

РАБОТА № 2. ЧЕТЫРЕХ- И ПЯТИЭЛЕКТРОДНЫЕ ЛАМПЫ

Целью данной работы является изучение физических процессов, протекающих в четырех- и пятиэлектродных лампах и экспериментальное Исследование их основных характеристик и параметров.

ВВЕДЕНИЕ

При рассмотрении применения триодов в практических схемах следует отметить ряд их существенных недостатков.

Прежде всего триоды имеют низкий коэффициент усиления μ . Увеличение последнего возможно за счет уменьшения проницаемости лампы D , например с помощью увеличения густоты сетки и расстояния анод-сетки. Однако, в этом случае при тех же рабочих напряжениях будет уменьшаться величина действующего потенциала, а следовательно, анодный ток и крутизна лампы S . Это приводит к необходимости работать при достаточно высоких анодных напряжениях или малых отрицательных рабочих напряжениях на сетке. В последнем случае значительно сокращается рабочий участок анодно-сеточной характеристики.

Чтобы обеспечить качественную работу усилительной лампы, необходимо иметь левую анодно-сеточную характеристику, сдвиг которой влево приближенно определяется соотношением $U_{g0} = \frac{U_a}{\mu}$. Отсюда следует, что при больших μ следует работать с высокими анодными напряжениями, что является не всегда безопасным для работы лампы и не экономичным.

Триоды обладают сравнительно малым внутренним сопротивлением, что приводит в усилительных схемах к шунтирующему воздействию их на анодный контур.

Одним из основных недостатков является также то, что они обладают большими проходными емкостями C_{a-g} . Это приводит к значительной обратной связи анодной цепи сеточной и тем самым ограничивает применение триодов в области повышенных частот.

Попытки преодоления недостатков, свойственных триоду, особенно при работе в области высоких частот, привели к созданию ламп с экранирующей сеткой, расположенной между управляющей сеткой и анодом. Такие четырехэлектродные лампы обычно называют тетрами.

Введение экранирующей сетки ослабляет воздействие поля анода на катод и приводит к увеличению внутреннего сопротивления и коэффициента усиления лампы. Внутреннее сопротивление тетры может достигать сотен и тысяч килоом, а проходная емкость C_{a-g} уменьшается до тысячных долей пикофард. На экранирующую сетку подается положительное напряжение, как правило, меньшее или равное анодному напряжению. В связи с этим часть электронов попадает на сетку, и в цепи экранирующей сетки возникает сеточный ток I_{g2} .

При анализе работы лампы следует учитывать влияние на катодный ток всех потенциалов, которые прикладываются к электродам лампы. При этом полный катодный ток при отрицательном потенциале на управляющей сетке перераспределяется между экранирующей сеткой и анодом.

На рис. 1 показаны типичные анодные характеристики экранированной лампы.

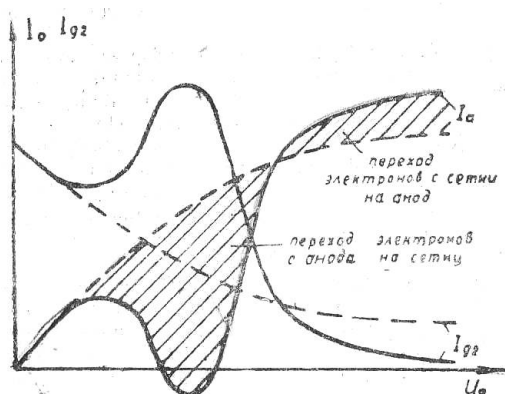


Рис. 1: Зависимости токов анода и экранирующей сетки тетрода от потенциала анода (пунктиром нанесены характеристики при отсутствии динаatronного эффекта).

При малых анодных напряжениях, когда энергия первичных электронов недостаточная для выбивания вторичных электронов из анода, а вторичные электроны второй сетки возвращаются к ней, анодный ток быстро растет с ростом U_a . При увеличении анодного напряжения вторичные электроны с анода переходят на вторую сетку, и анодный ток, определяемый разностью первичных и вторичных электронов, уменьшается с ростом U_a . Возникает так называемый динаatronный эффект, под которым понимают явление изменения тока в цепях электродов лампы вследствие вторичной эмиссии электронов, выбитых с одного электрода, и перехода их на электрод, имеющий более высокий потенциал. В этой области анодных напряжений анодный ток при большом коэффициенте вторичной эмиссии материала анода может даже изменить свое направление.

Когда поле между анодом и второй сеткой перестает ускорять электроны, выбитые из анода ($U_a \approx U_g$), уменьшение анодного тока и увеличение тока второй сетки I_{g2} прекращается. Дальнейшее возрастание U_a сопровождается быстрым возрастанием I_a и уменьшением I_{g2} , так как вторичные электроны с анода возвращаются к нему. Электроны, выбитые из второй сетки, также переходят на анод. При $U_a > U_g$ характеристика анодного тока переходит в пологую кривую, где анодное напряжение слабо влияет на ток.

Падающий участок анодной характеристики, где анодный ток уменьшается с ростом анодного напряжения, представляет собой не что иное, как отрицательное сопротивление. Это свойство тетрода используется для

генерирования колебаний с помощью так называемых динаatronных генераторов.

С другой стороны, динаatronный эффект может в значительной степени исказить форму усиливаемого сигнала и тетрод в усилительных схемах, может работать лишь в ограниченной области анодных напряжений. Поэтому экранированные тетроды не получили широкого распространения. Динаatronный эффект в лампе возможно устранить путем создания тормозящего поля вблизи анода, заставляя тем самым вторичные электроны, вылетевшие из анода, вновь вернуться на анод. Это возможно осуществить несколькими путями.

Во-первых, созданием значительной величины поля пространственного заряда и тем самым созданием минимума потенциала между экранирующей сеткой и анодом. Это достигается фокусировкой электронного потока и значительным увеличением расстояния экранирующая сетка-анод, что и получило практическое осуществление в лучевых тетродах.

Во-вторых, введением дополнительной третьей сетки между экранирующей сеткой и анодом. Такая сетка называется защитной или антидинаatronной, на нее иногда подается отрицательный потенциал или, как обычно, она соединяется с катодом. Эта сетка изменяет распределение потенциала в пространстве между второй сеткой и анодом, образуя потенциальный минимум, который препятствует попаданию вторичных электронов на соседний электрод. Такая лампа с тремя сетками получила название пентода, который, обладая целым рядом преимуществ, получил самое широкое распространение в практике и является, по сути говоря, универсальной лампой, применяемой в схемах как низкой, так и высокой частоты.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1. Физические процессы, протекающие в пентоде

Рассмотрение физических процессов в пентоде начнем с анализа картины распределения потенциального поля в плоском пентоде, приведенной на рис. 2 а, при отрицательном напряжении на первой сетке, значительном положительном напряжении на второй сетке, нулевом потенциале третьей сетки и высоком положительном потенциале анода.

Поле вблизи сеток искажено (потенциалы в просветах в плоскости сетки отличаются от потенциалов самой сетки). Потенциал в просвете сетки определяется как потенциалом рассматриваемой сетки, так и потенциалами остальных электродов, особенно соседних. Неравномерность поля в плоскости каждой сетки определяется плотностью самой сетки, а также зависит от удаления, плотности и потенциалов соседних сеток. При удалении от сетки поле выравнивается и на достаточном расстоянии становится близким к однородному. Поэтому при рассмотрении процессов в этих областях можно заменить реальные сетки сплошными поверхностями с такими, действующими потенциалами, чтобы эквивалентное поле соответствовало бы реальному полю в этих областях.

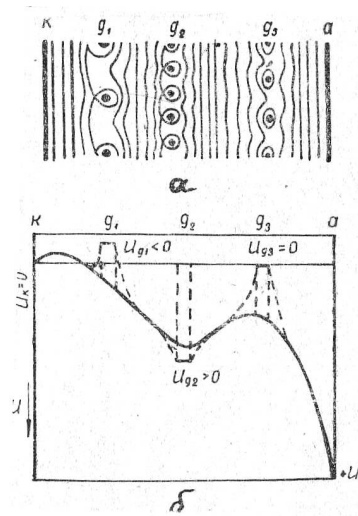


Рис. 2: Потенциальное поле (а) и потенциальная диаграмма (б) пентода.

На рис. 2б приведена потенциальная диаграмма для плоского пентода (сплошные — по просветам, пунктирные по сечению витков сетки).

Вблизи первой и третьей сеток потенциалы снижаются, а у второй сетки возрастают. У катода за счет действия пространственного заряда создается тормозящее поле. За этой областью (по просветам первой сетки) ускоряющее поле, которое переходит за второй сеткой в тормозящее. Снижение потенциалов между второй и третьей сетками происходит как за счет низкого потенциала третьей сетки, так и за счет действия вторичного пространственного заряда, создаваемого электронами, тормозящимися полем третьей сетки. Значительное отличие потенциалов в просветах третьей сетки от ее потенциала объясняется малой плотностью третьей сетки и свободным проникновением полей анода и второй сетки через ее просветы. За третьей сеткой действует сильное ускоряющее поле анода. Электроны, преодолевшие потенциальный минимум у катода, проходят через просветы первой сетки, претерпевают отклонения, зависящие от точки прохождения через просвет сетки, от плотности сетки и соотношения приложенных к электродам лампы напряжений. В плоскости второй сетки часть электронов перехватывается сеткой и создается сеточный ток I_{g2} . Остальные электроны, претерпевая отклонения, попадают в тормозящее поле третьей сетки. Это поле смогут преодолеть только электроны с достаточной нормальной составляющей скорости, т. е. отклоненные на угол меньше критического, зависящего от соотношения напряжений на электродах. При слабом тормозящем поле все электроны пересекают плоскость третьей сетки и попадают на анод. При сильном тормозящем поле все электроны отражаются третьей

сеткой ко второй. При этом ток анода уменьшается, а ток второй сетки увеличивается. Точное исследование отклонения электрона сеткой весьма затруднительно. Тип линзы, образуемой потенциальным полем в просветах сетки, зависит от градиента потенциала, с обеих сторон сетки и в первом приближении не зависит от диаметра провода, сетки и ее шага.

Когда при прохождении через сетку градиент потенциала увеличивается, то линза является собирающей, если же градиент уменьшается, то рассеивающей.

Рассмотрим коротко влияние каждого, из электродов на величину анодного тока и тока экранирующей сетки. Первая сетка влияет, в основном, на катодный ток. При увеличении U_{g1} увеличивается I_k и вторичный пространственный заряд. В результате этого усиливается тормозящее поле перед третьей сеткой. Это приводит к более медленному росту I_a по сравнению с I_{g2} , т. е. коэффициент токораспределения $k = \frac{I_a}{I_{g2}}$ должен с ростом U_{g1} несколько уменьшаться. Напряжение второй сетки влияет и на катодный ток и на процесс токораспределения. При увеличении U_{g2} снижается потенциальный минимум у катода и все токи возрастают. При этом углы отклонения в плоскости второй сетки увеличиваются, часть тока, попадающего на анод, уменьшается, но абсолютная величина анодного тока растет. Коэффициент токораспределения уменьшается с ростом U_{g2} , так как I_{g2} растет быстрее I_a за счет увеличения вторичного пространственного заряда и тормозящего поля перед третьей сеткой. Третья сетка в основном влияет на процессы токораспределения. При изменении U_{g2} меняется потенциальный барьер в ее плоскости и тормозящее поле за второй сеткой, вследствие чего меняется количество электронов, пересекающих плоскость третьей сетки, а следовательно, изменяется и анодный ток.

При большом отрицательном U_{g3} все электроны, прошедшие плоскость второй сетки, отражаются полем третьей сетки; при этом $I_a = 0$, $I_{g2} \approx I_k$. При уменьшении отрицательного напряжения третьей сетки I_a увеличивается, а I_{g2} уменьшается. Увеличение I_a определяется уменьшением количества возвращенных электронов. Когда все электроны, прошедшие вторую сетку пересекают и плоскость третьей сетки, изменение U_g уже не будет влиять на токи в системе. Таким образом, управляющее действие третьей сетки возможно только в режиме возврата. (Режим, при котором часть электронов, прошедших вторую сетку, возвращается, снова к ней. Режим перехвата соответствует случаю, когда все электроны, прошедшие вторую сетку, попадают на анод).

На рис. 3 показаны траектории электронов при различных отрицательных напряжениях на третьей сетке. Возможность прохождения электронами плоскости третьей сетки определяется не только величиной нормальной составляющей скорости, но и положением траектории электрона относительно просветов третьей сетки. Немалую роль играет и вторичный пространственный заряд, образующийся перед третьей сеткой. Влияние вторичного пространственного заряда иллюстрируется рис. 4, на котором показаны потенциальные диаграммы промежутка вторая сетка — третья сетка.

ка при различных токах катода. При $I_k = 0$ существует только внешнее поле (1). При увеличении I_k поле пространственного заряда изменяет распределение потенциала в промежутке и при некотором значении I_k появляется минимум потенциала (плоскость «О»). При дальнейшем увеличении

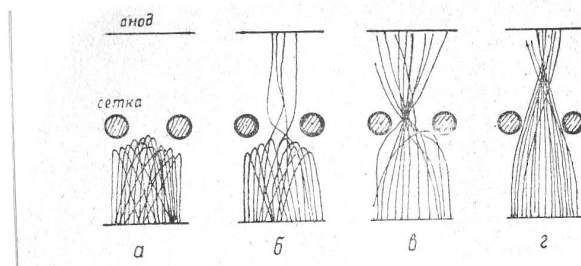


Рис. 3: Траектории электронов в области третьей сетки пентода при различных отрицательных напряжениях на ней (отрицательные напряжения уменьшаются от a к $г$).

I_k величина минимума потенциала растет, а его плоскость смещается по направлению ко второй сетке (пунктирная кривая). При некотором значении I_k определяемом шириной промежутка и потенциалами электродов U_{g2} и U_{g3} , величина минимального потенциала становится равной нулю (5). Возникает так называемый виртуальный катод. При этом значение катод-

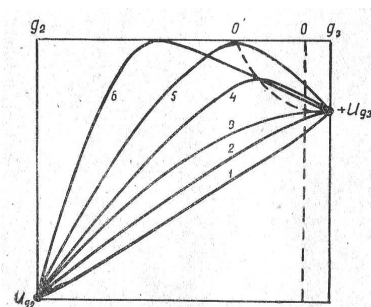


Рис. 4: Распределение потенциала в промежутке между второй и третьей сетками при разных токах катода.

ного тока является предельным. До возникновения виртуального катода все электроны, прошедшие вторую сетку, достигают плоскости третьей сетки, а следовательно, анода. При возникновении виртуального катода поток

электронов разделяется на два: первый проходит через плоскость виртуального катода к аноду, второй возвращается обратно ко второй сетке. После образования виртуального катода анодный ток с увеличением тока катода уменьшается.

Процессы токораспределения в значительной степени определяются положением третьей сетки между анодом и второй сеткой, а также напряжением на аноде. Следует подчеркнуть, что анодное напряжение влияет в основном лишь на токораспределение. С увеличением этого напряжения возрастает критический угол отклонения, вследствие чего анодный ток растет, а I_{g2} падает. При этом анодный ток растет быстро, так как при большом числе возвращающихся электронов даже небольшие изменения потенциального барьера, тормозящего их движение к аноду, приводит к значительному изменению числа электронов, переходящих на анод. Соответственно быстро уменьшается I_{g2} , а I_k возрастает за счет уменьшения числа электронов, возвращающихся к катоду.

Когда все электроны, прошедшие вторую сетку, переходят на анод, токи в цепях анода и второй сетки с изменением анодного напряжения меняются незначительно, и происходит это лишь за счет уменьшения перехвата электронов второй сеткой. Таким образом, анодное напряжение существенно влияет на токи в режиме возврата и незначительно в режиме перехвата, следствием чего и является пологий ход анодной характеристики в рабочем режиме работы пентода, в отличие от характеристик триода.

2. Действующий потенциал в пентоде

Основным вопросом в теории пентода является установление закономерностей прохождения тока в цепях отдельных электродов, в частности в анодной цепи, определение параметров и характеристик пентода. Решение этой задачи сводится, как и в триоде, к расчету потенциального поля пентода. Однако, даже в простейшем случае при пренебрежении пространственным зарядом, т. е. полагая $\rho = 0$, такая общая задача до настоящего времени не решена строго.

В связи с этим, используя выводы теории триода, проведем рассмотрение теории пентода с точки зрения введения действующего потенциала.

Если расстояние между электродами много больше шага сеток, а шаг сетки значительно больше диаметра проволоки, сетки, то рассматриваемую сетку можно заменить некоторым сплошным электродом и подать на нее такой потенциал, который на достаточном удалении от сетки создавал бы потенциальное поле, эквивалентное полю реальной системы. Такой потенциал обычно называют действующим потенциалом.

При расчете действующих потенциалов в плоскости любой сетки соседние электроды также заменяются сплошными поверхностями с соответствующими действующими потенциалами и задача сводится к обычному триоду. Тогда, учитывая выводы работы № 1, можно записать действующий

потенциал в плоскости n -й от катода сетки в виде:

$$U_{\partial n} = \frac{D_{\text{нобр}}U_{\partial(n-1)} + U_{gn} + D_n U_{\partial(n+1)}}{1 + D_n + D_{\text{нобр}}}, \quad (1)$$

где $U_{\partial(n-1)}$ и $U_{\partial(n+1)}$ - действующие потенциалы в плоскостях $(n-1)$ и $(n+1)$ сеток, а D_n и $D_{\text{нобр}}$ - условные прямая и обратная проницаемости n -й сетки. D_n - определяет проникновение поля $(n+1)$ сетки в случае, если бы она была заменена сплошной поверхностью, в область между n -й и $(n-1)$ -й сетками, а $D_{\text{нобр}}$ проникновение поля $(n-1)$ -й сетки, при том же предположении, в область между n -й и $(n+1)$ -й сетками.

В случае плоских электродов можно в соответствии с формулами для триода записать:

$$D_n = \frac{a_n \ln \frac{a_n}{2\pi r_n}}{2\pi(d_{gk_{(n+1)}} - d_{gk_n})}; \quad (2)$$

$$D_{\text{нобр}} = \frac{a_n \ln \frac{a_n}{2\pi r_n}}{2\pi(d_{gk_n} - d_{gk_{(n-1)}})}; \quad (3)$$

где $d_{gk_{(n-1)}}$, d_{gk_n} , $d_{gk_{(n+1)}}$ - расстояния от катода, соответственно, до $(n-1)$ -й, n -й и $(n+1)$ -й сеток. При расчете проницаемости первой сетки считаем $d_{gk_{(n-1)}} = 0$, а при расчете проницаемости ближайшей к аноду сетки $d_{gk_{(n+1)}} = d$, т. е. расстоянию от катода до анода, a_n - шаг n -й сетки, а $2r$ - диаметр ее проволоки. Положив $\sigma_n = \frac{1}{1+D_n+D_{\text{нобр}}}$, выражение (1) запишем в виде

$$U_{\partial n} = \sigma_n(D_{\text{нобр}}U_{\partial(n-1)} + U_{gn} + D_n U_{\partial(n+1)}), \quad (4)$$

Здесь σ_n - острота управления n -й сетки.

Из формулы (4) можно написать выражения для действующих потенциалов в плоскостях первой, второй и третьей сеток пентода, при предположении, что потенциал катода равен нулю:

$$\left. \begin{aligned} U_{\partial_1} &= \sigma_1(U_{g_1} + D_1 U_{\partial_2}); \\ U_{\partial_2} &= \sigma_2(D_{2\text{обр}}U_{\partial_1} + U_{g_2} + D_2 U_{\partial_3}); \\ U_{\partial_3} &= \sigma_3(D_{3\text{обр}}U_{\partial_3} + U_{g_3} + D_3 U_a). \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Решая эти уравнения относительно U_{∂_1} , U_{∂_2} и U_{∂_3} , найдем

$$\left. \begin{aligned} U_{\partial_1} &= \frac{\left(\frac{1}{\sigma_2} - \sigma_3 D_2 D_{\text{обр}}\right) U_{g_1} + D_1 U_{g_2} + \sigma_3 D_1 D_2 U_{g_3} \sigma_3 D_1 D_2 D_3 U_a}{\frac{1}{\sigma_1 \sigma_2} - D_1 D_{2\text{обр}} - D_2 D_{3\text{обр}} \frac{\sigma_3}{\sigma_1}}; \\ U_{\partial_2} &= \frac{\sigma_1 D_{2\text{обр}} U_{g_1} + \sigma_3 D_2 U_{g_3} + \sigma_3 D_2 D_3 U_a + U_{g_2}}{\frac{1}{\sigma_2} - \sigma_1 D_1 D_{2\text{обр}} - \sigma_3 D_2 D_{3\text{обр}}}; \\ U_{\partial_3} &= \frac{\sigma_1 D_{2\text{обр}} D_{3\text{обр}} U_{g_1} + D_{3\text{обр}} U_{g_2} + \left(\frac{1}{\sigma_2} - \sigma_1 D_1 D_{2\text{обр}}\right) U_{g_3}}{\frac{1}{\sigma_2 \sigma_3} - D_1 D_{2\text{обр}} \frac{\sigma_1}{\sigma_3} - D_2 D_{3\text{обр}}} + \\ &\quad + \frac{\left(\frac{D_3}{\sigma_2} - \sigma_1 D_1 D_{2\text{обр}} D_3\right) U_a}{\frac{1}{\sigma_2 \sigma_3} - D_1 D_{2\text{обр}} \frac{\sigma_1}{\sigma_3} - D_2 D_{3\text{обр}}}. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Полученные соотношения являются общими выражениями для действующих потенциалов в пентоде. Для практических расчетов они могут быть приведены к очень простым соотношениям. Так как в пентоде используется густая экранирующая сетка, то можно принять $D_2 \approx D_{2\text{обр}} \approx 0$, и σ_1 . Третья сетка обычно соединяется с катодом, следовательно, U_{g3} . Тогда выражения (6) принимают вид:

$$\left. \begin{aligned} U_{\partial_1} &= \sigma_1(U_{g1} + D_1 U_{g2}); \\ U_{\partial_2} &= U_{g2}; \\ U_{\partial_3} &= \sigma_3(D_{3\text{обр}} U_{g2} + D_3 U_a). \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Из полученных приближенных соотношений для действующих потенциалов в плоскостях каждой из сеток пентода ясно, какую роль играют управляющие током электроды. Используя эти соотношения, можно получить интересные нас закономерности токопрохождения в пентоде.

Следует подчеркнуть, что введенные проницаемости $D_1, D_2, D_3, D_{2\text{обр}}, D_{3\text{обр}}$ не отражают реальные физические величины и являются условными. Поэтому удобнее ввести такие проницаемости, физический смысл которых является вполне реальным, и характеризуют они сравнительное воздействие отдельных электродов на действующий потенциал U_{∂_1} т. е. на катодный ток. Например, из (6) получаем полную проницаемость пентода:

$$D_{ag1} = \frac{D_1 D_2 D_3}{\frac{1}{\sigma_2 \sigma_3} - D_2 D_{3\text{обр}}},$$

которая характеризует сравнительное воздействие электрических полей анода и первой управляющей сетки на катодный ток. Аналогично можно рассматривать сравнительное воздействие потенциалов и других электродов.

Используя введенное понятие действующего потенциала, пентод можно сводить к эквивалентному диоду, к которому применим закон степени $3/2$. Тогда катодный ток пентода выразится следующим образом:

$$I_k = A U_{\partial_1}^{3/2} = A \sigma_1^{3/2} (U_{g1} + D_1 U_{g2})^{3/2},$$

где A , как и в случае триода, является коэффициентом пропускания, зависящим от геометрических размеров. Зная коэффициент токораспределения $k = \frac{I_a}{I_{g2}}$, можно определить токи анодной цепи (I_a) и экранирующей сетки (I_{g2})

$$I_a = \frac{k}{k+1} I_k; \quad I_{g2} = \frac{1}{k+1} I_k,$$

учитывая, что $I_k = I_a + I_{g2}$.

Для расчета k воспользуемся данными, полученными для триода, работающего с положительной сеткой (работа № 1). В данном случае рассмотрим триод, образованный первой, второй и третьей сетками, поскольку токораспределение происходит именно в этой области. Можно считать, что при положительном напряжении на аноде на него попадают все электроны,

которые достигают плоскости третьей сетки, т. е. расчет токораспределения необходимо вести из сравнения действующих напряжений в плоскостях второй и третьей сеток. Тогда в режиме прямого перехвата получим:

$$k = \frac{I_a}{I_{g2}} = B \left(\frac{U_{\partial 3}}{U_{\partial 2}} \right)^{1/2}.$$

Используя выражения для действующих напряжений $U_{\partial 3}$ и $U_{\partial 2}$ из (7), приходим к соотношению:

$$K = B\sigma_3^{1/2} \left(D_{3\text{обр}} + D_3 \frac{U_a}{U_{g2}} \right)^{1/2} \quad (8)$$

Эта теоретическая зависимость $k = f \left(\frac{U_a}{U_{g2}} \right)$ справедлива для режима перехвата и дает хорошее совпадение с экспериментом, причем коэффициент токораспределения очень мало изменяется в зависимости от анодного напряжения. Из выражения (8) можно найти уравнение анодной характеристики:

$$U_a = \frac{U_{g2}}{D_3} \left[\frac{1}{B^2\sigma_3} \left(\frac{I_a}{I_k - I_a} \right)^2 - D_{3\text{обр}} \right]. \quad (9)$$

Это уравнение пологой части анодной характеристики пентода.

При малых анодных напряжениях, т. е. в режиме возврата, так же как и в триоде с положительной сеткой (см. работу № 1), учитывая возврат электронов из пространства между второй и третьей сеткой на экранирующую, приходим к соотношению:

$$\frac{I_a}{I_k} = c \sqrt{\frac{U_{\partial 3}}{U_{\partial 2}}} = c\sigma_3^{1/2} \left(D_{2\text{обр}} + D_3 \frac{U_a}{U_{g2}} \right)^{1/2}.$$

Откуда получаем уравнение анодной характеристики начального участка, т. е. для режима возврата:

$$U_a = \frac{U_{\partial 2}}{D_3} \left[\frac{1}{c^2\sigma_3} \left(\frac{I_a}{I_k} \right)^2 - D_{2\text{обр}} \right].$$

В режиме возврата анодный ток сильно зависит от анодного напряжения. Объясняется это тем, что с ростом анодного напряжения спрямляется траектория движения электронов и увеличивается предельный угол отклонения $\alpha_{\text{пр}}$. Кроме того, анодное напряжение оказывает сильное воздействие на вторичный пространственный заряд. В этом случае анодное напряжение оказывает сильное влияние и на коэффициент токораспределения.

В режиме же прямого перехвата изменение анодного тока происходит в основном лишь за счет изменения количества электронов, перехватываемых непосредственно экранирующей сеткой, коэффициент токораспределения с изменением U_a меняется незначительно, оставаясь почти постоянным. Вследствие этого анодная характеристика в режиме перехвата имеет пологий ход.

3. Статические характеристики и параметры пентода

Зависимости токов I_a и I_{g2} от напряжения на первой сетке U_{g1} при разных U_a и U_{g2} представлены на рис. 5. В режиме перехвата, к которому относятся эти характеристики, даже большое изменение U_a приводит к незначительным изменениям токов, и характеристики при разных U_a идут близко друг к другу. Это семейство характеристик мало удобно для определения параметров и расчета рабочих режимов пентода. Изменение напряжения на второй сетке U_{g2} приводит к значительным изменениям токов. При увеличении U_{g2} запирающее напряжение становится более отрицательным, а токи I_a и I_{g2} возрастают. Характеристики смещаются влево.

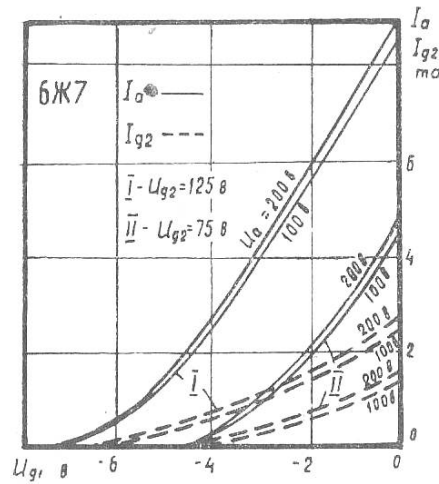


Рис. 5: Зависимости токов анода и экранирующей сетки от напряжения на управляющей сетке при разных напряжениях на аноде и экранирующей сетке.

Основным семейством характеристик пентода, позволяющим производить все необходимые расчеты в статическом и динамическом режимах, является семейство анодных характеристик $I_a = f(U_a)$, снимаемых при $U_{g2} = const$ и $U_{g3} = const$ для разных значений U_{g1} (рис. 6). При более отрицательном напряжении на первой сетке, I_k уменьшается, характеристики проходят ниже, при этом также уменьшается U_a , при котором режим возврата переходит в режим перехвата, так как при этом уменьшается вторичный пространственный заряд и ослабевает тормозящее поле за второй сеткой (точки перехода соединены штрих-пунктиром).

Основное требование, которое предъявляется к анодным характеристикам пентода для получения неискаженного усиления, заключается в том,

чтобы динамическая характеристика пентода $I_a = f(U_{g1})$ являлась линейной. В этом случае анодные характеристики на рабочих участках, т. е. пологих частях характеристики, должны идти параллельно и одинаково отстоять по вертикали друг от друга при условии, если значения U_{g1} изменяются на одинаковое число вольт. Кроме того, анодные характеристики должны переходить к пологому участку при малом значении U_a . Это требуется для того, чтобы получать большее усиление напряжения и большую полезную мощность.

Основными статическими параметрами пентода являются крутизна $S = \frac{\partial I_a}{\partial U_{g1}}$, внутреннее сопротивление $R_i \frac{\partial U_a}{\partial I_a}$ и коэффициент усиления $\mu = \left| \frac{\partial U_a}{\partial U_{g1}} \right|_{I_a = const}$, с помощью которого сравнивается действие анодного напряжения с действием напряжения управляющей сетки на анодный ток.

Рассмотрим эти параметры для рабочего режима работы пентода, т. е. в режиме перехвата. Заметим, что в этом случае анодный ток определяется через коэффициент токораспределения, который практически не зависит от напряжений на управляющей сетке.

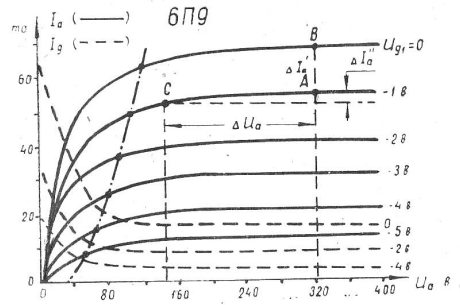


Рис. 6: Зависимости анодного тока и тока экранирующей сетки пентода 6П9 от напряжения на аноде при разных напряжениях на управляющей сетке.

Крутизна пентода тогда выразится:

$$S = \frac{\partial I_a}{\partial U_{g1}} = \frac{k}{k+1} \frac{\partial I_k}{\partial U_{g1}} = \frac{k}{k+1} \frac{3}{2} AU_{g1}^{1/2} = bI_1^{1/3},$$

где b - постоянная крутизна, зависящая от геометрических размеров электродов и коэффициента токораспределения. Из полученного соотношения следует, что по сравнению с триодом при условии одинаковых значений I_k и A крутизна пентода несколько меньше из-за токораспределения.

Внутреннее сопротивление характеризует степень влияния анодного напряжения на анодный ток $R_i = \frac{\partial U_a}{\partial I_a}$.

Выражая анодный ток через катодный, получаем:

$$\frac{1}{R_i} = \frac{\partial I_a}{\partial U_a} = \frac{\partial}{\partial U_a} \left(\frac{k}{k+1} I_k \right) = \frac{k}{k+1} \frac{\partial I_k}{\partial U_a} + \frac{I_k}{(k+1)^2} \frac{\partial k}{\partial U_a}.$$

Отсюда следует, что выходная проводимость пентода определяется двумя проводимостями. Одна из них учитывает влияние анодного напряжения U_a на анодный ток I_a через воздействие на катодный ток I_k . Это влияние связано с проницаемостью лампы. Тогда внутреннее сопротивление пентода, обусловленное проницаемостью лампы, можно обозначить через R_{iD} :

$$R_{iD} = \frac{k+1}{k} \frac{\partial U_a}{\partial I_k} k_{ol}$$

Вторая составляющая проводимости учитывает влияние U_a на I_a через коэффициент токораспределения. Эту составляющую, обусловленную токораспределением, обозначим через R_{ik} :

$$R_{ik} = \frac{(k+1)^2}{I_k} \frac{1}{\frac{\partial k}{\partial U_a}}$$

Тогда полное внутреннее сопротивление пентода может быть представлено в виде двух параллельно соединенных сопротивлений:

$$\frac{1}{R_i} = \frac{1}{R_{iD}} + \frac{1}{R_{ik}}$$

Соотношения этих составляющих сопротивлений могут быть различными в зависимости от конструктивных особенностей лампы. Так, например, у высокочастотных пентодов проницаемость лампы является очень малой. Следовательно, R_{iD} является очень большим и внутреннее сопротивление пентода будет определяться сопротивлением, обусловленным токораспределением, т. е. $R_i \approx R_{ik}$.

Коэффициент усиления пентода определяет степень воздействия напряжений анода и управляющей сетки на анодный ток: $\mu = \left. \frac{\partial U_a}{\partial U_{g1}} \right|_{I_a = const}$.

В отличие от триода коэффициент усиления в пентоде не является величиной обратной проницаемости лампы ($\mu \neq \frac{1}{D}$), так как проницаемость характеризует собой лишь степень воздействия анодного напряжения на катодный ток, не учитывая при этом токораспределения. Коэффициент же усиления учитывает влияние анодного напряжения как на катодный ток, так и на процессы токораспределения. В связи с этим для пентодов справедливо соотношение $\mu = SR_i$, которое обычно используется на практике для определения коэффициента усиления.

Параметры S и R_i могут быть определены из семейства анодных характеристик (рис. 6), аналогично триоду.

4. Основные типы и конструктивные особенности пентодов

В зависимости от применяемой схемы и частотного диапазона к пентодам, к их параметрам и характеристикам предъявляются соответствующие требования. Кратко остановимся на особенностях работы высокочастотных, низкочастотных и широкополосных пентодов.

Как правило, высокочастотные пентоды используются в схемах с резонансными колебательными системами. Известно, что квадрат максимально устойчивого коэффициента усиления прямо пропорционален крутизне (S) и обратно пропорционален проходной емкости C_{a-g} лампы. Поэтому для увеличения максимально допустимого усиления необходимо увеличивать S и уменьшать C_{a-g} . Кроме того, лампа должна иметь большое внутреннее сопротивление, чтобы не вносить добавочного затухания в резонансный контур. Этими основными требованиями и руководствуются при конструировании высокочастотных пентодов. Эти требования находятся в противоречии с точки зрения конструктивных особенностей при создании больших S и R_i . Поэтому идут на компромиссное решение, учитывая специфику работы лампы в той или иной схеме.

В высокочастотном пентоде используется маломощный катод, обеспечивающий высокое R_i , но малую S . Увеличения S в основном добиваются уменьшением расстояний от первой сетки до катода и до второй сетки и использованием более мощных катодов. Для уменьшения C_{a-g} вторую и третью сетку делают густыми, увеличивают расстояние от третьей сетки до анода и второй сетки, используют специальные экраны для уменьшения емкости между выводами электродов и прежде всего между управляющей сеткой и анодом.

В современных высокочастотных пентодах C_{a-g} получается малой, порядка $0,003 \text{ пф}$, крутизна характеристики доходит до $5 \div 8 \text{ ма/в}$ R_i порядка $1 \div 2 \text{ Мом}$ и коэффициент усиления до $3000 \div 10000$.

Низкочастотные пентоды применяются, как правило, для усиления напряжения и мощности. Для низкочастотных пентодов величина, проходной емкости не имеет существенного значения. Они отличаются более простой конструкцией электродов и отсутствием специальной экранировки. Вторая сетка делается не такой густой, как в высокочастотных, вследствие чего уменьшается μ и R_i пентода. Увеличение крутизны достигается увеличением рабочих поверхностей электродов. Анодно-сеточные характеристики в таких пентодах не являются линейными, вследствие чего при усилении происходит заметное искажение усиливаемого сигнала.

Чтобы свести к минимуму эти искажения при работе в динамическом режиме, следует производить более тщательный выбор рабочего режима, соответственно подбирая величину нагрузочного сопротивления. Пентод, как говорят, критичен к выбору нагрузки. Это является одним из основных отрицательных качеств пентодов по сравнению с триодами.

Низкочастотные пентоды, применяемые для усиления напряжения, работают в области небольших анодных токов и поэтому снабжаются маломощными катодами.

Наиболее широкое применение низкочастотные пентоды получили в оконечных ступенях мощных усилителей, т. е. в схемах усиления мощности. В этом случае необходимо максимальное использование линейного участка характеристики и получения больших токов в анодной цепи. Рабочая область характеристики ограничивается линией максимальной мощности $P_{\text{адоп}} = I_a U_a = \text{const}$ (рис. 7), анодной характеристикой при $U_{g1} = 0$ (линия

$I_{g1} = 0$), т. е. лампа работает без токов первой сетки, и анодной характеристикой, которая соответствует «нижнему сгибу» анодно-сеточных характеристик (линия I_{amin}) работа ниже последней линии будет сопровождаться значительными искажениями сигнала.

При заданном напряжении источника анодного питания нагрузочную линию строят, исходя из условий получения наибольшего числа примерно равных отрезков динамической характеристики, заключенных между статическими. Тем самым добиваются минимальных искажений при уси-

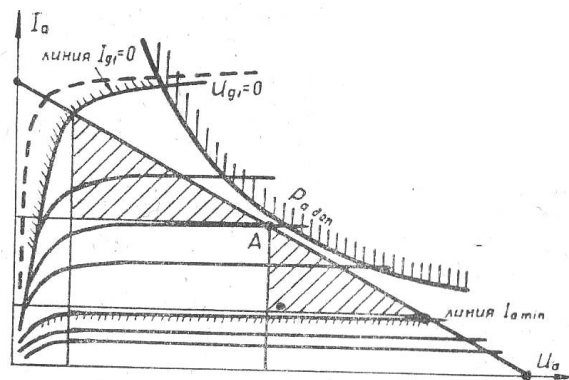


Рис. 7: Графический расчет мощности в нагрузке низкочастотного пентода.

лению. Кроме того, стремятся получить наибольшие площади нагрузочных треугольников, заштрихованных на рис. 7, которые определяют величину полезной колебательной мощности.

Из вышерассмотренного следует, что пентоды для усиления мощности должны обладать большой крутизной и малым внутренним сопротивлением в режиме возврата. Чем круче анодная характеристика на начальном участке (пунктирная кривая), тем больше рабочая область анодных характеристик, тем выше полезная мощность пентода. Лампы должны обладать большой рассеиваемой анодом мощностью ($P_{адоп}$). Исходя из этого, пентоды для усиления мощности снабжаются мощными катодами, имеют большие размеры электродов, мощные черенные аноды, сетки делаются редкими, а междуэлектродные расстояния малыми.

В отдельную группу выделяют обычно мощные электронные лампы, которые используются при усилении и генерировании мощных колебаний высокой и низкой частоты. Однако в этом случае из-за неблагоприятных условий режима работы при больших мощностях, связанных с проблемой охлаждения многосеточных систем, пентоды уступают место триодам. В связи с этим на практике обычно используются пентоды со сравнительно малыми мощностями (с допустимой мощностью, рассеиваемой анодом до нескольких сотен ватт).

Особое место среди электронных ламп занимают широкополосные усилительные лампы. Дело в том, что в современной радиотехнике часто необходимо обеспечить усиление сигнала в очень широкой полосе частот. Это особенно важно для неискаженного усиления импульсного сигнала. Здесь необходимо, чтобы коэффициент усиления в достаточно широких пределах практически не зависел от частоты. В качестве нагрузки у таких усилителей используется активное сопротивление. Однако, наличие выходной емкости лампы C_{a-k} и входной динамической емкости последующего каскада C_{g-k} приводит к тому, что высокие частоты будут усиливаться слабее, чем низкие, так как в первом случае будет сильнее сказываться шунтирующее действие этих емкостей на активное сопротивление анодной нагрузки R_a . В теории широкополосных усилителей вводится так называемый коэффициент широкополосности лампы, определяемый произведением коэффициента усиления k на ширину полосы Δf , который равен:

$$\Phi = k \cdot \Delta f = \frac{S}{2\pi(C_{g-k} + C_{a-k})}$$

Отсюда следует, что широкополосные пентоды должны обладать большой крутизной. Однако конструктивное увеличение крутизны приводит к увеличению и междуэлектродных емкостей, но их возрастание идет медленнее, чем величина крутизны. Поэтому с ростом S коэффициент широкополосности возрастает. Кроме того, с ростом S уменьшаются и шумы в лампе, что также очень важно для широкополосных ламп.

Для достижения большой крутизны широкополосные пентоды должны иметь мощный катод, малые расстояния между электродами и редкие сетки для получения более высокого действующего напряжения $U_{\partial 1}$. У маломощных ламп мощность катода ограничена и увеличение крутизны достигается за счет уменьшения расстояния катод - первая сетка вплоть до нескольких десятков микрон. Крутизна лампы достигает величины 30 ма/в и выше.

В последнее время находят применение пентоды с катодной сеткой, которая располагается между катодом и управляющей сеткой. На катодную сетку подается небольшой положительный потенциал. Поэтому на потенциальной диаграмме у катода появляется область положительных потенциалов, а перед управляющей сеткой возникает тормозящее поле (рис. 8). Механизм управления анодным током в таком пентоде с помощью управляющей сетки такой же, как и защитной сеткой в обычном пентоде.

При использовании катодной сетки не требуется значительного уменьшения междуэлектродных расстояний, что упрощает технологию изготовления и увеличивает надежность работы лампы. При этом пентод с катодной сеткой обладает малой входной емкостью и большой крутизной. Так, например, пентод 6Ж20-2 имеет: $S = 30 \frac{\text{ма}}{\text{в}}$, $\Phi = 2,75 \frac{\text{ма}}{\text{в} \cdot \text{нф}}$ при расстоянии между электродами порядка 250 микрон. Для сравнения приведены данные обычного высокочастотного пентода 6К7: $S = 1,45 \frac{\text{ма}}{\text{в}}$, $\Phi = 0,06 \div 0,08 \frac{\text{ма}}{\text{в} \cdot \text{нф}}$ при расстоянии катод - первая сетка порядка 200 микрон.

К недостаткам пентодов с катодной сеткой следует отнести: необходимость в мощном стабилизированном источнике питания цепи катодной сет-

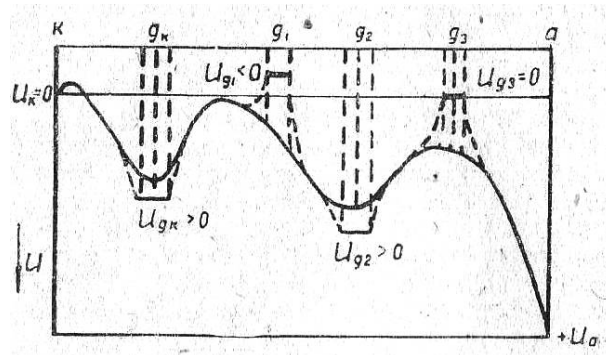


Рис. 8: Потенциальная диаграмма пентода, с катодной сеткой.

ки (ток I_{gk} достигает десятков миллиампер), повышенный уровень шумов и узкий интервал управления.

Кроме того, эти лампы характеризуются относительно большим «разбросом» и нестабильностью характеристик в процессе их изготовления и эксплуатации. Все это несколько ограничивает области их применения.

Из приведенного краткого анализа работы пентодов следует, что пентоды обладают целым рядом ценных преимуществ, а их многообразие позволяет использовать их в разных радиотехнических схемах. Благодаря этому пентоды получили весьма широкое применение в практике.

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

В настоящей работе исследуются основные характеристики и параметры пентодов. По заданию преподавателя в каждом конкретном случае исследуется определенный тип лампы из следующего примерного перечня (см. табл.1) 6Ж1П, 6Ж3П, 6Ж8, 6К3.

Приципиальная схема для снятия характеристик представлена на рис. 9 и не требует особых пояснений.

Перед экспериментом необходимо ознакомиться со справочными данными исследуемых ламп, пределами возможных изменений напряжений на аноде, экранной и управляющей сетках, а также со значениями допустимых мощностей рассеяния на аноде и экранной сетке. При сборке схемы рис. 9 следует руководствоваться справочными данными по цоколевке исследуемой лампы.

Необходимо придерживаться следующего порядка включения источников питания. Прежде всего, включается напряжение накала. Для ламп с катодом косвенного накала необходимо прогревать катод $30 \div 90$ сек. Затем включается напряжение управляющей сетки, имеющей отрицательный потенциал типового режима работы. После этого включается анодное напряжение, а затем напряжение экранирующей сетки. При нарушении такой

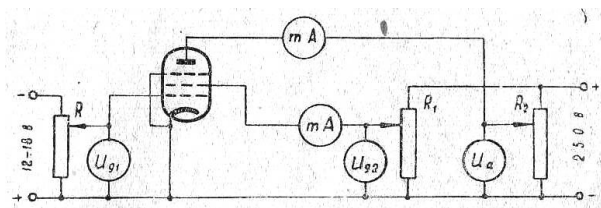


Рис. 9: Схема для снятия характеристик пентодов.

последовательности включения возможны случаи превышения допустимых мощностей рассеяния на аноде лампы и экранирующей сетке, что, может привести к выходу из строя электронной лампы и измерительного прибора. Вследствие этого анодные характеристики многосеточных ламп следует начинать снимать с типового значения анодного напряжения лампы и уменьшать его до таких величин, которые соответствуют допустимой мощности рассеяния экранирующей сетки.

При исследовании лампы в заданном режиме необходимо следить, чтобы напряжения, подаваемые на электроды, оставались постоянными. Это осуществляется с помощью соответствующей подстройки потенциометрами.

Кроме снятия характеристик ламп «по точкам», в данной работе предлагается способ наблюдения характеристик на экране осциллографа ЭО-7 с помощью специальной приставки, схема которой представлена на рис. 10. На рис. 11 представлена схема расположения панелек, соответствующих типам ламп.

Принцип работы применяемой схемы (рис. 10) заключается в следующем. Испытуемая лампа (триод, тетрод, пентод) последовательно с малым сопротивлением $R_1 = 100 \text{ ом}$, а также с полупроводниковым выпрямителем ДГЦ-27 включается в цепь обмотки II трансформатора Тр.

Напряжение, снимаемое с сопротивления R_1 пропорциональное анодному току, подается на вход вертикального усилителя осциллографа. Анодное напряжение исследуемой лампы в свою очередь подается на вход горизонтального усилителя. Благодаря выпрямителю ДГЦ-27 между анодом и катодом лампы будет существовать синусоидально меняющееся напряжение в течение положительного полупериода (0,01 сек.), а в продолжение отрицательного полупериода анодное напряжение равно нулю. Такое включение обеспечивает отклонение луча осциллографа пропорционально анодному току в вертикальном направлении и анодному напряжению в горизонтальном. При неизменных напряжениях на сетках лампы на экране будет видна кривая, являющаяся статической анодной характеристикой исследуемой лампы.

Для наблюдения семейств анодных характеристик на управляющую сет-

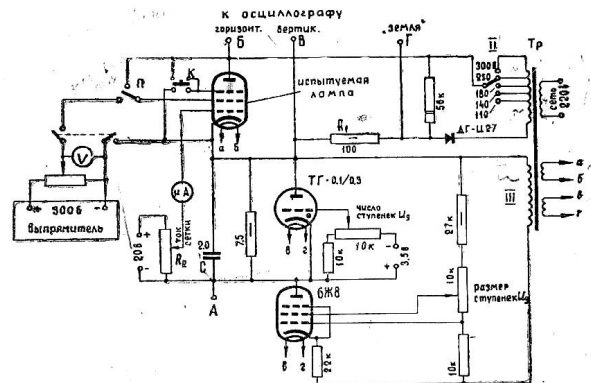


Рис. 10: Схема приставки для снятия характеристик тетрода и пентода на экране осциллографа.

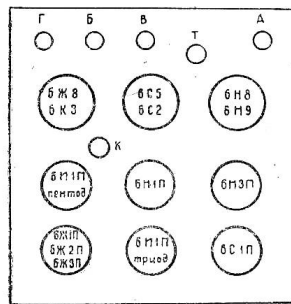


Рис. 11: Схема расположение ламповых панелек.

ку лампы подается ступенчатообразное напряжение, форма которого показана на рис. 12. Участки *A* соответствуют по времени положительным полупериодам переменного напряжения, а участки *B* - отрицательным.

Напряжение такой формы создается следующим образом. С обмотки III трансформатора через пентод 6Ж8 заряжается конденсатор *C* в течение полупериода, когда через пентод проходит ток. В течение другого полупериода (непроводящая часть) разность потенциалов на *C* будет сохраняться постоянной. В результате чередования ряда таких полупериодов напряжение на конденсаторе растет ступенчатообразно и наконец достигает величины, равной потенциалу зажигания $U_{\text{заж}}$ тиратрона. В этот момент происходит кратковременная разрядка конденсатора до потенциала погасания $U_{\text{пог}}$ тиратрона. После этого вновь начинается следующий цикл ступенча-

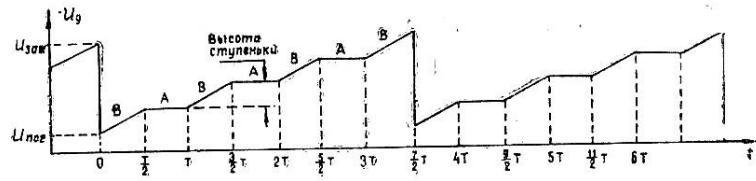


Рис. 12: Форма напряжения, подаваемого на сетку исследуемой лампы.

той зарядки.

Получаемое напряжение указанной формы (рис. 12) на емкости C подается на управляющую сетку испытуемой лампы через потенциометр R_2 и микроамперметр μA (рис. 10).

С потенциометра R_2 на сетку подается некоторый положительный потенциал, чтобы скомпенсировать начальное отрицательное смещение, которое обусловлено потенциалом погасания тиратрона. Подбором положения движка потенциометра R_2 ориентировочно осуществляется установка нулевого напряжения на управляющей сетке для одной из анодных характеристик испытуемой лампы. Это будет соответствовать тому моменту, когда сеточный ток, регистрируемый микроамперметром μA , становится равным нулю. Благодаря противофазному включению обмоток III и II конденсатор C имеет возможность заряжаться только тогда, когда анодное напряжение на испытуемой лампе равно нулю и луч на экране осциллографа находится в начале координат. Этим обеспечивается постоянство сеточного напряжения в течение положительного полу периода на обмотке II, когда электронный луч «рисует» кривую.

Пентод 6Ж8 в данной схеме служит в качестве стабилизатора тока зарядки емкости C и выпрямителя, обеспечивающего эту зарядку от источника переменного напряжения. В данном случае используется свойство рабочей части анодной характеристики (анодный ток фактически остается постоянным, с изменением анодного напряжения), что обеспечивает постоянство размера ступенек (см. рис. 12). Размеры (высоту) ступенек можно менять путем изменения напряжения на экранной сетке пентода, т. е. изменением величины тока зарядки конденсатора C . Число ступенек, а следовательно, и количество кривых, получаемых в семействе характеристик, может изменяться путем регулировки сеточного напряжения тиратрона, меняя его потенциал зажигания.

С помощью применяемой в работе приставки можно исследовать несколько типов приемно-усилительных ламп (см. рис. 11). Причем представляется возможным исследовать в триодном, тетродном и пентодном режимах. Последнее возможно для пентодов, в которых имеются октальный цоколь, а защитная сетка не имеет внутреннего соединения с катодом, например 6Ж8, 6К3. В схеме с помощью кнопки K можно защитную сетку соеди-

нить с катодом - лампа исследуется в пентодном режиме, либо с анодом - тетродный режим работы. Кроме того, переключая тумблер $П$, можно закортить экранную сетку с анодом. В этом случае пентод работает в триодном режиме.

Для создания необходимого режима работы исследуемой лампы вторичная обмотка $П$ трансформатора секционирована, что дает возможность путем переключения задавать максимальное значение анодного напряжения. Переключатель расположен с правой стороны приставки. Подача напряжений на экранную сетку пентода производится от внешнего источника постоянного напряжения (см. рис. 10).

По получаемым на экране осциллографа характеристикам могут быть ориентировочно определены параметры лампы S , R_i и μ . Для этого следует воспользоваться градуировочными графиками чувствительности горизонтального и вертикального усилителей осциллографа. Параметры определяются в пределах рабочей точки (см. таблицу 1).

Для определения потенциалов управляющей сетки, соответствующих кривым семейства характеристик $I_a = f(U_a)_{U_{g1} = const}$ необходимо подключить вход вертикального усилителя осциллографа к клемме A (см. рис. 11), с которой снимается ступенчатое напряжение на управляющую сетку лампы. Зная чувствительность вертикального усиления осциллографа, можно рассчитать по расстоянию между горизонтальными участками этих кривых соответствующие напряжения на управляющей сетке. Потенциал управляющей сетки испытуемой лампы, соответствующей верхней кривой семейства характеристик, устанавливается близким к нулю путем Постепенного поворота по часовой стрелке ручки «ток сетки» до момента появления сеточного тока, который регистрируется микроамперметром.

Примечание 1. Отсчеты по графику чувствительности горизонтального усилителя увеличивать в 10 раз. Отсчеты по графику чувствительности вертикального усилителя соответствуют положению ручки «ослабление» осциллографа на 1:10.

2. Наблюдаемые на экране осциллографа характеристики снимаются на кальку.

ЗАДАНИЕ

1. Ознакомиться со справочными данными исследуемых ламп.
2. Построить в координатной системе $I_a - U_a$ кривую максимально допустимой мощности рассеяния на аноде ($P_{a\text{доп}} = I_a \cdot U_a$) и в координатной сетке $I_{g2} - U_{g2}$ кривую максимально допустимой мощности рассеяния на экранирующей, сетке ($P_{g2\text{доп}} = I_{g2\text{доп}} \cdot U_{g2}$).
3. Собрать схему для снятия характеристик исследуемой лампы «по точкам» (см. рис. 9).
4. Снять «по точкам» и построить семейства характеристик $I_a = f(U_a)$, $I_{g2} = f(U_a)$ и $I_k = f(U_a)$ при различных значениях U_{g1} , и паспортном значении U_{g2} .

5. Построить по данным пункта 4 экспериментально полученную зависимость коэффициента токораспределения $k = f\left(\frac{U_a}{U_{g2}}\right)$ типовых напряжений на управляющей и экранирующей сетках.

6. Построить нагрузочную прямую на семействе анодных характеристик $I_a = f(U_a)$ при заданных значениях E_a , R_a и U_{g2} .

7. Исходя из нагрузочной прямой, построить динамическую зависимость $I_a = f(U_g)$.

8. Определить статические параметры лампы S , R_i и μ для типового режима работы.

9. Ознакомиться с работой применяемой приставки для снятия характеристик на экране осциллографа (см. рис. 10).

10. Снять на осциллографе с помощью приставки семейство анодных характеристик заданного типа ламп (по заданию преподавателя). Лампы 6Ж8 и 6К3 исследуются в пентодном, тетродном и триодном включении.

11. По полученным на экране характеристикам ориентировочно определить статические параметры лампы R , R_i и μ .

Таблица

обозначение лампы	Пределы изменения напряжения, в			Максимальная мощн. рассеян., вт		Напряжение рабочей точки, в		
	анод	вторая сетка	управляющая сетка	анод	вторая сетка	U_a	U_{g2}	U_{g21}
6Ж1П	от 0 до 200 через 25 в	120	от 0 до -3 через 1 в	1,8	0,55	120	120	-2
6Ж3П	от 0 до 200 через 25 в	150	от -1 до -3 через 1 в	2,5	0,55	250	150	-2
6Ж8	от 0 до 300 через 25 в	100	от 0 до -4,5 через 1,5 в	2,8	0,7	250	100	-3
6К3	от 0 до 300 через 25 в	100	от 0 до -9 через 3 в	4,4	0,4	250	100	-3
6И1П пентодная часть	от 0 до 300 через 25 в	100	от 0 до -4 через 2 в	2,0	0,4	250	100	-2

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какими недостатками обладают триоды и каковы возможности их устранения?
2. Какие недостатки и преимущества имеют тетроды в сравнении с триодами и пентодами?
3. Что такое динаatronный эффект, его роль и методы устранения?
4. Каковы основные физические процессы, протекающие в пентоде?
5. Каково распределение потенциала пентоде при различных соотношениях напряжений на электродах?
6. Объясните, каков механизм управления электронным потоком каждой сеткой и анодом?
7. Что такое вторичный пространственный заряд и виртуальный катод?
8. Что такое коэффициент токораспределения и чем он определяется?
9. Как аналитически выражается зависимость анодного тока от анодного напряжения?
10. Каковы основные характеристики тетрода и пентода? Дайте качественное объяснение этих зависимостей.
11. От чего зависят статические параметры R , R_i и μ пентода и каковы возможности их улучшения?
12. Как определяются параметры пентодов и ориентировочно каковы их значения?
13. Дайте объяснение, почему в пентоде несправедливо соотношение $\mu = \frac{1}{D}$.
14. Каковы характерные особенности работы пентода в динамическом режиме? Провести сравнение с динамическим режимом работы триода.
15. Какие конструктивные требования предъявляются к различным типам пентодов?
16. Каковы основные особенности широкополосных пентодов?
17. Как работает схема применяемой в работе приставки (см. рис. 10) для снятия ламповых характеристик на экране осциллографа?

Литература

1. Н. Н. Хлебников. Электронные приборы. М., «Связь», 1964.
2. В. Ф. Власов. Электронные и ионные приборы. М., Связьиздат, 1960.
3. В. И. Гапонов. Электроника, ч. II. М., Физматгиз, 1960.
4. Ю. А. Кацман. Электронные лампы для высоких и низких частот. М., Госэнергоиздат, 1961.
5. А. Бекк. Электронные лампы. М., «Сов. радио», 1958.
6. Электронные лампы, ч. I и II. Пер. с англ. под ред. С. А. Оболенского. М., «Сов. радио», 1953.