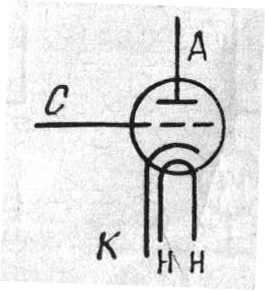


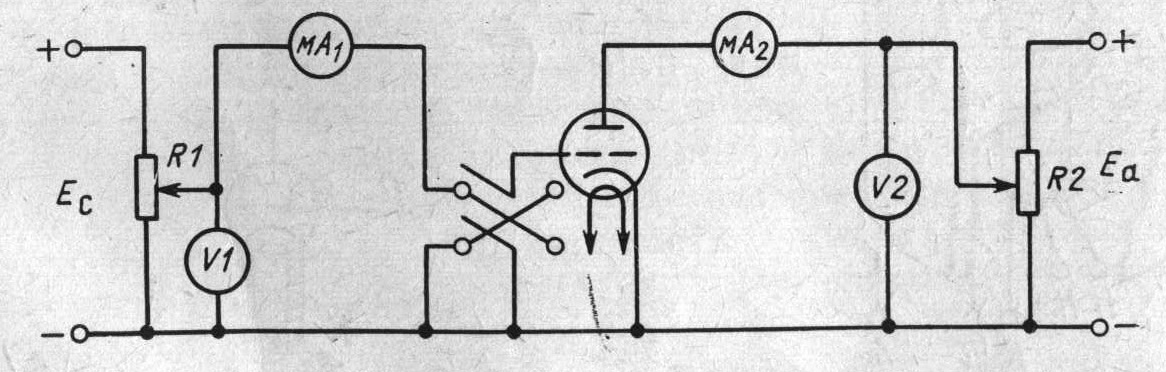
рис.1 рис.2

2. РОЛЬ УПРАВЛЯЮЩЕЙ СЕТКИ

Рассмотрим влияние поля управляющей сетки на анодный ток в триоде. В отличие от диода в триоде имеются две цепи управ­ления анодным током — цепь анода и цепь управляющей сетки. Объектом управления является пространственный заряд электронов, эмиттированных катодом. Степень влияния определяется рас­стоянием соответствующего электрода к катоду. Управляющая сетка расположена ближе к катоду, чем анод, и поэтому влияние электрического поля управляющей сетки на пространственный заряд у катода соответственно больше, чем поля анода. Управ­ляющая сетка является электростатическим экраном между ано­дом и катодом. Это означает, что не все электрические силовые линии поля анода достигают катода, так как часть этих линий замыкается на сетке, что приводит к соответствующему уменьшению воздействия поля анода на пространственный заряд, распо ложенный у поверхности катода.

Подадим постоянное напряжение между анодом и катодом *U**а* плюсом на анод и будем менять напряжение между управляющей сеткой и катодом *Uc* по величине и по знаку (рис.3). При подаче отрицательного напряжения на сетку для электронов пространственного заряда создается тормозящее поле, поэтому в каждой точке между сеткой и катодом на электроны действует поле, образовавшееся в результате взаимодействия между ускоряющим полем анода и тормозящим полем сетки. При определенном отри­цательном напряжении *Uc* анодный ток становится равным нулю, тормозящее поле создается не только у витков сетки, но и в про­межутках между ними, препятствуя пролету электронов от катода к аноду. При этом пространственный заряд у катода имеет наи­большую плотность. Будем уменьшать отрицательное напряжение на сетке, результирующее поле между витками сетки меняется и становится ускоряющим для электронов. Чем меньше отрицатель­ное напряжение на сетке, тем сильнее действует ускоряющее поле и тем больше становится ток *I*а. При подаче положительного напряжения + *Uc* электроны получают ускорение не только за счет поля анода, но также и за счет поля сетки. Анодный ток стано­вится еще больше. Однако часть электронов притягивается непосредственно к виткам сетки и образует ток сетки *I*с.

рис.3



Таким образом, при положительном напряжении на сетке об­щий катодный ток *I*к разветвляется на два тока: анодный *I*а и сеточный *I*с.

3. ДЕЙСТВУЮЩЕЕ НАПРЯЖЕНИЕ В ТРИОДЕ

В свое время советский ученый М. А. Бонч-Бруевич предложил заменить триод при анализе его работы эквивалентным диодом. Анодное напряжение эквивалентного диода, при котором катодные токи обеих ламп равны, называется действующим напряжением триода. Вывод формулы действующего напряжения для триода дает следующий результат:

*Uд=Uc+DUa*

где *U*д — действующее напряжение, *D — проницаемость триода.*

*D=Cак/Ccк*

где Сак — емкость анод—катод, Сск — емкость сетка—катод. Про­ницаемость триода Д<1, так как емкость анод—катод меньше емкости сетка—катод. Это объясняется тем, что электроды анод— катод расположены дальше, чем сетка—катод и, самое главное, сетка экранирует анод от катода, тем самым уменьшая емкость Сас.

Уравнение действующего напряжения учитывает, что по­ле управляющей сетки непосредственно воздействует на простран­ственный заряд, а поле анода ослаблено экраном, которым яв­ляется сетка. Меру ослабления действия поля анода на пространственный заряд у катода за счет экранирующего действия сетки учитывает проницаемость *D,* которая зависит от шага намотки сетки. Чем гуще намотана сетка, тем больше силовых линий элек­трического поля анода замкнется на сетке и соответственно мень­шее количество попадет на катод. При более густой намотке сет­ки уменьшается емкость Сак и увеличивается емкость Сск, а сле­довательно, *D* уменьшается. В триодах *D* меняется в пределах от 0,25 до 0,01.

Пользуясь формулой, можно определить напряжение *Uc,* при котором анодный ток триода становится равным нулю, и триод, как принято говорить, «запирается». Анодный ток *I*а будет равен нулю, если действующее напряжение триода станет равным нулю. Отсюда

*0=Uc + DUa, Uc зап = -DUa*

Введение понятия об эквивалентном диоде позволяет приме­нить для триода закон степени 3/2

Iа=GU3/2д = G(Uc + DUa)3/2

Следует отметить, что эквивалентность диода и триода имеет мес­то только при равенстве катодных токов обеих ламп. Поэтому данная формула применима лишь тогда, когда *I*а=*I*к, т. е. когда *Iс=0.* Но даже в таком случае реальные характеристики триода отличаются от идеальных, построенных на основании этой форму­лы в силу сложности явлений, происходящих в триоде и не учтен­ных при выводе данной формулы.

## 4. СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРИОДА

Итак, анодный ток триода является функцией двух перемен­ных .величин — анодного напряжения *U*а и сеточного напряжения *Uс.* Зависимости анодного тока *I*а от одного из этих напряжении при постоянном другом напряжении и представляют собой семей­ства статических характеристик триода. Схема для снятия этих характеристик показана на рис.3

*Анодные характеристики Ia=f(Ua)* при Uc=const (рис.4) являются выходными характеристиками триода. Для снятия анод­ных характеристик постоянное напряжение устанавливают с по­мощью потенциометра *RI* в цепи сетки, а затем потенциометром *R2* в цепи питания анода плавно меняют напряжение *Ua,* фикси­руя миллиамперметром *«мА»* значение тока *I*а. Анодная характе­ристика, снятая при *Uc=0,* проходит через начало координат, а снятые при *Uc=0* сдвинуты вправо от нулевой характеристики, так как при отрицательном потенциале на сетке анодный ток уменьшается. Для компенсации тормозящего электрического поля, созданного напряжением —*Uc,* требуется подать определенное напряжение *+**Ua,* и только тогда появится ток *I*а. При том же значении напряжения —*Uc* для появления тока *I*а требуется тем большее напряжение *+Uа,* чем меньше проницаемость *D,* так как экранирующее действие управляющей сетки становится сильнее и влияние поля анода на ток *I*а уменьшается.

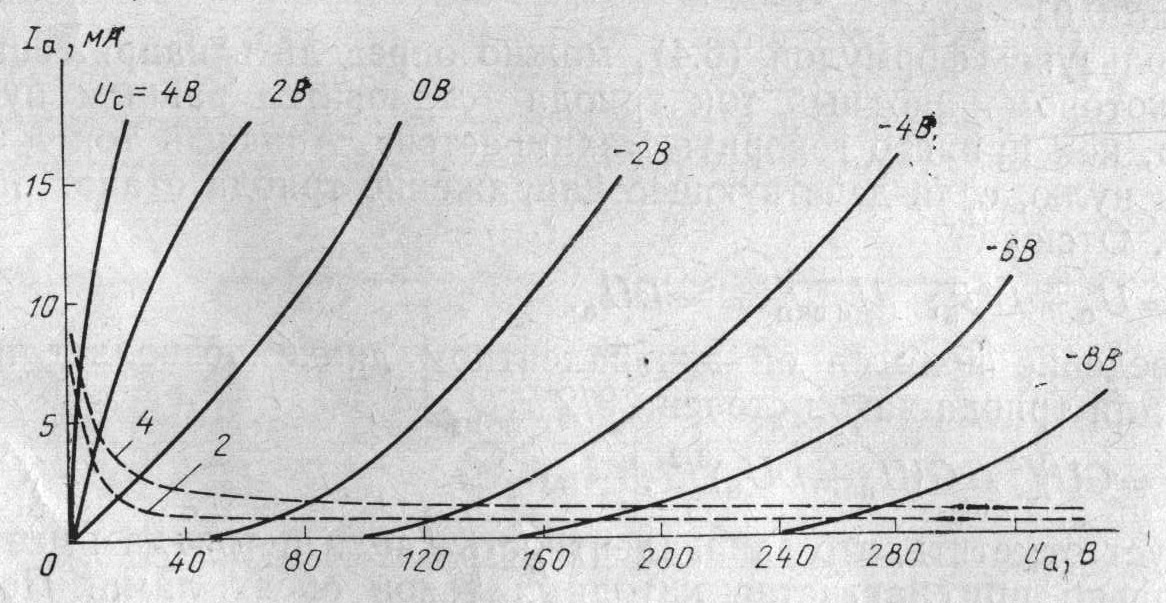


рис.4

Анодные характеристики, снятые при *Uc>0,* располагаются ле­вее характеристики при *Uc=0.* При этом наблюдается ток *I*а даже при *Ua**=0,* что объясняется созданием ускоряющего поля для электронов положительным напряжением на сетке, которое увеличивает энергию электронов, позволяя некоторым из них пролететь между витками сетки и долететь до анода. При небольших напря­жениях *Uа* наблюдается вначале резкое увеличение тока *Ia,* затем характеристика становится более пологой. Это объясняется тем, что при *Ua=0* в пространстве между сеткой и анодом образовал­ся еще один пространственный заряд электронов, который распо­ложен между катодом и сеткой. При подаче даже небольших нап­ряжений *Uа* этот пространственный заряд рассеивается полем анода, а электроны его притягиваются к аноду, увеличивая ток *I*а. При дальнейшем увеличении напряжения *Ua* ток *I*а растет мед­леннее, так как его увеличение идет только за счет околокатод­ного пространственного заряда.

*Анодно-сеточные характеристики триода Ia=f(Uc)* при *Ua=*const приведены на рис.5 Для снятия этих характеристик е помощью потенциометра *R2* в цепи питания анода устанавливают постоянное напряжение *Ua,* отмечаемое по вольтметру *U2* а потенциометром *RI* в цепи сетки плавно меняют напряжение на сетке *Uc,* фиксируя значение тока *I*а. Чем больше напряжение *U*а, тем левее расположены характеристики. Это следует из уравне­ния действующего напряжения, так как при большем *Ua,* увеличивается по абсолютной величине и напряжение —*Uc,* при котором триод запирается. При том же значении —*Uc* ток *I*а бу­дет тем больше, чем больше + *Ua.* Расположение анодно-сеточных характеристик, как и анодных, сильно зависит от лроницаемости триода *D.* Чем больше проницаемость *D,* тем левее расположены характеристики, так как требуется большее отрицательное напря­жение на сетке для компенсации поля анода и запирания лампы. Триоды с малой проницаемостью *D,* у которых лампа запирается при сравнительно небольших отрицательных напряжениях на уп­равляющей сетке, получили название *правых ламп,* в отличие or *левых ламп* с редкой намоткой сетки, т. е. большой проницаемо­стью *D,* которые запираются при сравительно больших отрица­тельных напряжениях на сетке.

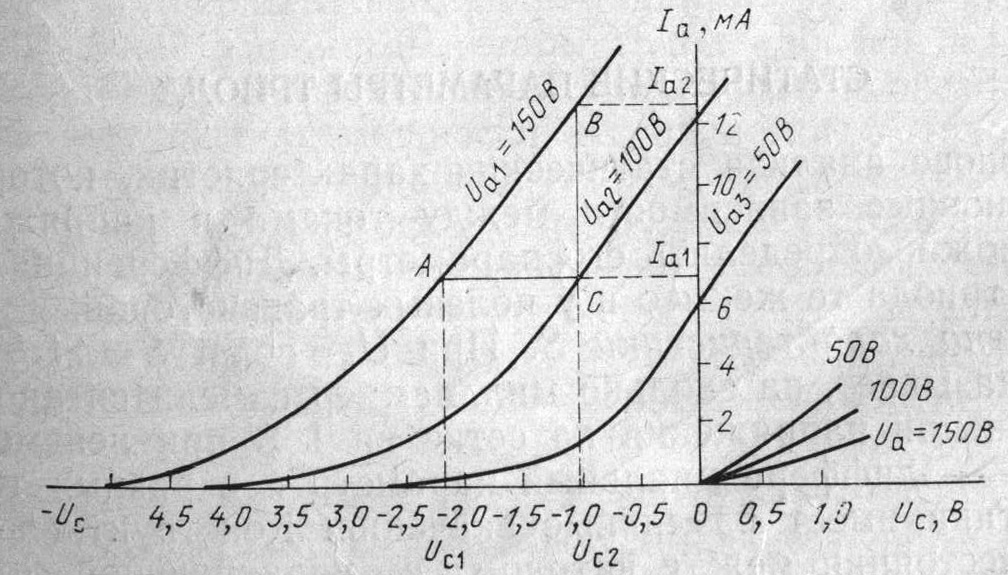


рис.5

*Характеристики сеточного тока.* Как уже отмечалось, при *по­ложи**тел**ьном* напряжении на сетке появляется сеточный ток *I*c.

Учитывая, что мощные триоды работают при положительных нап­ряжениях на сетке, большой интерес представляют характерис­тики зависимостей сеточных токов от сеточных и анодных напря­жений.

Для анализа работы триода при положительных напряжениях на сетке вводятся понятия о двух режимах работы триода: *ре­жиме возврата* и *режиме перехвата* электронов.

Электроны, пролетающие через сетку к аноду, создают в про­межутке сетка—анод пространственный заряд. В режиме возвра­та электронов к сетке *(Uc≥Ua)* значительная часть электронов пространственного заряда возвращается обратно к сетке под дей­ствием сильного электрического поля сетки. При анодном напря­жении *Ua = 0* сеточный ток *I*а достигает максимального значения. С ростом анодного напряжения *U*a происходит резкое возрастание анодного тока *I*а, а сеточный уменьшается, что объясняется воз­растающим влиянием электрического поля анода на электроны пространственного заряда в промежутке сетка—анод.

В режиме перехвата *Uc<Ua* пространственный заряд рассеи­вается и сеточный ток образуется только за счет электронов, не­посредственно перехваченных сеткой, благодаря положительному напряжению между сеткой и катодом.

Характеристики сеточного тока *l**c=f(Ua)* при *U*c=const даны на рис.4 штриховыми линиями.

При небольших анодных напряжениях наблюдается режим пе­рехвата, сеточный ток резко уменьшается при возрастании анод­ного напряжения *Ua.* В режиме перехвата сеточный ток мало ме­няется при изменении анодного напряжения. Чем больше напряжение на сетке, тем выше расположены характеристики сеточного тока, так как большое количество электронов перехватывается сеткой. Характеристика сеточного тока *I*с=*f*(*U*с) при *U*a=const, которую по аналогии с биполярными транзисторами можно наз­вать входной характеристикой триода, показана на рис.5 Эти характеристики представляют собой ряд веерообразно располо­женных кривых. Чем меньше анодное напряжение при том же напряжении на сетке, тем сеточный ток больше.