

Как пользоваться характеристиками электронных ламп

Характеристиками электронных ламп называются графики зависимостей токов электродов ламп (обычно тока анода, экранной и управляющей сеток) от приложенного к ним напряжения.

Для того чтобы снять характеристику простейшей электронной лампы—диода, нужно изменять напряжение его анода по отношению к катоду и одновременно измерять анодный ток. Для этого можно собрать установку, схема которой показана на рис. 1 (цепи накала для упрощения не показаны). Характеристика одного диода лампы 6Х6С показана на рис. 2. Пользуясь ею, можно узнать, какой ток потечет через диод, если к нему приложить какое-либо напряжение, или, наоборот, какое напряжение нужно приложить между анодом и катодом, чтобы потек данный ток. Поскольку диод имеет только два электрода, напряжение и ток между которыми зависят друг от друга, то получается всего одна зависимость анодного тока от анодного напряжения,

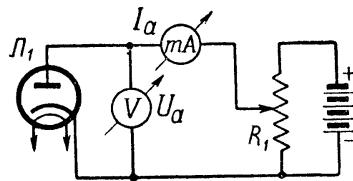


Рис. 1

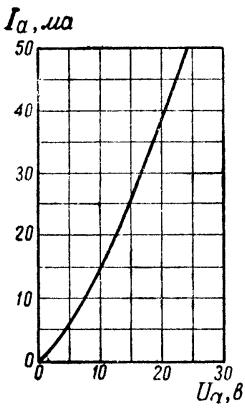


Рис. 2

На рис. 3 показана схема установки для снятия характеристик триода — зависимостей анодного тока от напряжения на аноде и управляющей сетке триода. Измерение производится следующим образом: снимается зависимость анодного тока от напряжения на аноде при

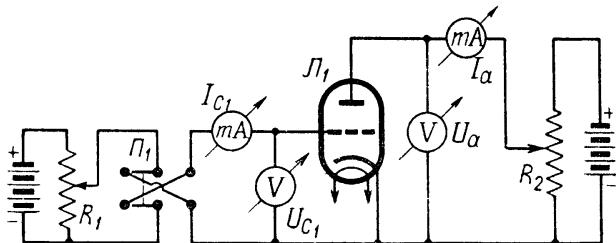


Рис. 3

напряжении на управляющей сетке -1в , -2в , -3в и т. д. При этом получается целая серия кривых. На графике около каждой кривой указывается то напряжение на управляющей сетке по отношению к катоду, при котором эта кривая снималась. Такие характеристики называются анодными характеристиками.

Для пентодов и тетродов снимают анодные характеристики при различных напряжениях на экранной и управляющей сетках. Схема установки для снятия анодных характеристик пентодов показана на рис. 4. Для многоэлектронных ламп можно получить зависимость I_a от напря-

жения на управляющей сетке U_{c_1} при постоянном анодном напряжении U_a , так называемые сеточные характеристики. Сеточная характеристика для одного триода лампы 6Н9С показана на рис. 5а. Тут уже каждая кривая снята при постоянном напряжении на аноде. Так как

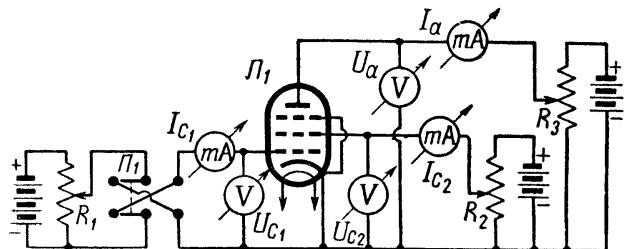


Рис. 4

анодные и сеточные характеристики дают разными способами одни и те же зависимости, то, если сняты анодные характеристики, сеточные можно построить графически и наоборот.

Примеры таких построений показаны на рис. 5а и б. Если мы имеем анодные характеристики и хотим построить сеточную характеристику для какого-либо напряжения на аноде, например 350 в, то для этого нужно провести вертикальную прямую из точки 350 в на оси напряжений графика, на котором изображены анодные характеристики. В точках пересечения этой прямой с анодными характеристиками для $U_{c_1} = -1, -2, -3$ и т. д. вольт (точки 1, 2, 3, 4, 5 на рис. 5б), мы получим значения токов анода при напряжении на аноде $U_a = 350$ в. То есть точки 1', 2', 3', 4', 5' на сеточной характеристике анодного тока триода рис. 5а. Пример построения анодной характеристики для $U_{c_1} = -1$ в показан на этих же рис. 5, а, б.

Рассмотренные выше характеристики называются статическими, так как любая из них отражает зависимость анодного тока только от одной переменной величины (либо от U_a , либо от U_{c_1}). Однако при работе лампы все токи и напряжения изменяются одновременно. Так, например, если один триод лампы 6Н9С работает в усилителе НЧ на сопротивлениях, схема которого показана на рис. 6, то изменение напряжения между управляющей сеткой и катодом приведет к изменению анодного тока, что, в свою очередь, вызовет изменение напряжения между анодом и катодом лампы вследствие изменения падения напряжения на сопротивлении анодной нагрузки R_a . Если, изменения напряжение между сеткой и катодом лампы этого усилителя, измерять напряжение между анодом и катодом, то мы получим так называемую динамическую сеточную характеристику для данного сопротивления R_a и постоянного напряжения источника питания E_b .

Такая характеристика для $R_a = 50\,000$ ом и $E_b = 400$ в проходит через точки 1', 2', 3', 4', 5' рис. 7а. оказывается, что динамическая характеристика на графике анодных характеристик рис. 7б является прямой линией, которая пересекает ось напряжения в точке, соответствующей напряжению E_b (точка 5, в данном случае 400 в).

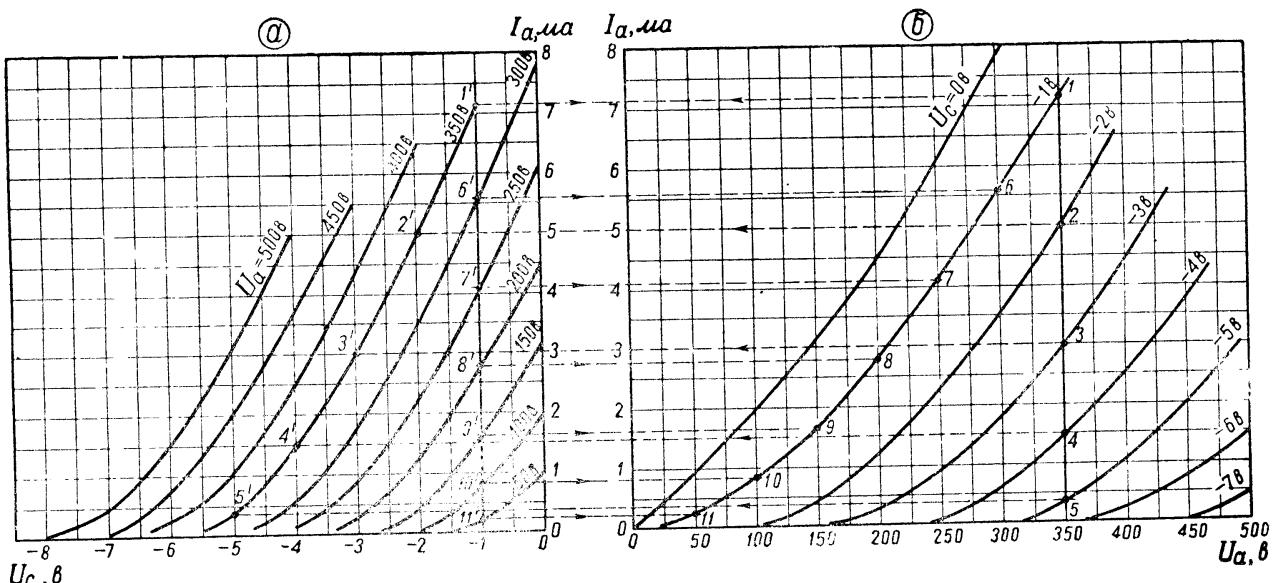


Рис. 5

Координаты любой точки этой прямой можно определить из выражения $I_a = \frac{E_b - U_a}{R_a}$, так для $U_a = 0$, т. е. для оси анодного тока мы получим $I_a = \frac{E_b}{R_a}$ (т. е. в нашем случае $I_a = \frac{400 \text{ в}}{50000 \text{ ом}} = 0,008 \text{ а} = 8 \text{ мА}$). Через эти две точки и проведена данная динамическая характеристика. Проведя динамическую характеристику, легко определить, какой ток и какое напряжение на аноде будет иметь лампа при каком-либо напряжении на управляющей сетке. Так, для $U_{c_1} = -2 \text{ в}$ мы получаем из рис. 7б: $I_a = 2,7 \text{ мА}$; $U_a = 270 \text{ в}$. Пользуясь динамической характеристикой, легко определить коэффициент усиления усилителя на средних частотах K_o .

Для этого по рис. 7б определяем анодные напряжения для $U_{c_1} = -1 \text{ в}$ и $U_{c_1} = -3 \text{ в}$, которые равны соответственно 227 и 304 в. При изменении напряжения на управляющей сетке на 2 в анодное напряжение изменилось на 304 — 227 = 77 в, откуда $K_o = \frac{77}{2} = 38,5$.

Иногда на графиках анодных характеристик

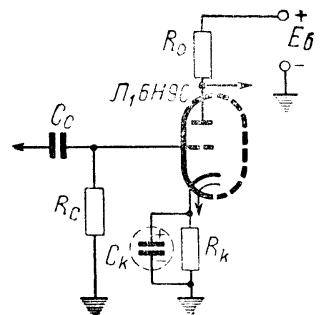


Рис. 6

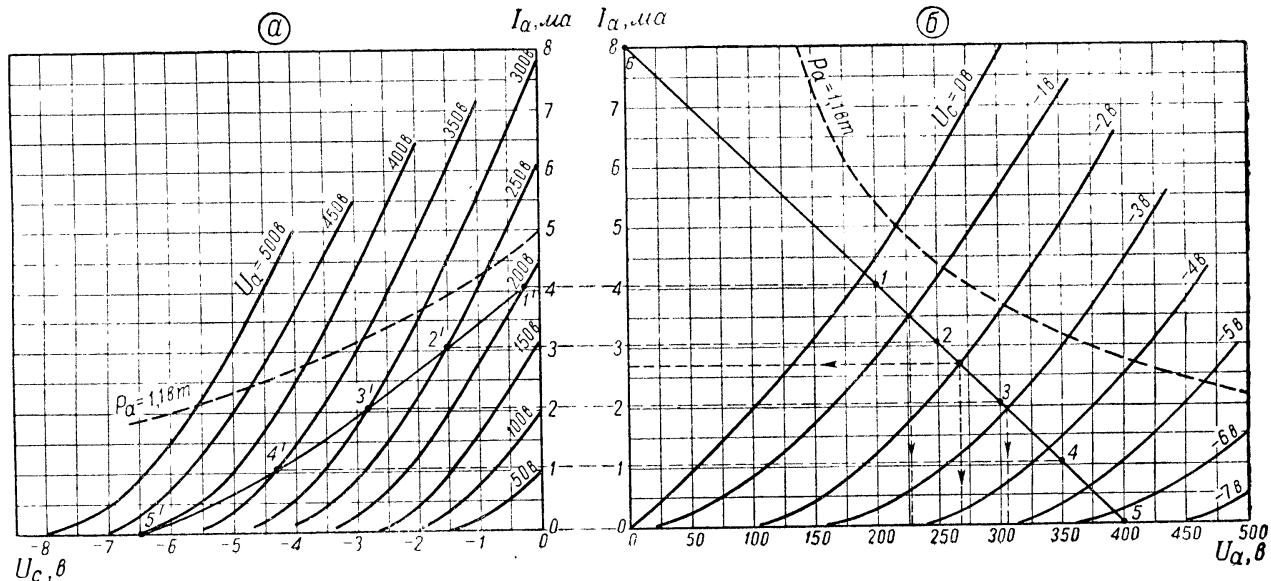


Рис. 7

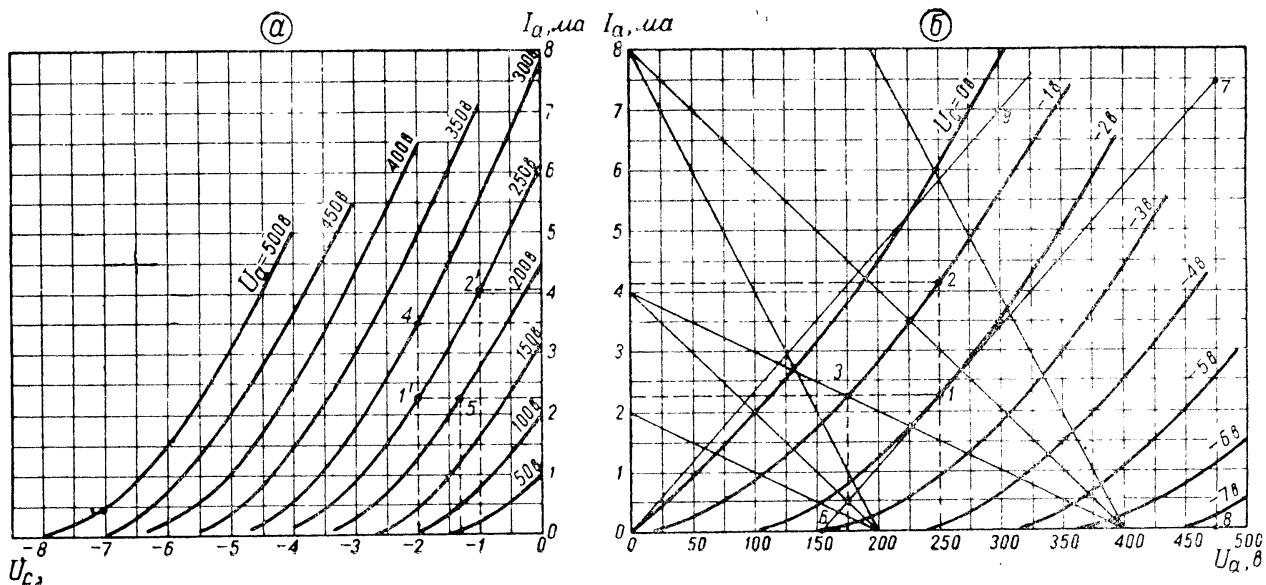


Рис. 8

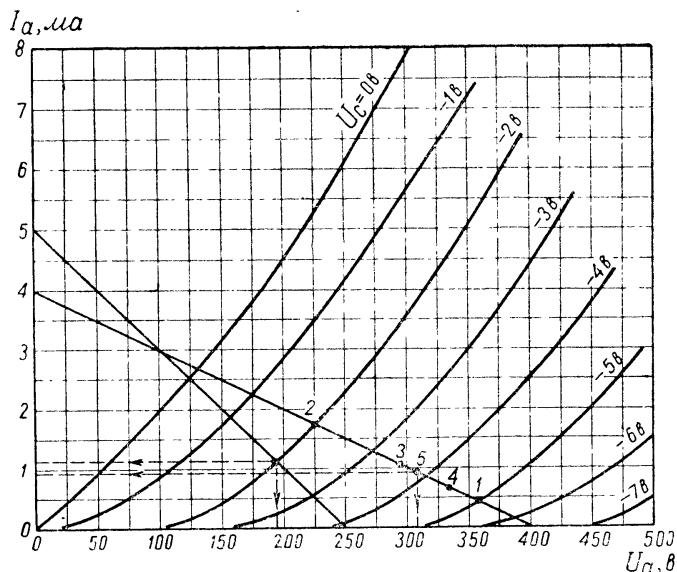


Рис. 9

изображают еще кривую максимально допустимой мощности, рассеиваемой на аноде (рис. 7, а, б). Динамическая характеристика лампы должна проходить ниже этой кривой, так как в противном случае анод может перегреться. Пользуясь статическими характеристиками, можно определить параметры лампы: крутизну S , показывающую, на сколько миллиампер изменится анодный ток при постоянном напряжении на аноде, при изменении напряжения на управляющей сетке на один вольт; внутреннее сопротивление R_i , равное отношению приращения анодного напряжения к соответствующему приращению анодного тока, и статический козэффициент усиления μ , показывающий, во сколько раз больше влияет на изменение анодного тока изменение сеточного напряжения по сравнению с изменением напряжения на аноде.

Определим все эти величины, пользуясь анодными и сеточными характеристиками для лампы 6Н9С, рис. 8, а, б. Пусть рабочая точка $U_{c_1} = -28$; $I_a = 2,3 \text{ mA}$;

$I_a = 250 \text{ V}$ (на рис. 8, а точка 1', на рис. 8, б точка 1). Решим эту задачу, пользуясь анодными характеристиками. Для этого из рабочей точки (1) проведем вертикальную и горизонтальную линии до пересечения с анодной характеристикой для $U_{c_1} = -1 \text{ V}$ (точки 2 и 3). Для того чтобы найти значение S , нужно определить анодные токи лампы для точек 2 ($I_a = 4,1 \text{ mA}$) и 1 ($I_a = 2,3 \text{ mA}$) и разделить их разность на соответствующее приращение сеточного напряжения (в нашем случае равное 1 в), т. е.

$$S = \frac{4,1 \text{ mA} - 2,3 \text{ mA}}{1 \text{ v}} = 1,8 \frac{\text{mA}}{\text{v}}$$

Для того чтобы найти значение μ , нужно разделить разность анодных напряжений для точек 3 ($U_a = 175 \text{ V}$) и 1 ($U_a = 250 \text{ V}$) на соответствующую разность напряжений на управляющей сетке, в нашем случае 1 в, т. е.

$$\mu = \frac{250 \text{ v} - 175 \text{ v}}{1 \text{ v}} = 75.$$

Для того чтобы определить R_i , нужно через рабочую точку 1 провести касательную к анодной характеристике, затем провести параллельную ей прямую через точку пересечения осей напряжения и тока и, отметив на этой прямой любую точку (9), разделить соответствующее этой точке значение напряжения на ток, т. е.

$$R_i = \frac{300 \text{ v}}{0,007 \text{ a}} = 43000 \text{ ом.}$$

Найдем эти же величины для той же рабочей точки, пользуясь сеточными характеристиками. Крутизна S определится как разность токов для точек 1' и 2', деленная на изменение напряжения на управляющей сетке, т. е. $1 \text{ v } S = \frac{4,1 \text{ mA} - 2,3 \text{ mA}}{1 \text{ v}} = 1,8 \text{ mA/v}$. Для

определения статического коэффициента усиления μ проведем через рабочую точку 1' горизонтальную прямую до пересечения с сеточной характеристикой для напряжения на аноде $U_a = 200 \text{ v}$ (точка 5). Затем нужно разделить разность анодных напряжений для точек 1' ($U_a = 250 \text{ v}$) и 5 ($U_a = 200 \text{ v}$) на разность сеточных напряжений для этих же точек 1' ($U_{c_1} = -2 \text{ v}$), 5 ($U_{c_1} = -1, 33 \text{ v}$), получим $\mu = 75$. Для определения R_i нужно провести через рабочую точку 1' вертикальную прямую до пересечения со следующей сеточной характеристикой: точка 4 ($U_a = 300 \text{ v}$). Внутр-

рение сопротивление найдем как частное от деления разности анодных напряжений для точек 1' и 4 на разность токов для этих же точек

$$R_i = \frac{300 \text{ в} - 250 \text{ в}}{0,0035 \alpha - 0,0023 \alpha} = 43 \text{ ком.}$$

На рис. 8, б показаны также динамические характеристики для $R_a = 100, 50$ и 25 ком и разных значений $E_\sigma = 200$ и 400 в .

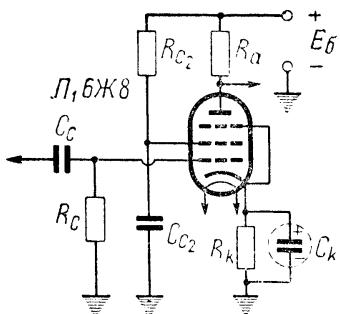


Рис. 10

Пользуясь анодными характеристиками, можно решить также следующие задачи:

1. Определить величину сопротивления R_k , необходимого, чтобы получить постоянное смещение $E_{c_1} = -2 \text{ в}$ на сетку лампы 6Н9С усилителя на сопротивлениях (рис. 6), если

$$R_a = 50\,000 \text{ ом}, \text{ а } E_\sigma = 250 \text{ в.}$$

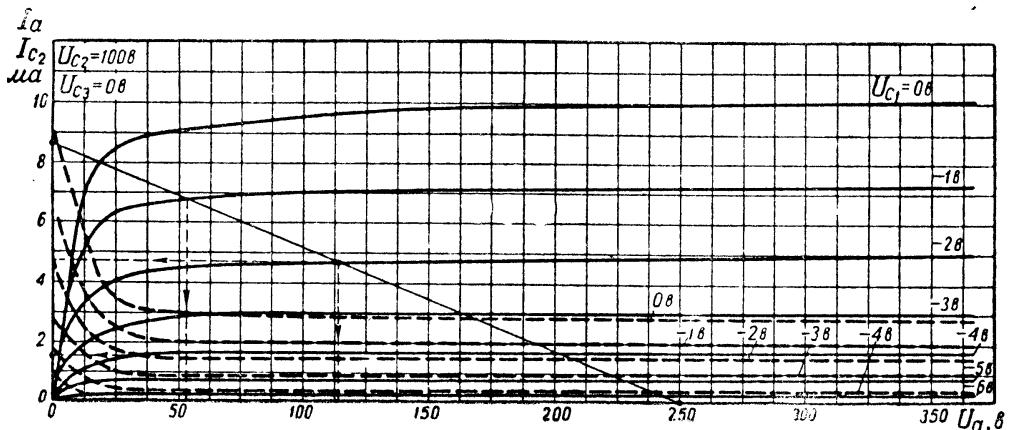


Рис. 11

Для этого проводим на графике анодных характеристик рис. 9 динамическую характеристику через точки: $U_a = E_\sigma = 250 \text{ в}$ и $I_a = \frac{E_\sigma}{R_a} = \frac{250 \text{ в}}{50\,000 \text{ ом}} = 5 \text{ м.а.}$ Точка пересечения этой прямой с анодной характеристикой для $U_{c_1} = -2 \text{ в}$ дает нам значение $I_a = 1,2 \text{ м.а.}$, откуда $R_k = \frac{E_{c_1}}{I_a} = 1670 \text{ ом.}$

2. Определить I_a , U_a , E_{c_1} при отсутствии сигнала для лампы 6Н9С, если известно $E_\sigma = 400 \text{ в}$, $R_a = 100\,000 \text{ ом}$, $R_k = 4000 \text{ ом.}$

Эта задача сводится к нахождению на динамической характеристике рабочей точки, в которой произведение анодного тока на R_k было бы равно напряжению смещения для анодной характеристики, проходящей через эту же точку. Этую задачу можно решить путем ряда

приближений, выбирая сначала любую точку на динамической характеристике и находя произведение тока в этой точке на R_k . Если при этом полученное значение напряжения смещения будет больше по абсолютной величине, чем напряжение U_{c_1} анодной характеристики, проходящей через эту точку, то следующая пробная точка должна иметь меньший анодный ток и наоборот.

Проведем динамическую характеристику через точки

$U_a = E_\sigma = 400 \text{ в}$ (рис. 9) и $I_a = \frac{E_\sigma}{R_a} = 4 \text{ м.а.}$ Выбираем первую пробную точку 1 на пересечении динамической характеристики с анодной характеристикой для $U_{c_1} = -5 \text{ в}$. Произведение $I_a R_k$ дает значение 2 в , т. е. точку 2. Следующую пробную точку выбираем согласно правилу с большим током анода: точка 3 — пересечение динамической характеристики с анодной характеристикой для $U_{c_1} = -3,5 \text{ в}$ (эта кривая на графике не показана).

Произведение $R_k I_a$ равняется в этом случае $4,4 \text{ в}$, т. е. рабочая точка лежит где-то между точками 1 и 3. Дальнейший подбор дает рабочую точку 5, для которой $E_{c_1} = -3,8 \text{ в}$; $I_a = 0,95 \text{ м.а.}$; $U_a = 310 \text{ в.}$

3. Определить величины R_k и R_{c_2} усилителя напряжения на пентоде 6ЖК8, схема которого показана на рис. 10, если известно:

$$R_a = 29\,000 \text{ ом}; E_\sigma = 250 \text{ в}; U_{c_2} = 100 \text{ в};$$

$$U_{c_3} = 0 \text{ в}; E_{c_1} = -2 \text{ в.}$$

Проводим динамическую характеристику через точки

$$U_a = E_\sigma = 250 \text{ в} \quad \text{и} \quad I_a = \frac{E_\sigma}{R_a} = 8,7 \text{ м.а} \text{ (рис. 11).}$$

Определяем по динамической характеристике для $E_{c_1} = -2 \text{ в}$

$$I_a = 4,8 \text{ м.а}; I_{c_2} = 1,6 \text{ м.а},$$

откуда

$$R_k = -\frac{E_{c_1}}{I_a + I_{c_2}} = \frac{2 \text{ в}}{0,0048 \text{ а} + 0,0016 \text{ а}} = 310 \text{ ом.}$$

Так как напряжение на экранной сетке должно быть равно 100 в , падение напряжения на сопротивлении R_{c_2} равно

$$U_{R_{c_2}} = E_\sigma - U_{c_2} = 250 \text{ в} - 100 \text{ в} = 150 \text{ в},$$

откуда

$$R_{c_2} = \frac{E_\sigma - U_{c_2}}{I_{c_2}} = 94\,000 \text{ ом.}$$