

**Е.А. Левитин**

# **Приемно-усилительные лампы**

**Москва**  
**«Книга по Требованию»**

УДК 53  
ББК 22.3  
Е11

E11      **Е.А. Левитин**  
Приемно-усилительные лампы / Е.А. Левитин – М.: Книга по Требованию,  
2021. – 288 с.

**ISBN 978-5-458-47558-7**

Для расчета приемно-усилительной аппаратуры необходимо иметь исчерпывающие технические данные, характеризующие лампы, на которых проектируется аппаратура. На практике, однако, в большинстве случаев, приходится пользоваться далеко неполными характеристиками и типовыми параметрами, указываемыми заводом. В ряде случаев этого оказывается недостаточно и тогда приходится подбирать выгодный режим экспериментально. В настоящей книгедается более подробный материал о приемных и усилительных лампах, выпускаемых нашей промышленностью, а также данные некоторых наиболее интересных заграничных ламп, в частности - цельнометаллических, которые предполагается воспроизводить у нас. Кроме того, в книге излагается методика основных испытаний усилительных ламп и приводятся типовые характеристики существующих ламп как для статического, так и для динамического режима.

**ISBN 978-5-458-47558-7**

© Издание на русском языке, оформление

«YOYO Media», 2021

© Издание на русском языке, оцифровка,

«Книга по Требованию», 2021

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, кляксы, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



## ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

### 1. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ПРИЕМНЫМ ЛАМПАМ

За последние годы в технике радиоприема достигнуты чрезвычайно высокие результаты, чему особенно содействовало совершенствование усилительных ламп.

С появлением экранированной лампы стало возможным осуществить практически любую степень чувствительности приемника или усилителя, получать колоссальное усиление при условии вполне устойчивой работы усилителя. Практически предел чувствительности аппаратуры определяется в настоящее время не трудностями, связанными с получением большого усиления, а другими причинами, в частности — внутренними шумами ламп и внешними помехами, уровень которых определяет наименьшее значение сигнала, который может быть принят и усилен.

В 1933—34 гг. ламповая техника пережила эпоху бурного расцвета; появился ряд новых типов ламп, давших возможность еще более повысить качество приемников. Усовершенствование ламп шло по двум путям: по линии улучшения параметров и по линии совмещения в одной лампе нескольких функций, что позволило упростить приемник, уменьшить количество ламп в нем и в то же время сохранить его высокие качества.

Лампа призвана выполнять в приемнике самые разнообразные функции: усиление колебаний высокой частоты, детектирование, усиление колебаний низкой частоты, преобразование одной частоты в другую при супергетеродинном приеме и т. д.

В настоящей главе мы покажем, каким требованиям должны удовлетворять лампы для выполнения этих функций.

Еще несколько лет назад лампы почти не дифференцировались, одна и та же лампа выполняла самые различные функции — от усиления высокой частоты до работы в выходном каскаде приемника. Примером этого могла служить хотя бы лампа «микро». На деле это приводило к тому, что такая лампа нигде не давала хороших результатов.

В настоящее время лампы строго специализированы, причем каждый тип предназначается для выполнения вполне определенных функций

и, будучи правильно использован, дает при этом максимальный эффект. Правда, в Англии в 1936 г. были разработаны новые лампы универсального типа, пригодные к использованию в любом каскаде приемника, так называемые «all stage valves». Эти лампы имеют пять сеток, соответствующее переключение которых позволяет получать у лампы самые различные параметры, начиная от аналогии триода и кончая пятисеточным преобразователем частоты. Широкого применения эти лампы пока не нашли и в 1937 г. приемники, использующие эти лампы, выпускались лишь одной фирмой. Однако самая идея использования в приемнике всего одного типа ламп на основе новой техники, представляет некоторый интерес.

Ввиду того, что в настоящее время вопрос о чувствительности приемника потерял свою остроту, на первый план встал вопрос о неискаженном усиении; о правильном высококачественном воспроизведении — «high fidelity», как его называют американцы.

Искажения могут иметь место в любом элементе приемника, причем главным источником их являются лампы вследствие нелинейности своих характеристик.

Отсутствие искажений является основным требованием, предъявляемым ко всем лампам, вне зависимости от их назначения, начиная от усилителей высокой частоты и кончая усилителями мощности.

Кроме того, к лампам, выполняющим различные функции, предъявляется ряд других специфических требований в зависимости от их назначения; требования эти излагаются ниже.

1. Лампы для усиления высокой частоты должны:  
а) давать большое усиление, чтобы обеспечить необходимую чувствительность приемника при минимальном количестве каскадов; б) обеспечивать устойчивость усиления, т. е. быть свободными от обратных связей внутри самой лампы; в) не вносить добавочного затухания в контуры, т. е. давать возможность получить высокую селективность каскада; г) допускать регулировку усиления в широких пределах; д) не вносить нелинейных искажений.

На последнее обстоятельство еще совсем недавно не обращали должного внимания, так как принималось, что усиливаемое напряжение на сетках ламп обычно бывает настолько мало, что нелинейностью характеристики можно при этом пренебречь.

Однако ряд работ последнего времени показал, что с нелинейными искажениями при усилении высокой частоты необходимо считаться и что для учета их приходится брать высшие члены разложения в ряд характеристики лампы. Особенно существенными являются так называемые перекрестные искажения («cross-talk»), обнаруженные теоретически Баллантайном (Ballantin).

2. Детекторные лампы должны давать, во-первых, высокий к. п. д. при детектировании и, во-вторых, давать в схеме минимальные искажения как частотные, так и нелинейные.

Принципиально детектирование как сеточное, так и анодное будет происходить без искажений лишь при идеальной форме характеристики тока сетки или тока анода; практически эти искажения всегда имеют

место и могут быть сведены к минимуму лишь при рациональном подборе элементов схемы.

Ряд работ последнего времени привел к заключению, что наиболее выгодным является так называемое мощное детектирование, при котором может быть получена линейная зависимость между принимаемым сигналом и выпрямленным током или напряжением.

В соответствии с этим к современным детекторным лампам предъявляется требование возможности осуществления такого линейного детектирования.

3. Преобразование частоты в супергетеродинном приемнике осуществлялось ранее с помощью ламп, не предназначенных специально для этой цели.

Преимущества супергетеродинного приемника привели к тому, что в настоящее время этот тип приемника получил большее распространение, чем приемник с прямым усилением. Однако для этого потребовалось устранить или по крайней мере свести к минимуму недостатки, связанные с супергетеродинным приемом, которые ранее не позволяли полностью использовать все возможности, заключавшиеся в этом методе приема.

Совершенствование шло как по линии схемы, так и по линии создания специальных ламп для преобразование частоты. Требования к таким лампам сводятся в основном к следующему: а) должно быть обеспечено большое усиление при преобразовании частоты; б) должна отсутствовать связь гетеродинного контура с приемным, что обеспечивает простую и легкую настройку приемника; в) при преобразовании частоты должно возникать минимальное количество гармоник принимающих колебаний и собственных колебаний гетеродина, ибо наличие таких приводит к появлению комбинационных тонов, создающих неприятные свисты и искажающие прием; г) как и при усилении высокой частоты, лампа не должна вносить большого добавочного затухания в контур (в данном случае промежуточной частоты), ибо в противном случае затрудняется осуществление требуемой формы резонансной кривой.

Для уменьшения количества ламп в приемнике все функции, связанные с преобразованием частоты, желательно совместить в одной лампе.

4. Усиление низкой частоты необходимо подразделять на предварительное и оконечное. Предварительное усиление предъявляет к лампам различные требования в отношении параметров в зависимости от схемы усиления, которое может осуществляться с помощью сопротивлений (реостатная схема), дросселей или трансформаторов. Во всех этих случаях основным требованием к качеству работы лампы в усилителе является отсутствие искажений как частотных, так и нелинейных.

Правильность воспроизведения звука в значительной мере определяется качеством усилителя низкой частоты, который должен иметь хорошую частотную и амплитудную характеристики, что достигается правильным использованием ламп, специально предназначенных для той или иной схемы.

Особые требования возникают в отношении ламп, работающих в оконечных выходных каскадах усилителей. Такие лампы должны давать на выходе значительную мощность звуковой частоты при одновременном соблюдении указанных выше условий в смысле отсутствия искажений. При этом желательно, чтобы лампы обладали возможно большим к. п. д.

Широкое распространение динамических громкоговорителей привело к тому, что в настоящее время от оконечных ламп, работающих в радиоприемнике, требуется обычно мощность не менее ватта, а часто — порядка нескольких ватт.

В конструктивном отношении катодные лампы с каждым годом все более совершенствуются. Основное стремление сводится к усовершенствованию технологического процесса производства ламп, к обеспечению возможности массового выпуска при соблюдении полной однородности электрических показателей лампы.

В этом отношении коренные изменения вносят разработанные фирмой «General Electric Co» в Америке цельнометаллические лампы, выпущенные на рынок фирмой RCA.

Попытки использовать для усилительных ламп металлическую оболочку делались и раньше. Так, в 1934 г. фирма «Marconi—Osram» в Англии выпустила на подобие мощных ламп с водяным охлаждением мало-

Рис. 1

мощные приемные лампы, так называемые «Catkin», со стеклянной ножкой и металлическим анодом, который заменял собой колбу лампы и охлаждался наружным воздухом (рис. 1). Эти лампы, однако, широкого практического применения не нашли, главным образом, повидимому, из-за неприспособленности к массовому производству.

Американские цельнометаллические лампы выгодно отличаются от суррогатов металлической лампы типа «Catkin» и обладают рядом серьезных преимуществ как с конструктивной, так и с электрической стороны. Конструкция американской лампы показана на рис. 2.

Не вдаваясь в обсуждение производственных преимуществ этих ламп, отметим их достоинства с электрической стороны, которые в основном сводятся к следующему:

- а) малые габариты — линейные размеры составляют  $\frac{1}{3} — \frac{1}{2}$  от аналогичных стеклянных ламп;
- б) прочность и жесткость конструкции;
- в) меньшая подверженность микрофонному эффекту;
- г) совершенная электрическая экранировка благодаря наличию металлической колбы, целиком закрывающей лампу;
- д) малые внутриламповые емкости;
- е) весьма удобный цоколь с направляющей ножкой.

Каждое из этих преимуществ, взятое в отдельности, не представляет особо исключительного значения, но все они взятые вместе дают весьма заметное преимущество перед стеклянными лампами, особенно

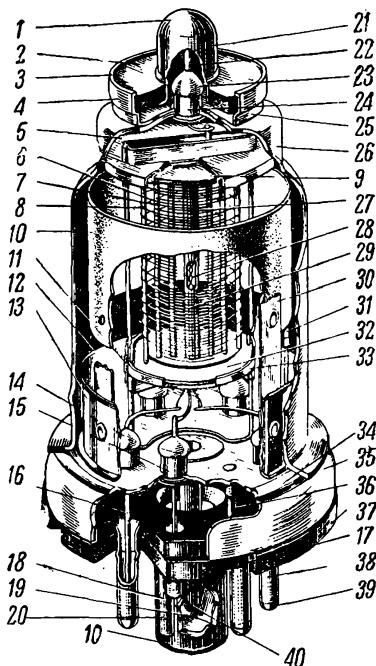


Рис. 2

если считать, что стоимость металлических ламп при налаженном производстве должна быть не выше, а скорее ниже стоимости стеклянных ламп. Недостатком металлических ламп является сравнительно высокая температура колбы (главным образом у кенотронов и оконечных ламп), что вызывает требование хорошей вентиляции и осторожного расположения деталей приемника, подверженных температурным влияниям, вблизи от таких ламп.

Эти недостатки привели к тому, что в настоящее время металлические лампы применяются преимущественно в предварительных каскадах приемников, в оконечных же каскадах и в выпрямительной части применяются стеклянные лампы.

В серии металлических ламп в настоящее время выпускаются все типы, необходимые для комплектации приемников и усилителей средней мощности.

Соблюдение всех условий, предъявляемых к современному приемнику, требует не только наличия специализированных ламп, но и правильного использования их. Поэтому при расчете усилительного каскада как высокой, так и низкой частоты, необходимо иметь возможно полные и всесторонние данные ламп и правильно выбирать их рабочий режим.

## II. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛАМП

### 1. СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Обычная методика испытания ламп сводится в основном к снятию характеристик

$$I_a = f(U_g) \text{ и } I_a = f(U_a)$$

и к определению параметров лампы по трем точкам на ее характеристиках.

Принципиальная схема измерений, используемая для этой цели, приведена на рис. 3.

На практике в эту схему вводятся некоторые дополнения, имеющие своей целью сделать манипулирование более удобным.

Для получения характеристик  $I_a = f(U_g)$  при  $U_a = \text{const}$  (рис. 4) напряжение на аноде (и на экране для экранированных ламп) поддерживается постоянным, а напряжение на управляющей сетке изменяется в нужных пределах — для усиительных ламп от нуля и дальше в отрицательной области до прекращения анодного тока.

Такие характеристики снимаются для разных напряжений на аноде.

Для получения характеристики  $I_a = f(U_a)$  изменяют напряжение на аноде, оставляя все остальные напряжения постоянными. Снимается семейство таких характеристик, из которых каждая соответствует некоторому определенному напряжению смещения на сетке (рис. 5).

Из семейства характеристик  $I_a = f(U_g)$  или  $I_a = f(U_a)$  можно определить параметры лампы. Для

этого нужно построить так называемый характеристический треугольник, который для первого случая, т. е. для семейства  $I_a = f(U_g)$  изображен на рис. 4.

Здесь отрезок  $ab$  представляет  $\Delta U_g$ , вследствие чего получим значение  $\Delta U_a$ , вычитаем  $U_{a2}$  из  $U_{a1}$ , т. е.

$$\Delta U_a = U_{a1} - U_{a2}.$$

Тогда

$$\mu = \left| \frac{\Delta U_a}{\Delta U_g} \right| = \frac{|U_{a1} - U_{a2}|}{ab},$$

$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_g} = \frac{bc}{ab},$$

$$R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} = \frac{|U_{a1} - U_{a2}|}{bc}.$$

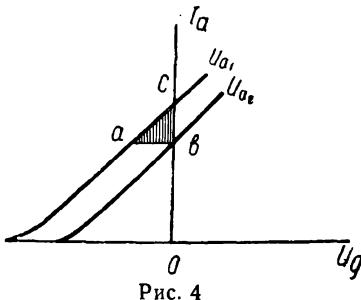


Рис. 4

Во втором случае, имея семейство кривых  $I_a = f(U_a)$ , также можно построить подобный треугольник, как указано на рис. 5.

Здесь отрезок  $a'b'$  представляет  $\Delta U_a$ , отрезок  $b'c' = \Delta I_a$ ; чтобы получить значение  $\Delta U_g$ , вычитаем  $U_{g2}$  из  $U_{g1}$  и берем абсолютную величину этой разности; тогда

$$\mu = \left| \frac{\Delta U_a}{\Delta U_g} \right| = \frac{a'b'}{|U_{g1} - U_{g2}|},$$

$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_g} = \frac{b'c'}{|U_{g1} - U_{g2}|},$$

$$R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} = \frac{a'b'}{b'c'}.$$

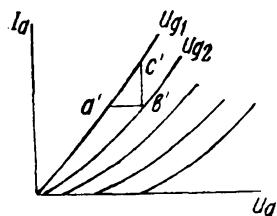


Рис. 5

Для определения параметров лампы на практике полной характеристики обычно не снимают, а ограничиваются измерением анодного тока в трех точках, из которых две заранее фиксируются для данного типа. Эти точки должны выбираться на той части характеристики, которую предполагается в дальнейшем использовать. Параметры лампы, как говорят, должны быть определены на рабочем участке характеристики.

Чтобы определить крутизну характеристики  $S$ , устанавливают на сетке лампы некоторый начальный потенциал  $U_{g1}$ , в частном случае  $U_{g1} = 0$ . Затем, поддерживая  $U_a$  постоянным, изменяют напряжение на сетке на величину  $\Delta U_g$ , которая заранее фиксируется (например,  $\Delta U_g = -2V$ ). Это вызывает изменение (в данном случае — уменьшение) анодного тока на величину  $\Delta I_a$ . Отношение  $\frac{\Delta I_a}{\Delta U_g}$  и дает крутизну характеристики  $S$ .

Для определения коэффициента усиления оставляем на сетке отрицательный потенциал, установленный выше, и изменяем теперь потенциал анода на величину  $\Delta U_a$  так, чтобы привести анодный ток к прежнему значению, который он имел вначале, при  $U_g = 0$ ; тогда

$$\mu = \left| \frac{\Delta U_a}{\Delta U_g} \right|.$$

Имея значения  $\Delta I_a$  и  $\Delta U_a$ , можно определить внутреннее сопротивление лампы

$$R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a}.$$

Часто для определения  $R_i$  пользуются известным соотношением, связывающим параметры, а именно:  $\frac{S \cdot R_i}{\mu} = 1$ , откуда

$$R_i = \frac{\mu}{S}.$$

Пример: лампа УБ-107.

Имеем  $U_a = 120$  В,  
 $U_{g1} = 0$ ,  $I_{a1} = 9,0$  мА  
 $U_{g2} = -2$  В,  $I_{a2} = 5,9$  мА }  $\Delta U_g = 2$  В,  $\Delta I_a = 3,1$  мА.

При  $U_g = -2$  В пришлось увеличить  $U_a$  до 146 В, чтобы получить  $I_{a2} = I_{a1}$ . Следовательно  $\Delta U_a = 26$ .

Отсюда:

$$S = \frac{3,1}{2} = 1,55 \frac{\text{мА}}{\text{В}},$$

$$\mu = \frac{26}{2} = 13,$$

$$R_i = \frac{26}{3,1 \cdot 10^{-3}} = 8400 \Omega.$$

Этот классический способ позволяет определять параметры сравнительно быстро и просто, а поэтому он широко применяется.

На практике величину  $\Delta U_g$  приходится выбирать довольно большой для того, чтобы можно было с достаточной точностью отсчитать изменение анодного тока, вызываемое изменением потенциала сетки. При этих условиях изменение анодного напряжения  $\Delta U_a$  (при определении  $\mu$ ) может оказаться довольно значительным.

У трехэлектродных усилительных ламп, коэффициент усиления которых обычно не превышает 35—40,  $\Delta U_a$  имеет значение порядка нескольких десятков вольт (при  $\Delta U_g = 2$  В —  $\Delta U_a$  будет порядка 70—80 В).

При определении параметров экранированных ламп принцип измерения  $S$  остается тот же, а для измерения  $\mu$  приходится вводить некоторые изменения.

Коэффициент усиления экранированных ламп сплошь и рядом равен 400—500, а у новых типов ламп нередко превышает 1000 и доходит даже до 3000—5000. При таком значении  $\mu$  при измерении уже нельзя изменять  $U_g$  на 1—2 В, так как это потребовало бы изменения  $U_a$  на несколько сот и даже тысяч вольт.

Приходится брать  $\Delta U_g$  гораздо меньше —0,2—0,1 В (для обычных экранированных ламп) тогда и значение  $\Delta U_a$  будет иметь несколько десятков вольт. Но такое измерение при помощи схемы рис. 3 оказывается уже затруднительным по следующим соображениям.

Начальный ток экранированной лампы (например, при  $U_g = 0$ ) обычно равен нескольким миллиамперам и измеряется прибором, имеющим шкалу, соответствующую этому току; изменение же анодного тока при  $\Delta U_g = 0,1$ —0,2 В выражается лишь в десятых долях миллиампера и отсчитать его с достаточной степенью точности по относительно грубой шкале анодного миллиамперметра не представляется возможным.

Поэтому измерение приходится производить иначе. На аноде и на сетке лампы устанавливаются соответствующие напряжения. Затем анод-

ный миллиамперметр компенсируется, т. е. через него пропускается от особой батареи ( $B_k$ , рис. 6) ток, противоположный по направлению анодному току лампы. При помощи потенциометра  $P$  и реостата  $R$  абсолютная величина этого тока подбирается равной анодному току. Таким образом мы добиваемся того, что показание прибора становится равным

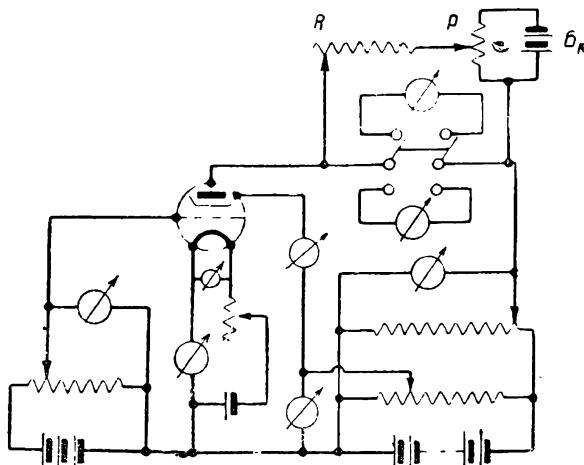


Рис. 6

нулю. Затем взамен этого прибора в цепь анода включается чувствительный миллиамперметр, вся шкала которого соответствует 1—1,5 mA. Небольшие изменения анодного тока, получающиеся при изменении потенциала сетки на  $\Delta U_g = 0,1 - 0,2$  V, вызывают уже заметное отклонение по такому прибору, и точность измерения значительно повышается.

Дальше измерение производится так же, как и для триода.

## 2. ПОЛНЫЕ СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Описанным способом можно пользоваться лишь при массовых измерениях, от которых требуется определение некоторых условных средних значений параметров ламп. Для получения более полной и точной характеристики лампы приходится пользоваться другими методами.

Дело в том, что, изменяя напряжение на сетке на величину  $\Delta U_g$ , мы захватываем некоторый участок характеристики лампы и, следовательно, определяем  $S$  как  $\frac{\Delta I_a}{\Delta U_g}$ , а не как  $\frac{dI_a}{dU_g}$ , т. е. определяем среднее значение  $S$  на некотором участке, а не истинную крутизну в данной точке.

Если рабочая точка оказывается не на середине этого участка, то  $S$  будет иметь уже другое значение, отличающееся от этого среднего. Обычно принято считать, что характеристика лампы на некотором участке прямолинейна, и параметры на этом участке постоянны. Однако опыт по-

казывает, что такой прямолинейный участок является чрезвычайно редким исключением, и в действительности параметры лампы представляют величину переменную, зависящую, в первую очередь, от режима, от  $U_a$  и  $U_g$ . Способ измерения, описанный выше, неизбежно приводит к тому, что первый отсчет производится при одном анодном напряжении (скажем, при нормальном), а другой при напряжении  $U_a + \Delta U_a$ , отличающемся от нормального на несколько десятков вольт; следовательно, режим лампы резко изменяется во время измерения.

Чтобы измерить параметры не на участке характеристики, а в одной точке, т. е. для определения  $\mu$  как  $\frac{dU_a}{dU_g}$  и  $S$  как  $\frac{dI_a}{dU_g}$ , нужно брать весьма небольшие приращения  $dU_a$  и  $dU_g$ . Измерения  $dU_a$ ,  $dU_g$  и  $dI_a$  каждого в отдельности встречают большие трудности, и для определения параметров приходится пользоваться специальными компенсационными или нулевыми схемами, предложенными различными авторами.

Особенно популярны схемы Миллера (Miller), в которых определение параметров производится при помощи переменного тока. Эти схемы отличаются значительной простотой и не требуют чувствительных приборов; индикатором в них является телефон, включенный в анодную цепь лампы. Принцип действия сводится к тому, что на сетку и на анод подаются переменные напряжения в противоположных фазах; при определенных соотношениях, зависящих от параметров лампы, действия этих напряжений взаимно уничтожаются, и в телефоне звук пропадает.

Некоторую трудность представляет получение в этих схемах острого минимума звука в телефоне, так как наличие емкости в схеме и в самой лампе приводит к тому, что сдвиг по фазе точно на  $180^\circ$  не достигается, и минимум звука в телефоне становится расплывчатым.

Различные варианты таких схем разработаны Чеффи (Chaffee).

В ИРПА разработаны и применяются для этой цели схемы, работающие как на переменном, так и на постоянном токе и дающие достаточно точность измерений.

В схеме, работающей на постоянном токе (рис. 7), можно определить как  $\mu$ , так и  $S$ . Внутреннее сопротивление  $R_i$  непосредственно не измеряется, а определяется расчетом:  $R_i = \frac{\mu}{S}$ .

Измерение всех токов и напряжений, а также снятие кривых  $i_a = f(U_g)$  и  $I_a = f(U_a)$  производится обычным способом. Параметры ламп также могут быть определены по трем точкам. Прямое же назначение схемы — определение параметров ламп при малых изменениях  $U_a$  и  $U_g$ , приближающихся более или менее к дифференциальным величинам.

Для измерения  $\mu$  переключатель  $\Pi_1$  ставится в положение „ $\mu$ “, и схема в упрощенном виде принципиально сводится к схеме рис. 8.

Через сопротивление  $R_1$  и  $R_2$  от батареи  $B_k$  проходит ток  $i$ , образующий на каждом из сопротивлений некоторое падение напряжения; при этом напряжение, падающее на сопротивлении  $R_1$ , оказывается приложенным к сетке, мы его назовем  $\Delta U_g$ .

$$\Delta U_g = iR_1$$