

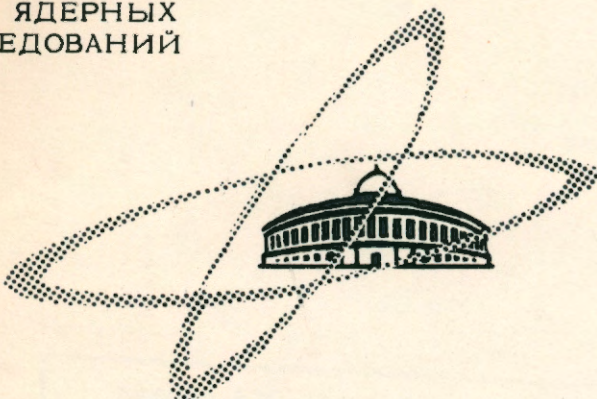
2357

Экз. ЧИТ. 82

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

2357



ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

А.И. Калинин, В.Д. Шейко

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ
КОНСТРУИРОВАНИЯ МАЛОШУМЯЩИХ УСИЛИТЕЛЕЙ
ДЛЯ β - И γ -СПЕКТРОМЕТРОВ
С ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМИ ДЕТЕКТОРАМИ

1965

2357

А.И.Калинин, В.Д.Шейко

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ
КОНСТРУИРОВАНИЯ МАЛОШУМЯЩИХ УСИЛИТЕЛЕЙ
ДЛЯ β - И γ -СПЕКТРОМЕТРОВ
С ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМИ ДЕТЕКТОРАМИ

Научно-техническая
библиотека
ОИЯИ

В последние два-три года появились полупроводниковые детекторы излучений^{/1,2/}, имеющие энергетическое разрешение, измеряемое единицами кэв. Для работы с такими детекторами необходимы усилители, обладающие собственным амплитудным разрешением, по крайней мере, такого же порядка. Спектрометрические свойства усилителя определяются многими факторами, но, в первую очередь, шумовыми свойствами первой лампы предусилителя.

Как показывает опыт, лампы имеют большой разброс по своим шумовым параметрам и поэтому необходим отбор наилучших экземпляров. В данной работе рассматриваются различные способы отбора, приводятся результаты измерений шумовых параметров некоторых отечественных ламп, а также затрагивается ряд других вопросов, связанных с работой входного каскада.

Разрешение системы усилитель-детектор определяется двумя основными составляющими: дробовым шумом лампы и сеточным шумом токов первой сетки и детектора. Для оптимальной полосы усилителя это разрешение можно определить по формуле:

$$\Delta_{\frac{1}{2}} = 0,8 \sqrt{C_{вх} + C_1} \sqrt[4]{\frac{I_{дет} + I_{сет}}{S}}$$

Здесь $\Delta_{\frac{1}{2}}$ - разрешение системы усилитель-детектор (полная ширина на полувысоте), выраженное в кэв, для кремниевых детекторов; $C_{вх}$ - входная емкость лампы в пф; C_1 - емкость детектора и камеры для его крепления и охлаждения; $I_{сет}$ - арифметическая сумма всех составляющих сеточного тока лампы в на; $I_{дет}$ - обратный ток детектора в на; S - крутизна лампы в ма·в⁻¹.

Практически никогда C_1 не бывает меньше (20-30) пф, так что она вносит существенную долю в ухудшение разрешения.

$I_{дет}$ даже при охлаждении детектора до температуры жидкого азота может иметь величину, сравнимую с сеточным током лампы. Уже отсюда видно, что предпочтительнее использовать лампы с достаточно большими $C_{вх}$, S и $I_{сет}$, так как при этом будет меньше сказываться влияние C_1 , и $I_{дет}$, хотя отношение $I_{сет}/S$, возможно, будет больше.

Кроме того, лампы с большой крутизной позволяют работать с более высокой нагрузкой, так как при этом можно сформировать более короткий импульс на выходе усилителя и, значит, уменьшить число наложений импульсов друг на друга. Исходя из этого, для измерения были взяты лампы с довольно высокой крутизной и не рассматривались режимы ламп при малых анодных токах ($I_a < 2\text{ма}$).

Широко известен способ отбора ламп путем измерения крутизны S и $I_{\text{сет}}$. Для этого можно использовать стандартный испытатель ламп, например, Л1-3. На нем удобно измерять крутизну, однако, его схема измерения сеточного тока не позволяет измерять токи менее 10 нА. Если последовательно в цепь управляющей сетки измеряемой лампы включить микровольтамперметр Ф 116 (непосредственно на приборе Л1-3), то диапазон измерений $I_{\text{сет}}$ можно расширить до 0,2 нА. Таким образом можно измерять и S и $I_{\text{сет}}$ в любом режиме работы лампы. Чтобы собрать такую схему, надо выключить схему измерения $I_{\text{сет}}$ в самом приборе Л1-3 и сделать всего несколько соединений на его внешней панели. Однако даже в этой простой схеме измерение сеточного тока – довольно утомительная операция, так как приходится часто проверять установку нуля гальванометра Ф 116. Кроме того, измеренный таким образом сеточный ток есть разность электронной и ионной составляющих сеточного тока лампы, тогда как сеточный шум определяется суммой этих составляющих, т.е. измеренный сеточный ток не является шумовой характеристикой в области "плавающего" потенциала. Однако именно этот режим или близкий к нему обеспечивает наибольшее отношение сигнала к шуму.

Не совсем точной характеристикой дробового шума лампы является крутизна, особенно при больших анодных токах^{/3/}.

Практика отбора ламп методом измерения S и $I_{\text{сет}}$ показывает, что отобранные лампы с максимальным отношением $S/I_{\text{сет}}$ не являются самыми лучшими и в схеме усилителя (при $C_1=0$) часто дают посредственные результаты при измерении разрешения на анализаторе.

Более надежные данные о шумовых свойствах усилительной лампы можно получить, измеряя эквивалентные шумовые сопротивления R_s и R_g , характеризующие соответственно дробовой и сеточный шум^{/3,4/}.

$$R_s = \frac{E}{S}$$

$E = 2500 - 5000$ в зависимости от анодного тока

$$R_g = \frac{52}{I_{\text{сет}}}$$

Сущность этого метода сводится к сравнению того или иного шума лампы с тепловым шумом известного сопротивления R , включенного на входе шумящей лампы. Если $R=0$, т.е. вход коротко замкнут, то весь оставшийся шум – дробовой. С увеличением R суммарный шум будет расти за счет дополнительного теплового шума. (Роль сеточного шума при малых R ничтожна). Сопротивление, при котором напряжение шума, измеренное на выходе усилителя, возрастет в $\sqrt{2}$ раза и есть эквивалентное сопротивление дробового шума R_s .

Аналогично измеряется и эквивалентное сопротивление сеточных шумов R_g . Однако здесь труднее отделить сеточный шум от дробового. Для этого приходится снижать полосу усилителя, так как сеточный шум расположен в низкочастотной части спектра, а дробовой – равномерно по всей полосе. Если вклад дробового шума мал, то при $R \rightarrow \infty$ останется только сеточный шум, и при $R=R_g$ тепловой шум R равен сеточному.

Измеренные параметры R_s и R_g действительно являются шумовыми критериями. Но R_s является характеристикой не только первой лампы, оно учитывает вклад в дробовой шум и последующих ламп. В R_g кроме сеточного входят микрофонный и фликкер-шумы (частично они входят и в R_s). Эти добавки вряд ли можно считать недостатком рассматриваемого метода измерения, так как они учитывают реальные дополнительные источники шума. Однако само измерение этих параметров путем подбора сопротивлений – довольно трудоемкое дело, даже если на входе усилителя поставить переключатель с набором сопротивлений^{/3/}. Чаще всего результат измерения может быть определен только после построения зависимости квадрата шумового напряжения от сопротивления на входе усилителя $U^2(R)$. Измерение R_s усложняется тем, что из-за неизбежного действия даже небольших емкостей обратной связи $U^2(R)$ имеет очень небольшую прямолинейную часть, поэтому ее приходится продлевать до пересечения с заданным уровнем. Обратная связь не изменяет соотношения между дробовым и тепловым шумом, но она изменяет начальный уровень дробового шума (рис. 1). Аналогичное изменение начального уровня отсчета происходит при измерении R_g , но здесь это вызывается другой причиной: уменьшением сеточного шума при уменьшении сопротивления R . Для точного определения R_g также необходимо графическое построение. Удобнее строить зависимость $U^2(\frac{1}{R})$ ^{/5/}.

Для измерения $R_s(I_a)$ и $R_g(I_a)$ – зависимостей шумовых свойств лампы от анодного тока – необходимо при каждом выбранном значении тока перепаивать или переключать ряд сопротивлений и затем производить вышеуказанные построения.

Вполне очевидно, что такой способ измерения R_s и R_g применим только для небольшого числа ламп и не может служить способом отбора.

Однако можно просто и быстро измерять шумовые параметры ламп непосредственно в схеме предусилителя с зарядовой обратной связью. Если вход усилителя закоротить емкостью 200–300 пф, то при этом практически останется один дробовой шум даже при анодных токах порядка 16 ма. В этом можно убедиться, сняв зависимость разрешения от емкости $\Delta \frac{1}{2} (C_1)$. При $C > 100$ пф эта зависимость становится линейной, т.е. вклад сеточных шумов ничтожен.

Если обратная связь достаточно глубока, то зарядовая чувствительность такого усилителя будет слабо зависеть от крутизны при изменении режима первой лампы. Измерив выходное шумовое напряжение $U_{ш2}$ этого усилителя, можно рассчитать эквивалентное шумовое сопротивление дробового шума:

$$R_s = 60 \left(\frac{U_{ш2}}{K} \right)^2 r.$$

Здесь R_s – в омах; $U_{ш2}$ – в мкв; K – коэффициент усиления усилителя; $r = r_{инт} = r_{диф}$ – постоянная времени формирующих цепей.

Часто K и r известны недостаточно точно, в этом случае можно в одной точке определить R_s непосредственным сравнением с R , как описано ранее, и из этого измерения определить коэффициент связи a в соотношении: $R_s = a (U_{ш2})^2$. Один раз измерив этот коэффициент, его в дальнейшем можно считать постоянным. Если обратная связь недостаточно глубока, то при малых анодных токах первой лампы крутизна сильно падает, а, значит, падает и K . Поэтому более точные результаты можно получить одновременным измерением выходной амплитуды постоянного сигнала, подаваемого на вход через небольшую емкость от какого-либо генератора импульсов. Амплитуду удобно измерять на анализаторе, так как этот прибор всегда имеется в практике спектрометрических измерений.

В этом случае для определения R_s надо пользоваться формулой

$$R_s = a_1 \left(\frac{U_{ш2}}{N_k} \right)^2,$$

где N_k – номер канала (с учетом дискриминации), соответствующий выходной амплитуде сигнала.

a_1 – также можно определить в одном единственном измерении и затем считать постоянным.

Выходное шумовое напряжение можно определять ламповым вольтметром с квадратичной характеристикой (ВЗ – 19) или вольтметром, измеряющим среднее значение переменного напряжения.

Измерение сеточного шума следует проводить при нулевой входной емкости, так как при этом будет наименьшим вклад дробового шума. Однако если измерение R_s допустимо при обычной полосе $\tau = 1$ мксек, то при измерении сеточного шума в этом случае вклад дробового еще велик, поэтому для определения R_g надо τ существенно увеличить ($\tau = 10$ – 20 мксек).

R_g находится по формуле:

$$R_g = b \left(\frac{N_k}{U_{ш}} \right)^2,$$

b – коэффициент, определяемый в одном измерении методом сравнения сеточного шума с тепловым шумом R . Всего было исследовано 130 ламп:

6Ж9П – 50 штук

6С15П – 20 штук

6С3П – 20 штук

6Н23П – 20 штук

6Ж11П – 20 штук.

Для пентодов 6Ж9П и 6Ж11П рассматривалось только триодное включение.

Все измерения дробового и сеточного шумов проводились при свободной сетке, т.е. без какого-либо сопротивления утечки. На рис. 2 показана гистограмма разброса R_s лампы 6Ж9П при $I_a = 6$ ма. Видно, что статистика мала, чтобы достоверно судить о средних шумовых свойствах лампы.

Примерные значения средних R_s при $I_a = 6$ ма приводятся ниже:

6С15П, 6С3П – $R_{s, ср}$ – 310 ом

6Ж9П – 350 ом

6Н23П – 370 ом

6Ж11П – 380 ом.

Еще труднее определить среднее значение R_g , так как разброс по сеточному шуму еще больше (рис. 3).

$R_{g, ср}$ для ламп 6С15П, 6Н23П, 6С3П и 6Ж9П примерно равны 30–40 мгом, для 6Ж11П – 25 мгом. Все лампы предварительно тренировались в течение 24 часов при токе $I_a = 6$ ма.

Видно, что характеристика ламп $R_{s, ср}$ и $R_{g, ср}$ не показательна, поэтому были отобраны в каждом типе лучшие 2–3 экземпляра по R_s и R_g и затем для них сняты зависимости $R_s(I_a)$ и $R_g(I_a)$. На рис. 4–8 приведены измеренные шумовые характеристики этих лучших экземпляров. R_s и R_g приведены в логарифмическом масштабе. Это очень удобно, так как позволяет быстро оценить результирующие шумовые свойства лампы при любом анодном токе. Поскольку $\Delta \frac{1}{2} = 0,3 \sqrt{R_s/R_g}$ (здесь

R_s - в омах, R_g в мгом, C в пф, $\Delta_{1/2}$ в кэв), в логарифмическом масштабе разность между R_s и R_g является критерием возможного разрешения усилителя за счет шумов при оптимальной полосе $\tau_{\text{опт}} = 10^{-3} \sqrt{R_s R_g}$. На этих графиках $\tau_{\text{опт}}$ характеризуется полусуммой ординат R_s и R_g . На рис. 5 для лампы 6С15П $\tau_{\text{опт}}$ показана пунктиром при $C = 40$ пф. Видно, что численно $\tau_{\text{опт}}$ примерно совпадает с $R_g/10$. Это случайное совпадение справедливо и для других ламп, так как в приведенных масштабах $10 R_g = R_s$ и $\tau_{\text{опт}} = 10^{-3} \cdot 40 \sqrt{10 R_g^2} = 0,1 R_g$.

Поэтому примерно можно оценить $\tau_{\text{опт}}$, не пользуясь формулой. Оптимальные значения τ лежат в области больше 2-3 мксек, однако на практике почти никогда не используются τ более 1 мксек, так как даже при этом значении допустимая нагрузка усилителя невысока (порядка 1000 имп. в сек). Это означает, что практически всегда будет преобладать дробовой шум даже при анодных токах порядка 10 ма. Использовать большие токи едва ли целесообразно из-за сильно увеличивающегося сеточного шума (R_g - сильно падает).

Следует отметить также, что при больших I_a дробовой шум падает слабее, чем V/S . Это нельзя объяснить вкладом второй лампы или сеточным шумом. По-видимому, при больших токах увеличивается коэффициент депрессии дробового шума ^{/6/}.

Кажется несколько неожиданным то, что лампа 6С15П имеет оптимальный ток (при $\tau_{\text{опт}}$) такой же, как все остальные лампы - около 5 - 7 ма. Эта лампа имеет большой номинальный ток (видимо, за счет площади катода) и казалось бы, что для одной и той же плотности катодного тока оптимальный ток для спектрометрического режима должен быть больше, чем у остальных ламп. Обычно эту лампу рекомендуют использовать при больших емкостях детекторов, имея в виду ее малый дробовой шум. Измеренные шумовые характеристики показывают, что ее вполне можно использовать при $C = (20-30)$ пф, т.е. в β - γ спектрометрах. Поскольку применение повышенного режима и ламп с высокой крутизной (6С15П, 6Ж11П) не дает сильного снижения дробового шума, вполне естественно во входном каскаде включить две лампы параллельно, так как при этом крутизна удвоится. Использование двух параллельных ламп 6Ж9П, довольно близких по параметрам, показало, что при $C_1 > 30$ пф такое включение вполне оправдано и дает эффективное снижение шума. (Лампы включались параллельно только по переменному току). При малых емкостях сказывается увеличение сеточного шума. На рис. 9 показана зависимость разрешения усилителя от внешней емкости при одной и двух лампах. Разрешение измерялось на анализаторе АИ-258 при помощи ртутного генератора прямоугольного перепада напряжения.

В предусилителе использовалась обычная схема с положительной обратной связью ^{/7/}.

Схема с использованием после каскода усилителя с катодной связью ^{/7,1,5/} позволяет получить большую глубину обратной связи, но она более склонна к возбуждению.

Схема предусилителя представлена на рис. 10. Включение делителя с анода верхней лампы на сетку позволяет регулировать анодный ток изменением только анодного напряжения, что удобно при измерении шумовых параметров ламп. (Это можно сделать, например, при помощи магазина сопротивлений, включенного последовательно с каскодными лампами). Кроме того, делитель вводит обратную связь по постоянному току, что стабилизирует анодный ток при постоянном напряжении источника анодного питания.

Очень часто для стабилизации режимов ламп в предусилителях используется обратная связь по постоянному току, охватывающая несколько каскадов. Однако в усилителях с высоким разрешением приходится применять сопротивления утечки R_1 порядка 500-1000 мгом, чтобы уменьшать вклад теплового шума.

При таких сопротивлениях зависимость анодного тока от напряжения источника смещения становится слабой из-за действия сеточного тока, а, значит, действие обратной связи - малоэффективным.

Кроме того, при некоторых напряжениях смещения возможна неустойчивость режима и даже генерация (рис. 11). Это объясняется тем, что при больших сопротивлениях R_1 нагрузочная прямая $I_g = \frac{E_g - U_g}{R_1}$ и $I_g(U_g)$ могут пересекаться три раза (рис. 12), что означает присутствие отрицательного входного сопротивления по сеточной цепи. Наличие областей генерации следует учитывать при конструировании усилителей с общей обратной связью по постоянному току. Необходимо обеспечить, чтобы смещение первой лампы при любых условиях было близким к "плавающему" потенциалу. В случае, когда обратная связь не используется, такое смещение получается само по себе, если катод заземлить и удалить сопротивление утечки или поставить сопротивление очень большой величины. При этом условии лампа работает при смещении, несколько более положительном, чем при свободной сетке. Чем больше сопротивление утечки, тем ближе смещение к "плавающему" потенциалу. Однако использовать сопротивления больше 1000 мгом практически невозможно по той причине, что при таких сопротивлениях на режим лампы влияет напряжение питания детектора из-за утечки переходного конденсатора.

Если поставить в цепь первой сетки сопротивление $R_1 = 500$ мгом, то вклад теплового шума будет мал ($\Delta_{1/2} = \frac{6,5}{\sqrt{R_1}} = 0,3$ кэв), но смещение будет иметь место в области большого сеточного шума (рис. 12 U_{g0}), поэтому целесообразнее поставить сопротивление в катод лампы R_k . Рабочая точка при этом определится пересечением линии $I_a = \frac{E_g}{R_k}$ и кривой $I_g(E_g)$ при выбранном сопротивлении R_1 (рис. 11). В качестве основного усилителя использовался УИС-2, вернее, часть

его - последние три тройки и выходной каскад, слегка модернизированные. Формирующие цепи RC включались между тройками.

Представленная на рис. 9 зависимость шума от емкости (для одной лампы) довольно типична для лучших образцов 6Ж9П и 6С15П.

При токе $I_a = 6$ ма на лампе 6Ж9П без внешней емкости шум равен 2,8 кэв S_i , а при $C_1 = 30$ пф - 4,5 кэв. В среднем экземпляр с таким шумом приходится на десяток ламп с худшими параметрами.

Лампа 6Н23П, как правило, дает худшие результаты. Это не совпадает с выводами работы ^{/5/}, где приводятся существенно лучшие результаты: при $C_1 = 0$ шум 1,8 кэв, при $C_1 = 30$ пф - 4 кэв. Расхождение, по-видимому, объясняется трудностью установления одинаковой полосы пропускания в усилителях из-за неизбежного влияния многочисленных переходных и прочих цепей. Возможная причина расхождения - разные методы абсолютной калибровки.

Точную величину заряда, подаваемого на усилитель, трудно определить по формуле $Q = U_{г\text{ен}} C^{/8/}$, так как для этого надо учитывать влияние паразитных емкостей и несовершенство формы импульса генератора.

Для пелей калибровки лучше всего снять β или γ спектр на любом достаточно удовлетворительном детекторе. На рис. 13 представлен β спектр Cs^{137} , полученный с кремниевым литиевым поверхностно-барьерным детектором при комнатной температуре ^{/8/}. На рис. 14 показан спектр конверсионных электронов Hg^{203} . В этом случае использовался поверхностно-барьерный детектор из кремния α -типа, изготовленный в Лаборатории доктора Ганзлика (Национальное предприятие Тесла) и любезно предоставленный нам Л.Роббом.

При снятии обоих спектров применялись одна интегрирующая и две дифференцирующие цепи. Это немного ухудшает результирующее разрешение за счет шумов усилителя, но позволяет работать при более высоких нагрузках. Шум при $C_1 = 30$ пф равен

5 кэв вместо 4,5 кэв при однократном интегрировании и дифференцировании. Охлаждение детектора осуществлялось в устройстве, предложенном П.Бедросяном. Детектор крепится к медной трубке ($\phi 5$ мм), через которую прогоняется жидкий азот из дьюара на 15л. И детектор, и трубка изолированы от окружающей атмосферы "вакуумной рубашкой". Регулируя подачу азота, можно изменять температуру детектора в широком диапазоне. Для температуры $70^\circ K$ запаса жидкого азота в одном дьюаре хватает на 2-3 часа.

Если нет необходимости изменять температуру детектора, то удобнее изготовить

камеру для охлаждения детектора другим способом. В стандартном дьюаре (15 л.) в нижней части вырезается окно и к внутренней стенке приваривается медный стержень ($\phi 10$ мм), на другом конце которого крепится детектор. И детектор и стержень закрываются внешним кожухом для создания вакуумной изоляции. Примерный эскиз камеры показан на рис. 15. Температура детектора $70^\circ K$. Азот сохраняется сутки и более в зависимости от качества дьюара. Для более длительных экспериментов его можно подливать из другого дьюара. Такая камера для охлаждения детекторов изготовлена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ В.А.Казаковым, В.Е.Савиным и А.И.Калининым. Камера проста в изготовлении и удобна в эксплуатации.

Основные результаты работы можно сформулировать следующим образом:

1) Предлагается более рациональный способ измерения шумовых параметров ламп. Измерение $I_{\text{сет}}$ и S не дает верных оценок шума ламп. Определение R_s и R_g обычными методами трудоемко.

2) Приводятся измеренные шумовые параметры некоторых отечественных ламп: 6Ж9П, 6С15П, 6С3П, 6Н23П, 6Ж11П.

3) Показывается, что наиболее предпочтительными лампами являются 6Ж9П и 6С15П.

В каждом десятке можно отобрать лампу 6Ж9П с разрешением в реальных условиях 5 кэв (Si) или 4 кэв (Ge). ($C_{\text{внеш}} = 30$ пф, одно интегрирование и два дифференцирования по 1 мксек).

При нулевой внешней емкости C шум равен 2,8 кэв (Si) или 2,2 кэв (Ge) (одно интегрирование и одно дифференцирование).

4) При емкостях детекторов $C > 100$ пф целесообразно использовать во входном каскаде параллельное включение двух ламп.

В заключение авторы благодарят Ю.К.Акимову, Б.П.Осипенко, В.В.Моясееву, В.А.Морозова, П.Бедросяна, В.В.Кузнецова, без чьей помощи на разных этапах невозможно было бы выполнить данную работу.

Л и т е р а т у р а

1. A.J.Tavendale. JEEE v. NS-11 no.3 p. 191 (1964).
2. H.T.Easterday et al. Nucl. Instr. and Meth., v. 32, no. 2 p.333 (1965).
3. J.L.Blankenship. JEEE. v. NS-11, no. 3 , p. 373 (1964).
4. А.А.Воробьев, В.А.Королев, Г.Е.Солякин. ПТЭ № 1, стр. 85, 1958.
5. Б.В.Фефилов, Л.Кумфт. Низкошумящие импульсные усилители для полупроводниковых детекторов. Препринт ОИЯИ № 2110, Дубна, 1965.
6. Шумы в электронных приборах, под ред. Л.Д.Смуллина и Г.А.Хауса, перевод с англ. стр. 200. "Энергия" 1964.
7. Р.Л.Чейз, В.А.Хиттинботэм, Дж. Л.Миллер. Сборник "Полупроводниковые счетчики измерений", стр. 286. Госатомиздат, 1962.
8. Э.Фэйрстейн. Сборник "Полупроводниковые счетчики излучений". Стр. 262 Госатомиздат 1962.
9. Вак Цжень-ва, А.И.Сидоров, Л.П.Сидорова, Л.И.Симонова. ПТЭ № 4, стр.84 (1964).

Рукопись поступила в издательский отдел
11 сентября 1965 г.

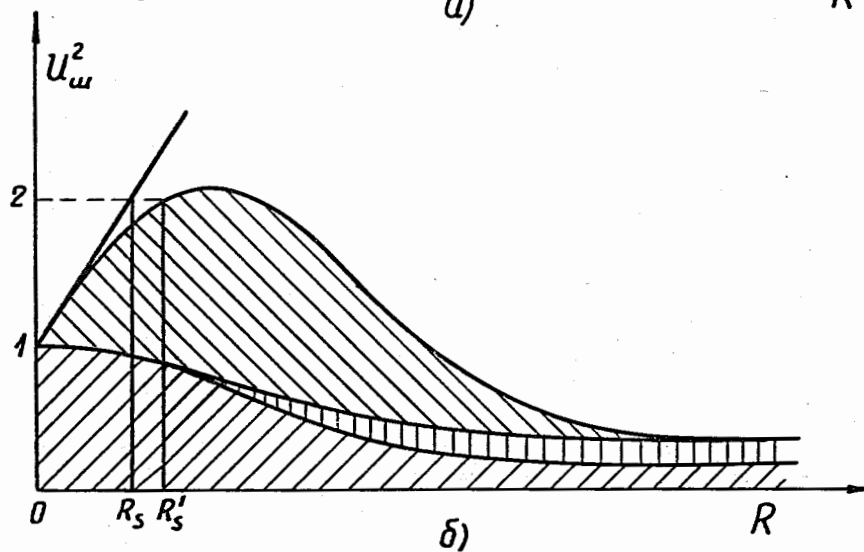
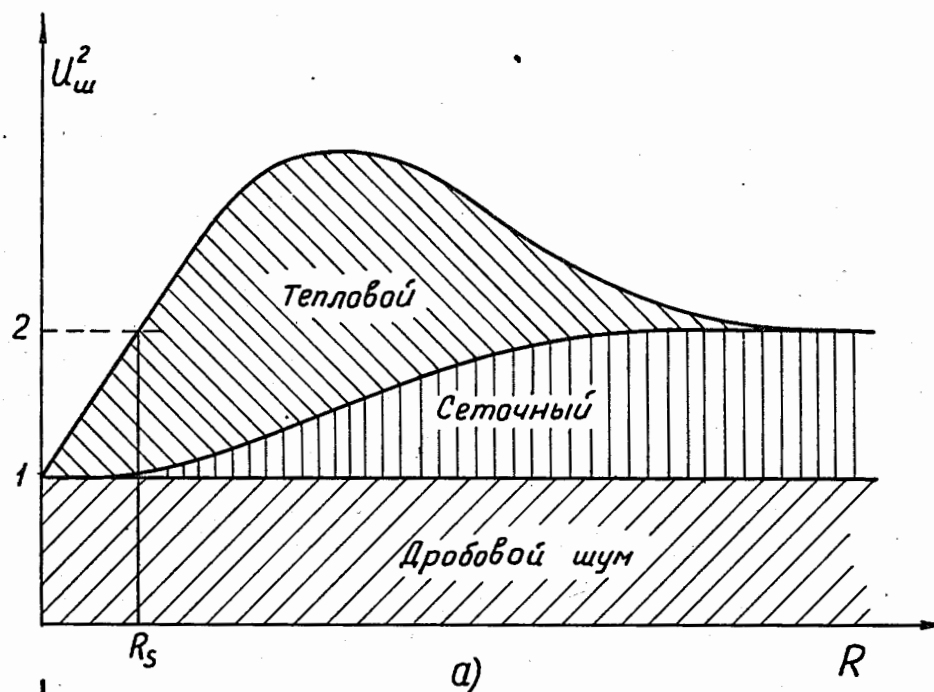


Рис. 1. Зависимость квадрата шумового напряжения от сопротивления на входе усилителя;
а) без обратной связи, б) с обратной связью.

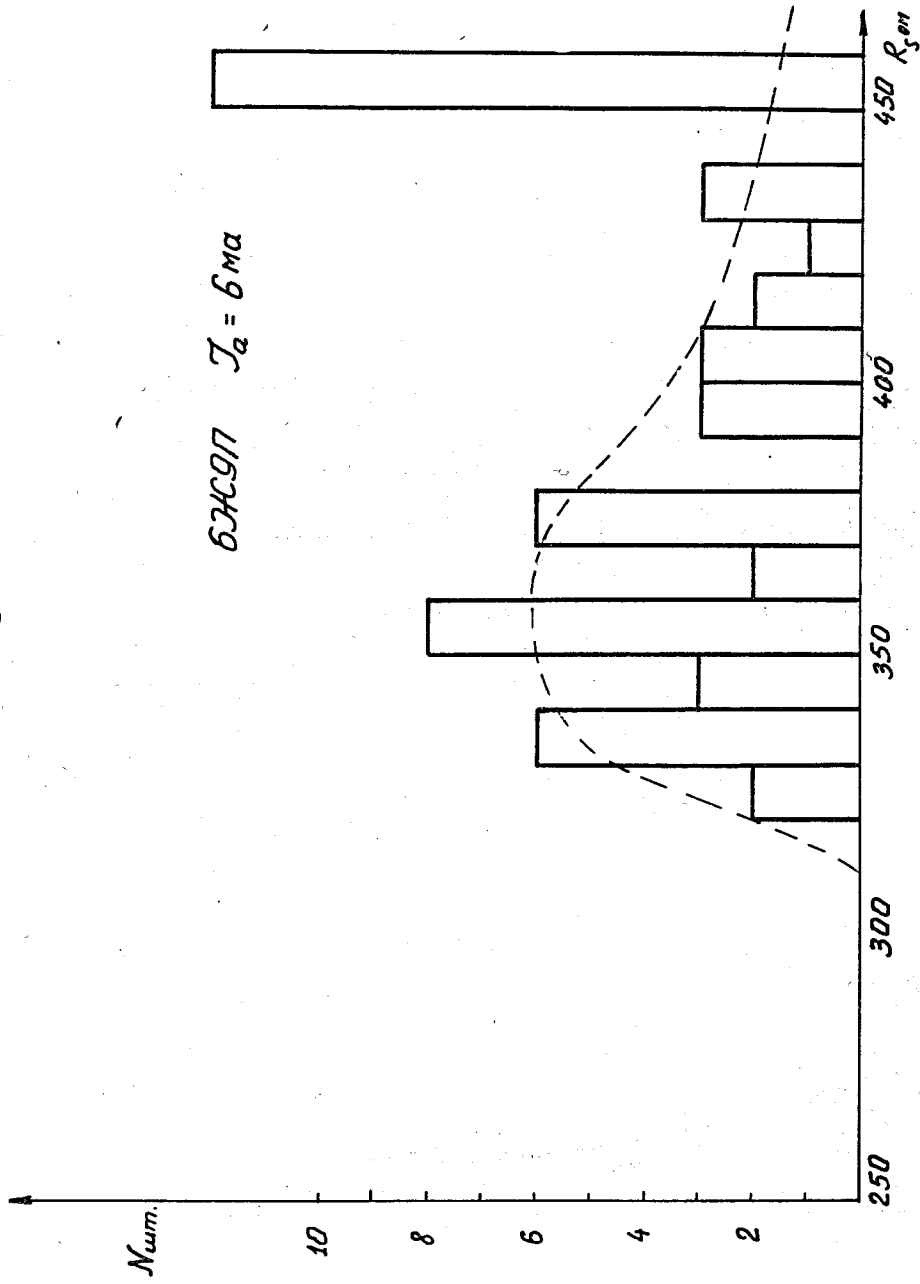


Рис. 2. Гистограмма разброса эквивалентного шумового сопротивления R_g в 50 лампах 6ЖС9П при $I_a = 6 \text{ ма}$.

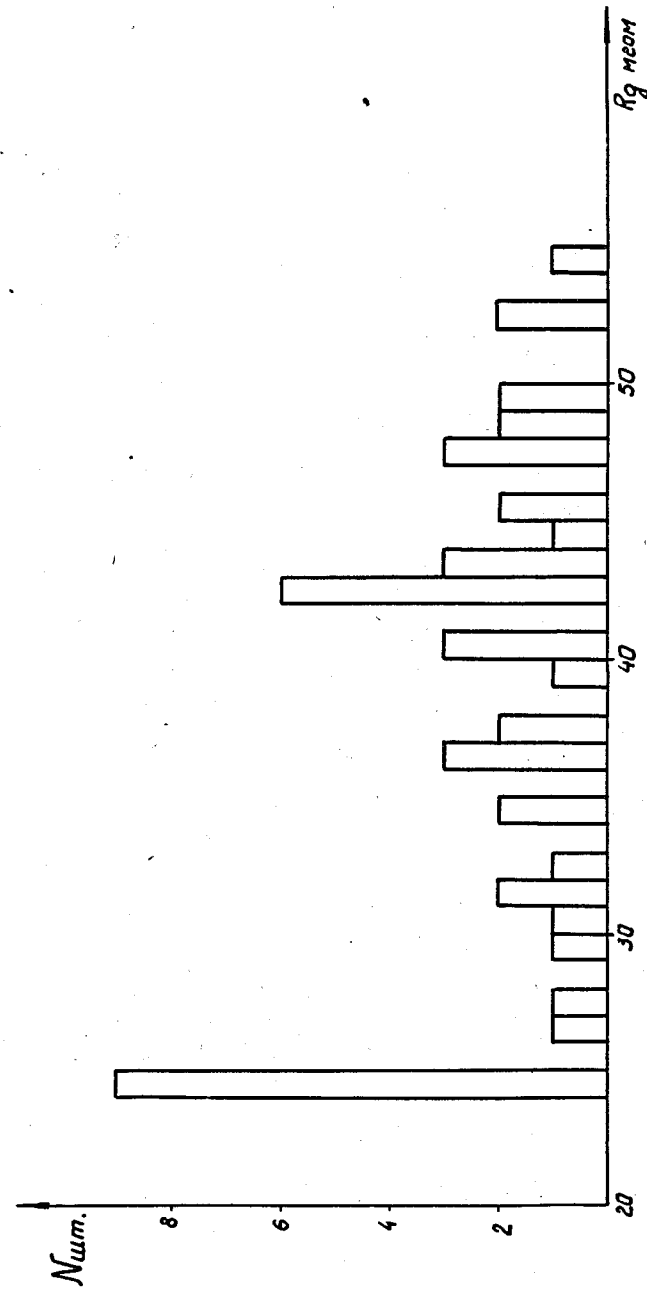


Рис. 3. Гистограмма разброса эквивалентного шумового сопротивления R_g в 50 лампах 6ЖС9П при $I_a = 6 \text{ ма}$.

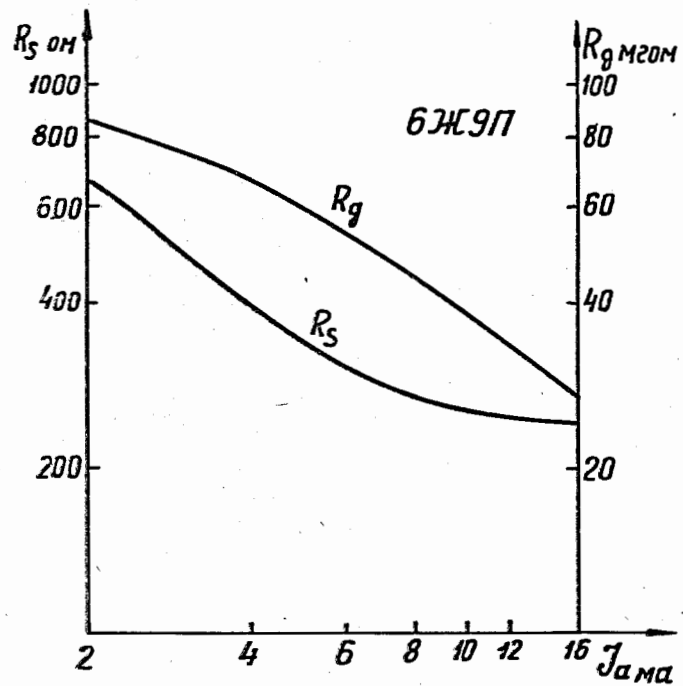


Рис. 4. Зависимость эквивалентных шумовых сопротивлений R_s и R_g от анодного тока для лампы 6Ж9П.

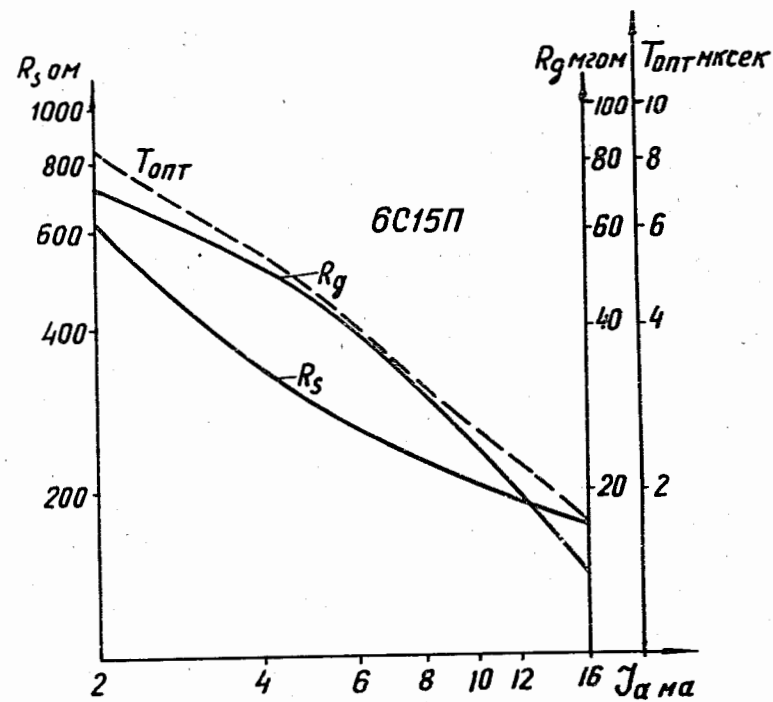


Рис. 5. Зависимость эквивалентных шумовых сопротивлений R_s и R_g от анодного тока для лампы 6С15П. Пунктиром показана оптимальная полоса T_{opt} .

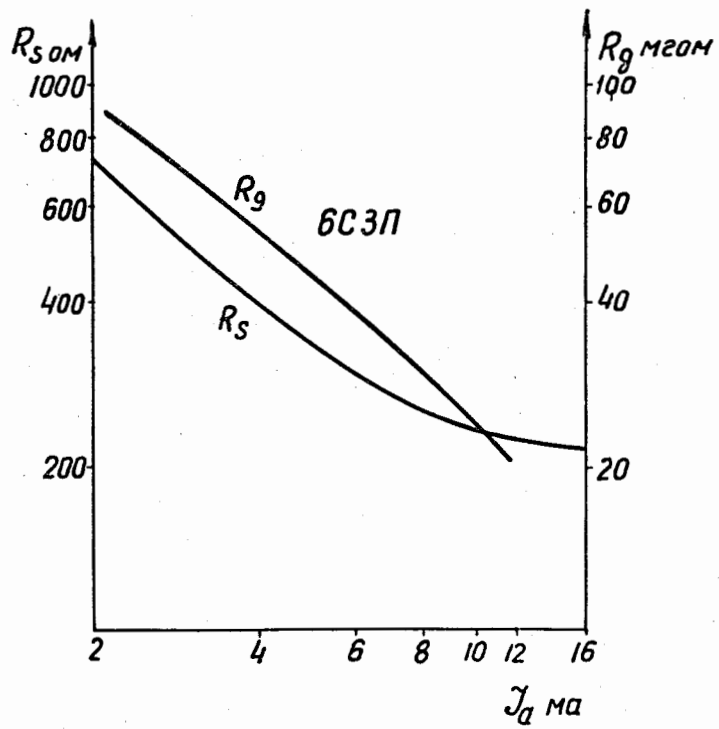


Рис. 6. Зависимость эквивалентных шумовых сопротивлений R_s и R_g от анодного тока для лампы 6C3П.

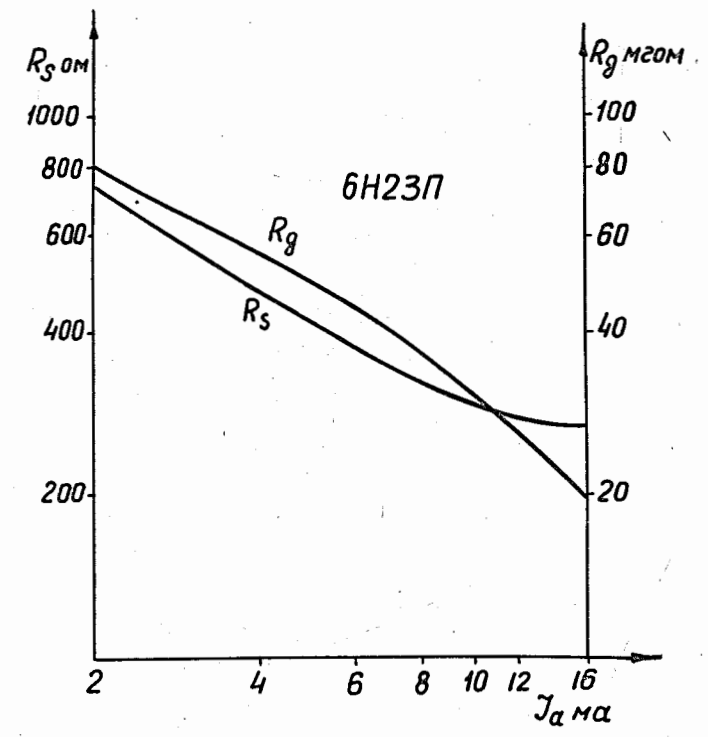


Рис. 7. Зависимость эквивалентных шумовых сопротивлений R_s и R_g от анодного тока для лампы 6H23П.

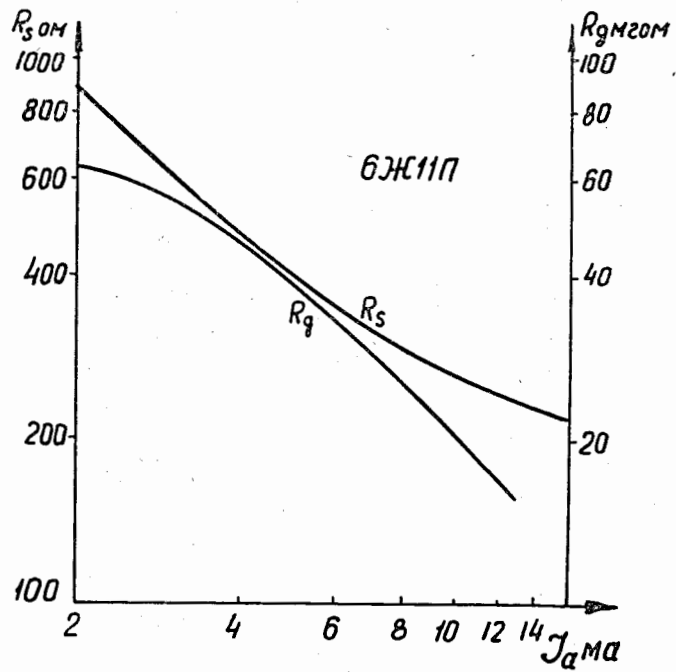


Рис. 8. Зависимость эквивалентных шумовых сопротивлений R_s и R_g от анодного тока 6Ж11П.

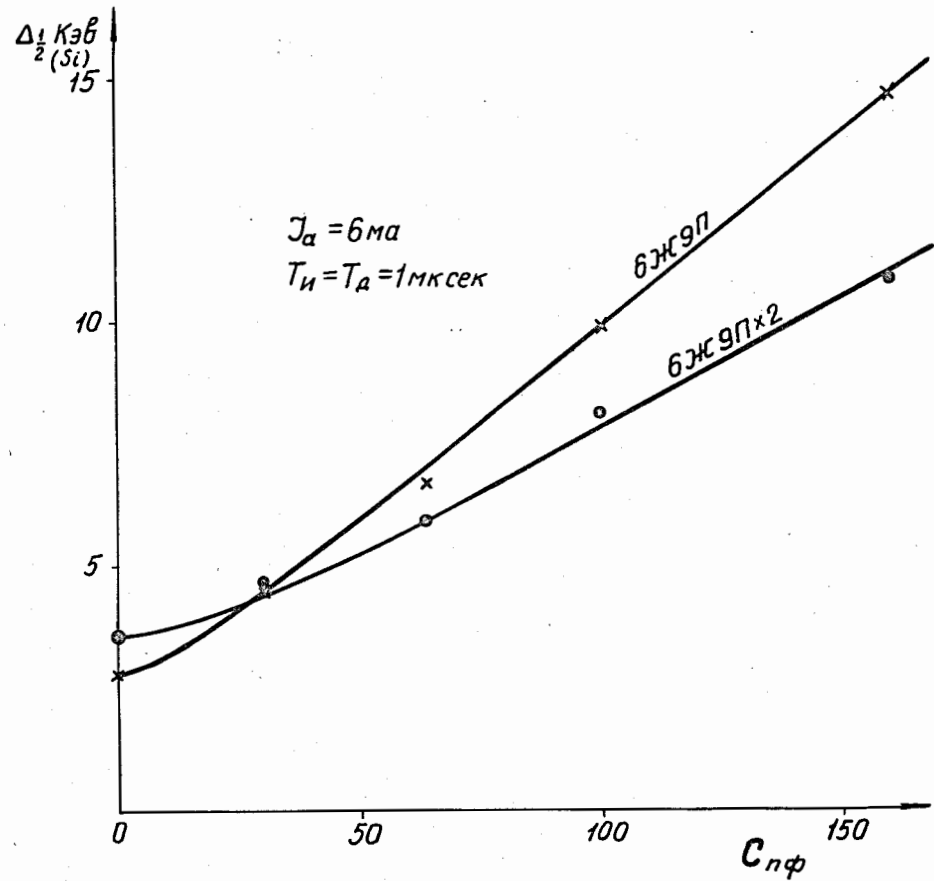


Рис. 9. Зависимость суммарного шума усилителя от внешней емкости для одной и двух параллельно включенных ламп 6Ж9П.

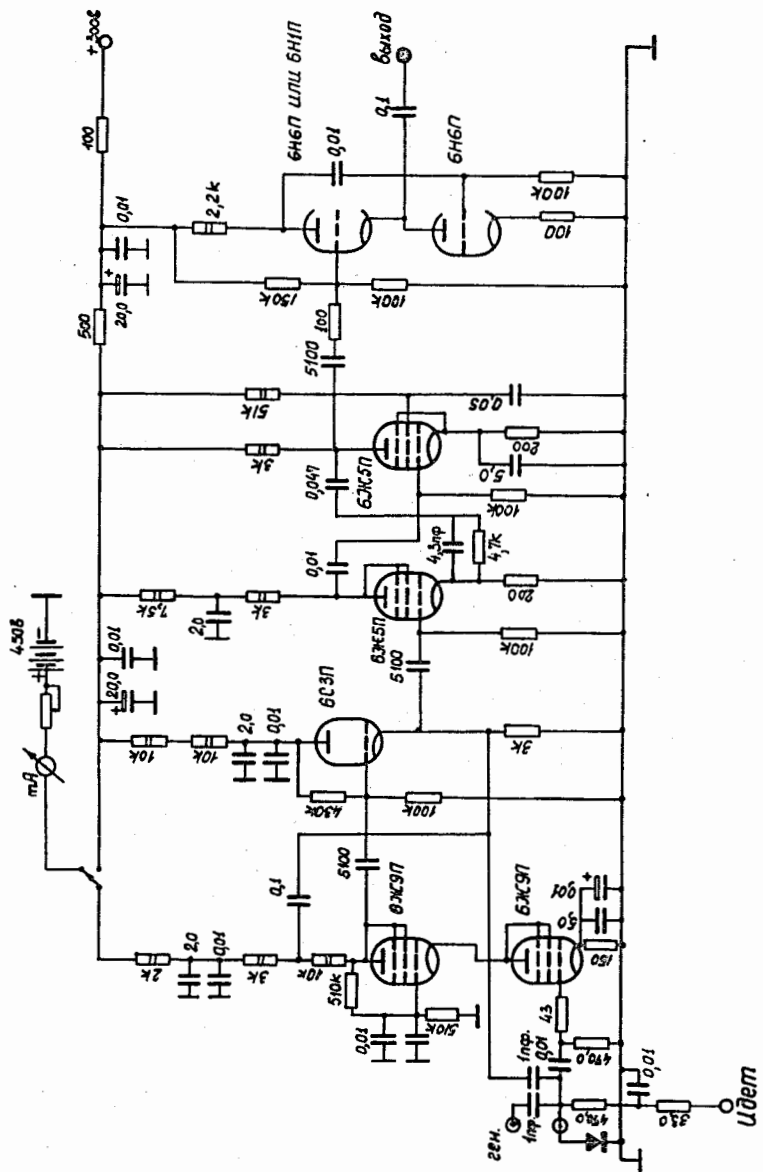


Рис. 10. Схема предусилителя.

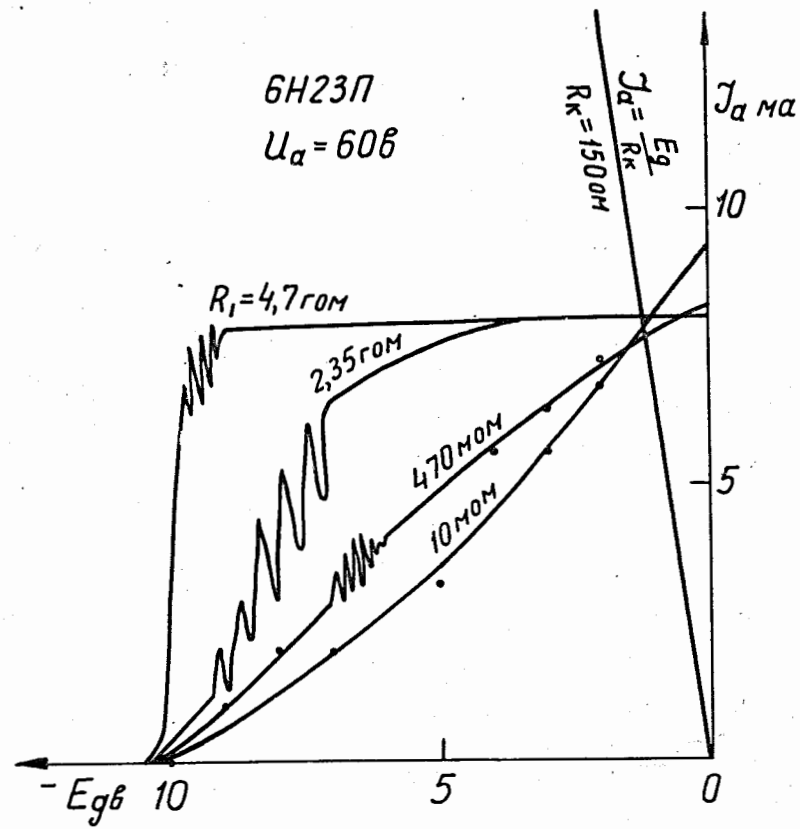


Рис. 11. Зависимость анодного тока от напряжения источника смещения при больших сопротивлениях утечки.

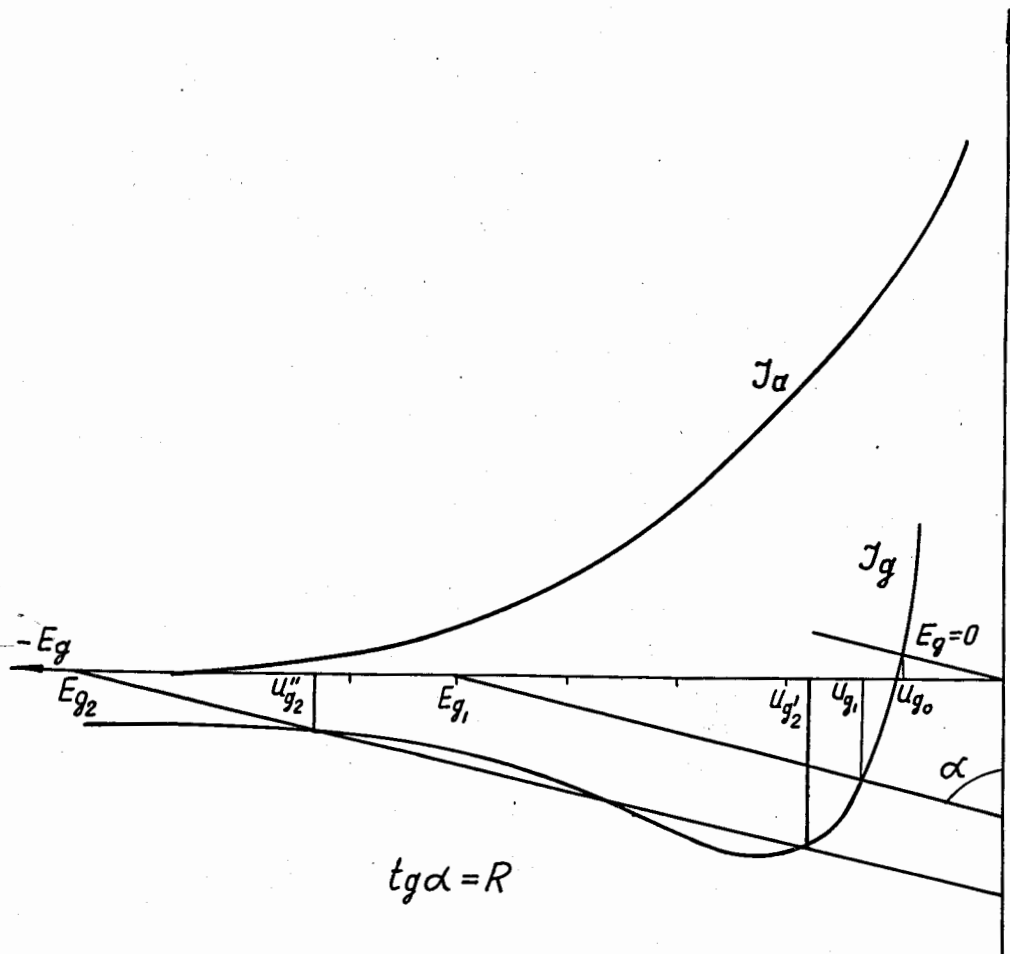


Рис. 12. Определение рабочей точки лампы при разных источниках смещения.

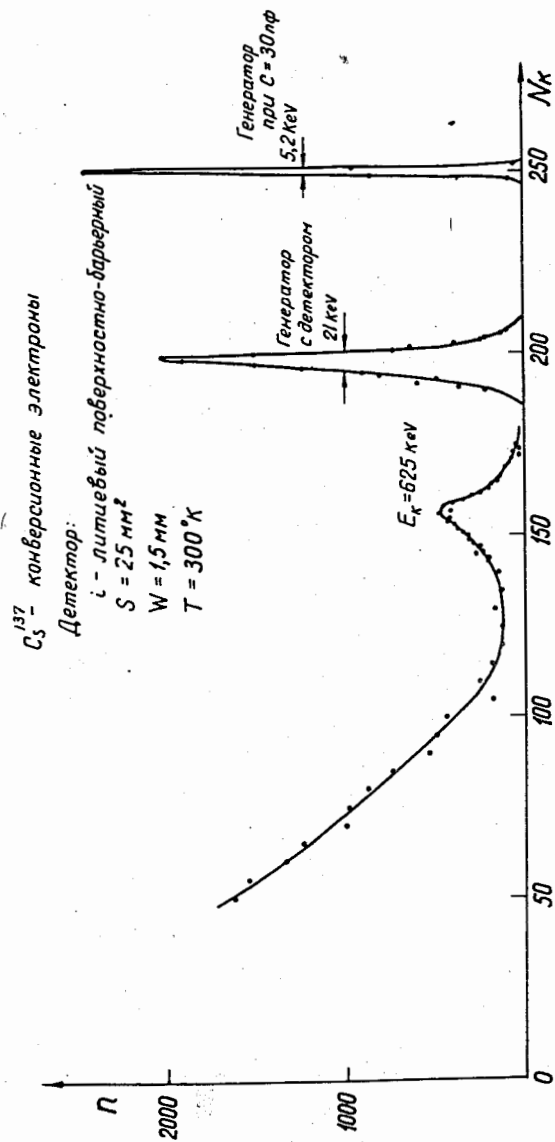


Рис. 13. β спектр ^{137}Cs

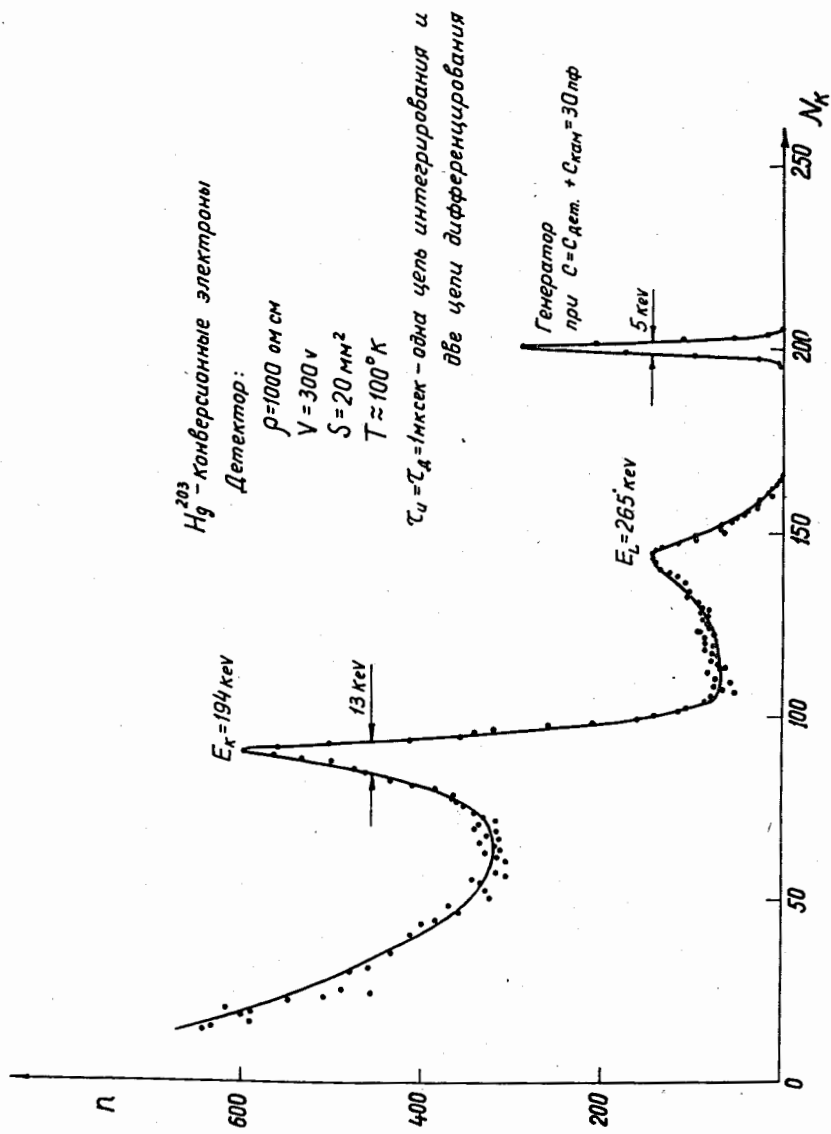


Рис. 14. β спектр ^{203}Hg

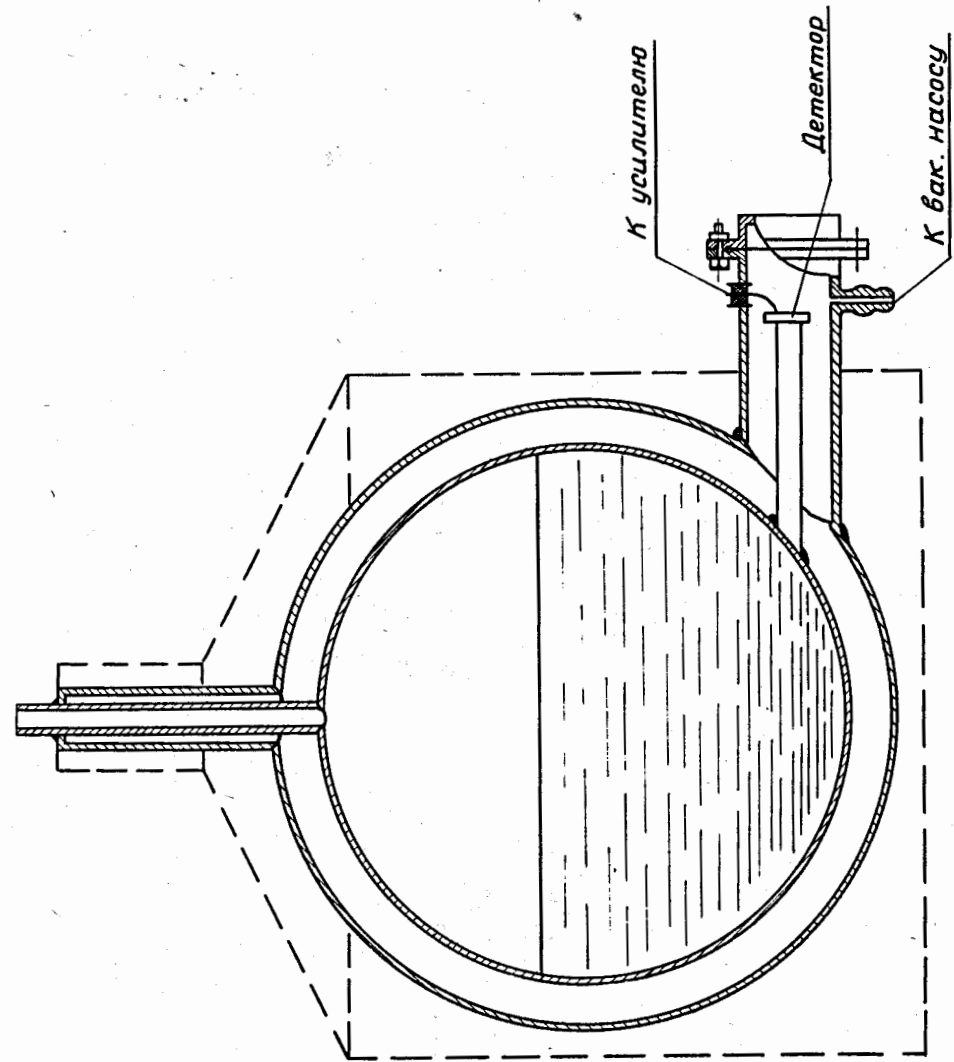


Рис. 15. Камера для охлаждения детекторов на основе стандартного द्वारा на 15 л.