

НОВЫЕ ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

ЭЛЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЕ ЛАМПЫ

Б. М. Царёв

ВВЕДЕНИЕ

Ничтожность энергии, затрачиваемой в электронных лампах на управление электронным потоком с катода на анод при помощи управляющей сетки, сделала целесообразным использование электронных ламп для измерительных целей, в особенности для измерения чрезвычайно слабых токов. Не только специального типа электрометрические лампы, но и некоторые из обычных электронных ламп массового производства, применяемых в радиотехнике, успешно конкурируют как с наиболее чувствительными гальванометрами, так и с различного рода электрометрами, упрощая, в частности, технику производства измерений и уход за соответствующими электрометрическими устройствами.

После первых же попыток построить чувствительные электрометрические схемы на обычных триодах и на более сложных многосеточных лампах были разработаны специальные электрометрические лампы. Дальнейшее развитие ламповой электрометрии идёт именно по этим двум путям: наряду с разработкой всё более и более совершенных электрометрических ламп мы видим многочисленные примеры применения обычных электронных ламп в специальных электрометрических схемах и соответствующих режимах. Поэтому в настоящем обзоре мы рассмотрим не только конструкции и параметры специальных типов электрометрических ламп, появившихся за последние 10—15 лет, но остановимся вкратце и на применении для электрометрических целей различных типов электронных ламп массового производства.

Основными требованиями, предъявляемыми к электронным лампам при использовании их в электрометрических схемах, являются: минимальное значение сеточного тока, определяющее наименьшую величину токов, доступных измерению с помощью схем с такими лампами, и стабильность работы лампы. Первое требование определяет выбор конструкции и режима работы лампы. Выполнение второго требования связано также и со схемой включения лампы. Поэтому

прежде чем перейти к характеристике существующих типов электрометрических ламп, следует подробнее рассмотреть возможности максимального снижения сеточных токов в современных электронных лампах и вопрос о стабильности работы лампы в схеме.

1. СЕТОЧНЫЕ ТОКИ, ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ, ПРИЧИНЫ И МЕТОДЫ ИХ СНИЖЕНИЯ

В дальнейшем, говоря об управляющей сетке и сеточных токах, мы будем иметь в виду управляющий электрод в самом общем случае и токи в его цепи при отрицательных потенциалах на этом электроде. Очень часто, например, в электрометрических схемах используются триоды, включаемые по схеме так называемого «обратного триода», когда роль анода или коллектора электронов играет расположенная ближе к катоду сетка, а управляющим электродом является анод лампы. Так как при положительных или малых отрицательных (до $-1,5\text{ в}$) напряжениях на управляющем электроде на последний попадает заметная доля эмиттируемого катодом электронного потока, этот режим работы ламп не представляет интереса с точки зрения применения для электрометрии, и мы ограничимся рассмотрением случая достаточно больших отрицательных смещений на управляющем электроде.

Среди эмиттируемых катодом электронов всегда найдутся такие, которые обладают скоростями вылета, достаточными для преодоления наличного отрицательного потенциала управляющей сетки. Число их уменьшается с ростом отрицательного потенциала сетки, и при этом сеточный ток экспоненциально спадает.

Практически, однако, эта электронная слагающая сеточного тока частично компенсируется другими его слагающими, текущими обычно навстречу. При некотором смещении на управляющей сетке, называемом «потенциалом свободной сетки», кривая сеточного тока (I_{g2} , рис. 1) проходит через нулевое значение, и при более высоких отрицательных смещениях наблюдается уже сеточный ток обратного направления, природа которого оказывается гораздо более сложной, чем это кажется на первый взгляд.

В любых электронных лампах сеточный ток складывается из следующих компонент:

1. Электронный ток сетки, создаваемый за счёт начальных скоростей вылета электронов с поверхности катода.
2. Ионный ток сетки, т. е. ток положительных ионов, возникающих при столкновениях электронов с атомами и молекулами остаточных газов в лампе.
3. Ток утечки по изоляции между управляющей сеткой и остальными электродами лампы.
4. Ток электронной эмиссии с сетки, возникающий благодаря нагреванию сетки до температур, при которых этот ток становится

заметным. Как правило, этот ток наблюдается лишь в лампах с подогревными оксидными катодами, в которых сетка наряду со значительным нагреванием оказывается активированной вследствие напыления на неё большого количества активного вещества с катода.

Кроме того, в специальных лампах с малыми сеточными токами могут наблюдаться и другие причины возникновения сеточного тока:

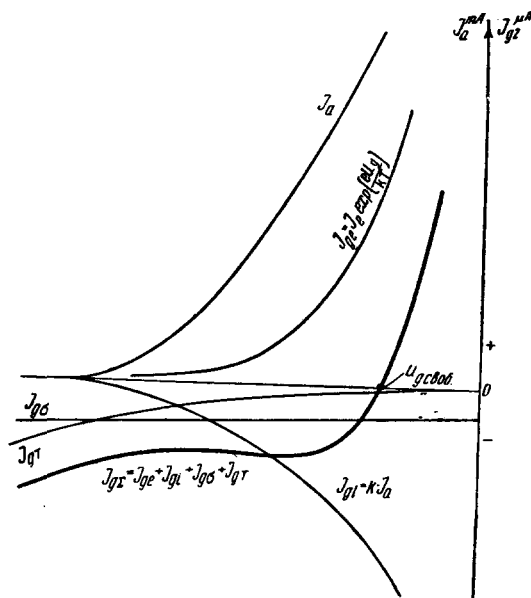


Рис. 1. Характеристика сеточного тока и его основные компоненты.

5. Токи фотоэлектронной эмиссии с сетки, вызываемые а) световым излучением катода; б) освещением электродов лампы извне; в) мягким рентгеновским излучением, возникающим внутри лампы.

6. Токи ионной эмиссии с катода.

Рассмотрим отдельно перечисленные компоненты сеточного тока и возможности их снижения.

Электронный ток сетки (I_{ge}) в случае триода, как известно, выражается уравнением:

$$I_{ge} = m \cdot I_e \exp\left(\frac{eU_g}{kT_k}\right) \quad \text{при} \quad U_g^* \leq 0, \quad [(1)]$$

где I_e — эмиссия катода, m — безразмерный множитель, зависящий от геометрических размеров электродов и, прежде всего, от величины заполнения сетки её витками, т. е. от отношения диаметра проволоки, образующей сетку, к шагу её намотки. Кроме того,

величина m зависит, как показывает опыт, от анодного напряжения, а именно, падает с его увеличением и совершенно не зависит от потенциала сетки. Через T_k обозначена температура катода, e — заряд электрона, k — постоянная Больцмана и U_g^* — потенциал управляющей сетки. Это уравнение имеет место, конечно, лишь при отрицательных значениях U_g^* , представляющего собой подаваемое на сетку

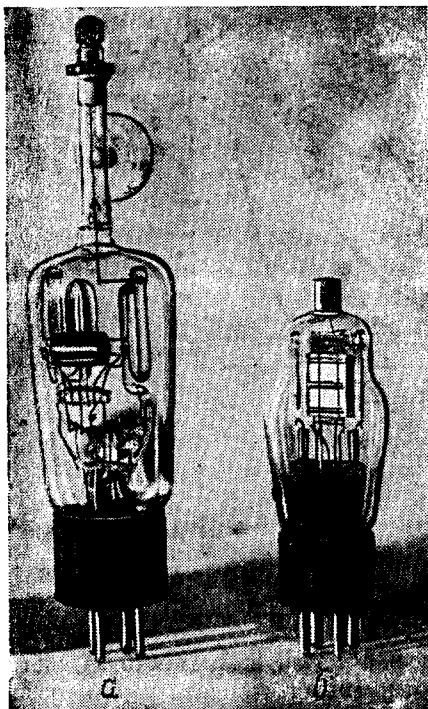


Рис. 2. а) Лампа Хауссера; б) лампа типа A154A.

ламп мы находим катоды из торированного вольфрама, применяемые в настоящее время в большинстве типов этих ламп. Ещё почти вдвое ниже рабочая температура у оксидных катодов ($800-900^\circ \text{K}$ вместо $1700-1850^\circ \text{K}$ у торированных катодов), применяемых в последнее время в ряде специальных электрометрических ламп, несмотря на опасность фотоэффекта, вызываемого напылением активного вещества с катода на сетку.

Ионные токи (I_{gi}) возникающие за счёт ионизации остаточных газов, могут быть значительно снижены путём применения в лампах

отрицательное смещение U_g с соответствующей поправкой на контактную разность потенциалов U_k между катодом и управляющей сеткой и на величину потенциального минимума U_m , создаваемого электронным пространственным зарядом между катодом и сеткой. Следовательно, должно иметь место соотношение

$$U_g^* = U_g + U_k + U_m \leq 0, \quad (2)$$

причём U_k представляет собой разность работ выхода поверхностей катода и сетки.

Как видно из (1), скорость спадания тока с увеличением отрицательного смещения на сетке тем больше, чем меньше температура катода. С этой точки зрения, для уменьшения электронного тока на сетку выгоднее пользоваться катодами, работающими при более низких температурах, и поэтому уже в первых образцах электрометрических

достаточно активных поглотителей — геттеров, как например, магний или барий. При этом в большинстве случаев в специальных электрометрических лампах применяется именно магний, так как барий легко может вызвать фотоэффект с управляющей сетки, либо утечку по изоляции последней, благодаря напылению его на изоляторы. Однако основным методом не только снижения, но и практически полного уничтожения ионных токов, является работа лампы при напряжениях на всех электродах, не превышающих потенциалов ионизации большинства имеющихся в лампах остаточных газов, т. е. прежде всего составных частей воздуха (O_2 , N_2 и Ar), а затем газов, выделяемых деталями лампы (CO , CO_2 , H_2O , H_2 и иногда некоторых углеводородов). Поэтому в большинстве случаев анодные напряжения в электрометрических лампах не превышают 8—10 в. Обеспечение достаточно хороших параметров достигается тем, что в качестве электрометрических ламп обычно используют так называемые «двухсетки», т. е. лампы с первой, противозарядной или катодной сеткой, находящейся под небольшим положительным потенциалом (4—6 в), и со второй управляющей сеткой. В случае же применения триодов их чаще всего используют по схеме обратного триода, т. е. положительный потенциал подают на сетку, а управляющим электродом служит анод. Примерами двухсетки и обратного триода

могут служить соответственно одна из первых электрометрических ламп Хауссера¹ (рис. 2, а) и лампа типа A154 фирмы RCA (рис. 2, б). Иногда, как это можно видеть на примере лампы типа 4060 фирмы Филипс (рис. 3), анод и управляющий электрод располагаются в виде двух пластин с разных сторон катода (так называемый «платион», см. также²), на различных от него расстояниях (управляющий электрод ближе к катоду, нежели анод). Во всех перечисленных конструкциях удастся получить необходимые параметры при анодных напряжениях порядка 4—6 в и во всяком случае не выше 8—10 в.

Как показали многочисленные исследования, ионные токи сетки пропорциональны величине анодного тока и давлению остаточных газов в лампе (см., например,³). Однако в большинстве случаев применения ламп в электрометрических схемах токи, вызываемые ионизацией газа, практически отсутствуют, а возникающие в некоторых случаях незначительные ионные токи объяснены своим происхождением, как мы увидим ниже, эмиссии положительных ионов катодом.

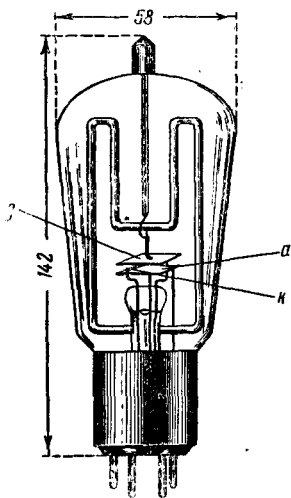


Рис. 3. Лампа типа 4060

Токи утечки ($I_{гс}$) с сетки, т. е. качество её изоляции относительно остальных электродов, могут быть доведены при помощи различных средств практически до любых желаемых величин и, по существу, их минимальные значения ограничиваются чаще всего габаритами лампы и применяемыми для неё напряжениями.

В специальных электрометрических лампах, как правило, управляющая сетка крепится внутри лампы на специальных изоляторах, стеклянных или кварцевых, и вывод управляющей сетки делается обычно на куполе колбы. Помимо токов утечки по внутриламповым вводам

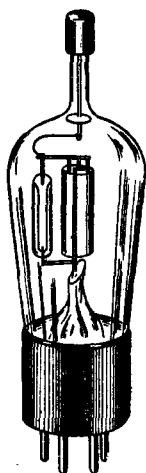


Рис. 4. Лампа типа D96475.

имеет место, следовательно, и утечка по стеклу колбы лампы и главным образом по её внешней поверхности. Для снижения утечки по колбе в некоторых лампах, как например, в лампе типа D96475 фирмы Western Electric (см. 4), на купол колбы наваривается длинная стеклянная трубка небольшого диаметра, сквозь которую и проходит вывод управляющей сетки. Для избежания напыления металлических проводящих налётов на внутренние стенки трубки нижнее её отверстие закрывается небольшим металлическим диском (рис. 4). Изоляторы, на которых крепится управляющая сетка, могут быть выполнены либо в виде прямых стерженьков, либо изогнутыми (рис. 2 и 3) с целью удлинения пути утечки. Для предохранения изоляторов от напыления на них металлических налётов их защищают стеклянными колпачками (рис. 5), или же применяют специальные юбчатые изоляторы (рис. 4). Иногда металлические держатели, на которых крепятся изоляторы, снабжаются отдельным выводом, на который при включении лампы в схему подаётся потенциал, равный среднему рабочему потенциалу управляющей сетки,

что позволяет значительно снизить утечку по изолятору, поскольку оба его конца при этом находятся практически под одним потенциалом.

Благодаря перечисленным мероприятиям основной утечкой остаётся лишь утечка по наружной поверхности колбы. Для снижения этой утечки рекомендуется баллон лампы тщательно промыть чистым спиртом и затем просушить прогревом в сушильном шкафу. Кроме того, изоляционные свойства поверхности баллона можно значительно улучшить, покрывая её тонким слоем парафина. В последнее время для этой же цели стали применять различные кремне-органические соединения, наносимые тонким слоем на поверхности баллона^{5,9}. Эти защитные покрытия, предохраняющие поверхность стекла от поглощения влаги, сильно ухудшающей её изоляционные свойства, особенно необходимы в случае использования обычных типов электронных ламп в качестве электрометрических.

Кроме того, для снижения утечки по баллону рекомендуется на него надевать защитное металлическое кольцо в виде, например, наклеенной полоски станиоля или слоя аквадага (графита). Таким кольцом может также служить металлический стакан цоколя, имеющийся на некоторых лампах. Защитное кольцо или стакан цоколя при этом либо заземляются, либо на них подаётся потенциал, равный среднему рабочему потенциалу управляющей сетки (рис. 6).

Термоэлектронная эмиссия сетки (I_{gT}) в специальных типах электрометрических ламп практически всегда отсутствует, в основном по двум причинам: во-первых, применяются главным образом экономичные катоды прямого накала, т. е. из торированного вольфрама или оксидные, и, во-вторых, рабочая температура катода всегда выбирается по возможности наиболее низкой, т. е. порядка $650—700^{\circ}\text{K}$ для оксидных катодов и $1650—1750^{\circ}\text{K}$ для торированного вольфрама. Кроме того, расположенная ближе к катоду сетка обычно играет роль катодной противозарядной сетки или, в случае обратного триода, роль анода, а управляющим электродом является вторая сетка или анод, вследствие чего его температура всегда достаточно низка и поэтому даже в случае ламп с подогревным оксидным катодом термоэлектронная эмиссия управляющей сетки практически отсутствует.

Рассмотренные нами четыре основные слагающие дают обычно картину сеточных токов, приведенную на рис. 1. В случае специальных электрометрических ламп

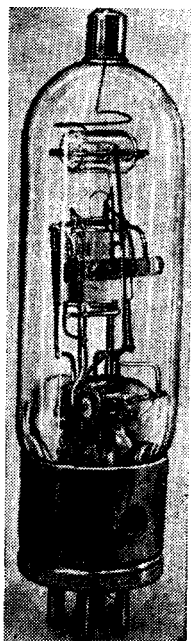


Рис. 5. Лампа типа FP-54.

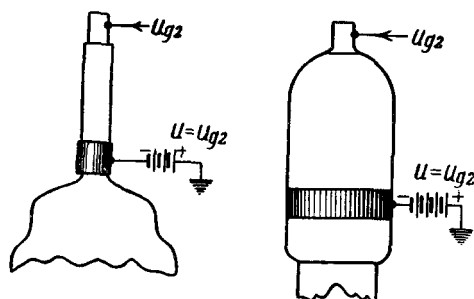


Рис. 6. Защитное кольцо, снижающее утечку по баллону.

или при использовании обычных ламп в электрометрических режимах ионные токи и термоэлектронная эмиссия сетки, как указано выше,

отсутствуют, и сеточные токи обычно состоят лишь из электронного тока и тока утечки (рис. 7). Но при этих условиях значительную роль в образовании сеточного тока начинают играть и прочие, более слабые компоненты, указанные выше.

Фотоэлектронная эмиссия с сетки под влиянием излучения с катода практически полностью исключается, так как в случае оксидного катода, когда активность поверхности сетки может быть достаточно высокой, длина волны излучения катода лежит за пределами красной границы фотоэффекта; в случае же торированного вольфрама активность сетки всегда достаточно низка.

Для устранения фотоэффекта с сетки под влиянием освещения

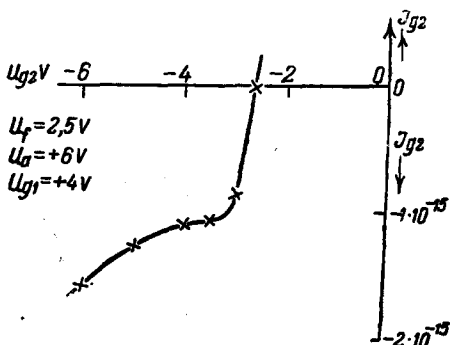


Рис. 7. Сеточный ток лампы типа FP-54.

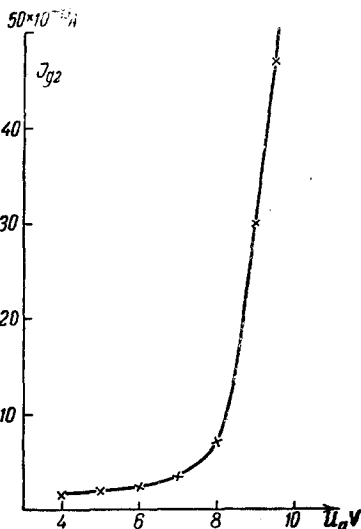


Рис. 8. Зависимость сеточного тока от анодного напряжения.

извне рекомендуется электрометрическую лампу помещать в светонепроницаемый колпак. Кроме того, в случае ламп с оксидным катодом фотоэффект сетки, равно как и её термоэлектронная эмиссия, значительно ослабляются покрытием сетки слоем углерода (сажей или графитом).

Наконец, фотоэлектронная эмиссия с сетки может вызываться также и мягким рентгеновским излучением, возникающим в самой лампе. Оно может быть существенным не только при анодных напряжениях порядка многих десятков вольт. Даже при напряжениях порядка всего лишь 10—12—15 в возможно сверхмягкое рентгеновское излучение—так называемые лучи Букки,— вполне достаточное для появления фототоков, сравнимых с другими компонентами сеточного тока. Этим объясняется резкое возрастание сеточного тока при анодных напряжениях, превышающих 8 в (рис. 8), когда явления ионизации остаточных газов практически ещё не имеют места. Помимо прочих причин, это обстоятельство также заставляет ограничивать анодные напряжения в электрометрических схемах значениями порядка 6—8 в.

Ионная эмиссия с катода возможна для катодов любых типов. Однако, если в случае чистого и торированного вольфрама она вызывается, главным образом, летучими примесями в металле и поэтому со временем резко снижается, а при достаточно хорошей обработке катода и совершенно отсутствует, то в случае оксидных катодов она имеет место постоянно благодаря непрерывно происходящему под влиянием эмиссионного тока электролизу оксидного слоя с выделением ионов кислорода, а также благодаря испарению как металлического бария, так и его окиси с поверхности катода, сопровождающемуся частично ионизацией.

Благодаря отбору с катода незначительного тока, исчисляемого немногими десятками микроампер и притом при незначительных анодных напряжениях, из которых на долю оксидного слоя катода приходится падение, недостаточное для электролитической диссоциации окиси бария, а также благодаря достаточно низкой температуре катода, ограничивающей процесс испарения его оксидного слоя, токи ионной эмиссии с катода могут быть незначительны. Кроме того, вследствие применения положительного потенциала на ближайшей к катоду сетке вылетающие с катода положительные ионы преимущественно возвращаются обратно к катоду, чем предотвращается попадание их на управляющий электрод.

Наконец, в случае применения электрометрических ламп в качестве первого каскада усиления к счётчикам Гейгера-Мюллера следует указать ещё на возможность влияния на работу счётчика радиоактивного излучения тория, присутствующего в лампе в случае катода из торированного вольфрама. В этом отношении оксидный катод должен иметь преимущество перед торированным. Отсутствие прямых указаний в литературе на подобное влияние объясняется, повидимому, чрезвычайно малой интенсивностью этого излучения и практической невозможностью отличить его влияние на работу счётчика от влияний множества других факторов, вызывающих так называемый фон счётчика.

2. ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ЭЛЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ ЛАМП

В связи с широким применением ламповых электрометрических схем, позволяющих измерять часто чрезвычайно малые токи, вплоть до токов ниже 10^{-15} а (до 10^{-17} а), и обнаруживать ещё более слабые токи, за последние годы разработано значительное количество специальных электрометрических ламп, удовлетворяющих самым разнообразным условиям их применения. В конструктивном отношении все эти лампы можно разбить на три группы: тетроды типа двух-сеточных ламп, т. е. с положительной катодной сеткой, триоды, работающие по схеме обратного триода, т. е. с хорошей изоляцией анода, и триоды типа «платиона», т. е. с двумя пластинками, расположенными с разных сторон катода. Наиболее широкое применение получили лампы первой группы, причём помимо обычных тетродов

Основные конструктивные данные электрометрических ламп

Тип лампы	Конструкция лампы	Катод	Материал и конструкция изоляторов	Основное применение	Сеточный ток (в а)	Фирма или страна	Примечание
Без обозначения	Двухсетка	Вольфрам чистый	Стекланный изогнутый	Дозиметрия, электрометрия	10^{-12}	Хауссер	Рис. 2, а см. ^{1,14}
T118	"	Вольфрам торированный	Стекланный прямой	Электрометрия	10^{-13}	AEG — Осрам	см. ^{10,14}
T114	"	То же	Стекланный юбчатый	"	10^{-14}	"	см. ^{10,14}
T115a	"	Вольфрам чистый	Стекланный изогнутый	Дозиметрия	10^{-11}	"	Конструкция аналогична лампе Хауссера см. ^{10,14}
4060	Триод (платион)	Оксидный прямого накала	Стекланный изогнутый	Электрометрия	10^{-14}	Филипс и Мэллард	Рис. 3 см. ¹⁴
D96475	Двухсетка	Оксидный подогревный	Стекланный юбчатый	Электрометрия	10^{-15}	Вестерн Электрик	Рис. 3 см. ⁴
FP54 UX54	"	Вольфрам торированный	Кварцевый прямой с защитной трубкой	"	10^{-15}	Дженерал Электрик и Мазда	Рис. 5 см. ¹¹

RH505	Триод	То же	Стекло и сложный	Электрометрия и дозиметрия	10^{-15}	Вестингауз	
RH503	.	.	То же	То же	10^{-12}	.	
RH507	10^{-12}	.	см. ¹³
A'54A	.	Оксидный прямого накала	Стекло и кварцевые бусы	Дозиметрия	10^{-13}	RCA	Рис. 26 см. ¹²
VX41	Двухсетка субминиатюрная	Оксидный прямого накала	Стекло	Портативные дозиметры и электрометры	10^{-14}	Викторин	см. ⁹
CK570AX	Триод суб- миниатюрный	То же	То же	То же	$5 \cdot 10^{-13}$	Райгеон	
СИ2	Двухсетка	Вольфрам торированный	Стекло изогнутый	Электрометры	10^{-13}	СССР	Рис. 10
ЭМ1	.	То же	Кварцевый юбчатый	.	10^{-14}	.	
ЭМ2	Двухсетка малогабаритная	.	Кварцевый прямой	Портативные электрометры	10^{-13}	.	

недавно стали применяться специально разработанные двойные тетроды (см. ^{6,7,8}), используемые в балансных (мостовых) схемах и позволяющие достигнуть, как мы увидим в § 3, чрезвычайно высокой стабильности работы электрометрических схем при большой их чувствительности.

Основные конструктивные данные главнейших типов электрометрических ламп приведены в таблице I. Параметры тетродов и триодов даны соответственно в таблицах II и III. Помимо нормальных

Таблица II

Основные параметры электрометрических ламп (тетродов)

Тип	U_f (в в)	I_f (в ма)	U_a (в в)	U_{g_1} (в в)	U_{g_2} (в в)	I_a (в ма)	S (в мка/в)	I_{g_2} (в а)	τ	C_{g_2} (в мккф)	R_l (в ом)	Высота (в мм)	Диаметр (в мм)
Лампа Хауссера 3	—	8	8	—4	300	300	10^{-12}	—	—	—	—	~170	~50
T113 . .	3	100	10	10	—3	—	180	10^{-13}	2,5	—	13 800	—	—
T114 . .	2	90	6	4	—4	—	55	10^{-14}	1,0	—	18 000	—	—
T115 . .	2,8	500	12	12	—3	—	200	10^{-11}	2,5	—	12 500	—	—
D96475 .	1,0	270	4	4	—3	—	40	10^{-15}	—	—	—	155	50
FP54 } UX54 }	2,5	90	6	4	—4	40	$25 \cdot 10^{-15}$	1	~6	—	40 000	160	40
VX41 .	1,25	10	4,5	4,5	—3	<250	$20 \cdot 10^{-15}$	1	—	—	50 000	~40	~10
СИ2 . .	3	110	10	6	—4	500	300	10^{-13}	4,5	~3	15 000	150	50
ЭМ1 .	3	110	10	6	—4	300	55	< 10^{-14}	1,65	~3	30 000	160	52
ЭМ2 .	2	80	10	6	—4	300	55	10^{-13}	1,65	~2,5	30 000	80	30

режимов, рекомендуемых для отдельных типов ламп, в таблице IV приведены примеры специальных режимов с сильно пониженными рабочими напряжениями и температурами катода, позволяющих значительно снизить предельные доступные измерению значения токов.

Как легко можно видеть из таблиц, наибольшей чувствительности электрических схем удастся достигнуть с помощью тетродов. Однако очень часто нужны схемы менее чувствительные, а именно, на диапазон токов от 10^{-9} до 10^{-12} — 10^{-18} а, но более дешёвые, простые в работе и более устойчивые механически при работе в переносных схемах. Для этой цели с успехом могут применяться как специальные триоды, так, в отдельных случаях, и некоторые типы обычных электронных ламп. Однако в последнем случае часто приходится

Таблица III

Основные параметры электрометрических триодов

Тип	U_f (в в)	I_f (в ма)	U_a (в в)	U_g (в в)	I_a (в мка)	S (в мка/в)	I_g (в а)	τ	C_g (в мкф)	R_i (в омат)	Высота (в мм)	Диаметр (в мм)
A154A	1—1,25	170—195	4,75	—6	350	50—60	$2 \cdot 10^{-14}$	—	—	—	120	~40
4060	0,56	1100	4	—4,5	50	30	$2 \cdot 10^{-15}$	0,5—1,0	—	~30 000	142	58
RH505	2,0	250	6	—3	300	75	10^{-15}	1,0	3	7 500	160	52
RH506	2,5	250	6	—3	400	90	10^{-12}	0,8	4	8 900	127	40
RH507	2,0	60	6	—3	200	60	$2 \cdot 10^{-12}$	0,8	4	13 300	127	40
CK570 AX	0,625	20	12	—1	223	125	$< 5 \cdot 10^{-13}$	1,5	—	6 000	~40	~10

Таблица IV

Примеры рабочих режимов электрометрических ламп, позволяющих снизить предельные доступные измерению токи

	FP54		A154A	
U_f (в в)	2,5	1,2	1,25	1,0
U_a (в в)	8	6	4,75	3,2
U_g катодн. (в в)	6	3	—	—
U_g управ. (в в)	—4	—6	—6	—5
I_g управ. (в а)	$< 5 \cdot 10^{-15}$	$2 \cdot 10^{-17}$	—	—
R_{gi} рабоч. (в омат)	10^{14}	10^{18}	10^{14}	$5 \cdot 10^{14}$
S (в мка/в)	70	0,05	50—60	45
Чувствительность прибора в анод- ной цепи в а/мм	10^{-10}	10^{-10}	Микроамперметр щитовой	
I_a (в мка)	—	—	350	100

специально отбирать единичные экземпляры ламп, обладающие по возможности меньшей утечкой между электродами.

В связи с широким применением лёгких переносных электрометрических схем, а также портативных дозиметров различных излучений, разработаны специальные типы малогабаритных и даже субминиатюрных электрометрических ламп, обладающих, помимо малых

габаритных размеров, чрезвычайно малым потреблением тока на накал катода, допускающим применение для их питания миниатюрных батарей.

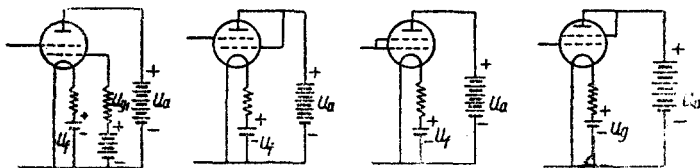


Рис. 9. Схемы включения электрометрического тетрода.

Так, например, субминиатюрная лампа типа VX41 (см.⁹) требует всего лишь мощности в 13 милливатт для накала катода. Катод этой лампы — оксидный с керном из нихромовой проволоки диаметром 10 микрон — обладает током накала всего лишь в 10 ма. Несмотря на малые размеры и вывод управляющей сетки в один конец баллона с остальными электродами, эта лампа обладает сеточным током, не превышающим 10^{-14} а, что достигается покрытием баллона лампы возле места запрессовки выводов тонкой плёнкой кремне-органического соединения. В случае загрязнения поверхность баллона такой лампы достаточно промыть чистым спиртом, не растворяющим кремне-органическую плёнку, но удаляющим загрязнения; затем после промывки дистиллированной водой лампу необходимо прогреть в сушильном шкафу при температуре порядка 100°C .

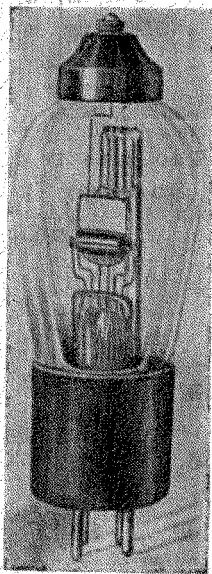


Рис. 10. Лампа типа СИ2.

Следует, наконец, отметить, что благодаря одинаковым условиям изоляции выводов всех электродов (или, что достаточно, обеих сеток) лампа VX41 позволяет использование её в различных схемах включения, а именно (рис. 9): в качестве электрометрического тетрода, обратного триода и триодов с большим и малым коэффициентами усиления. Выбор той или иной схемы зависит от её применения и желаемого диапазона измеряемых токов.

3. СТАБИЛЬНОСТЬ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ ЛАМП И СПОСОБЫ ЕЁ ПОВЫШЕНИЯ

Основными причинами недостаточной стабильности работы ламповых электрометрических схем являются:

1. Нестабильность элементов схемы и главным образом сопротивлений (особенно высокоомных) и разного рода контактов и соединений.

2. Нестабильность изоляции отдельных элементов схемы и, в частности, лампы.
3. Наличие влияний посторонних электрических и магнитных полей.
4. Нестабильность источников питания.
5. Нестабильность эмиссии катодов электрометрических ламп.
6. Недостаточная механическая прочность и жёсткость конструкции отдельных типов ламп.

Рассмотрение первых четырёх причин не входит в задачу настоящего обзора, и здесь мы ограничимся лишь отдельными замечаниями. В частности, для обеспечения устойчивости различного рода контактов и соединений в электрометрической схеме их необходимо тщательно пропаивать, не допуская ни в коем случае ни скользящих контактов, ни поджигания проводов под клеммы.

Вторая и третья причины в значительной мере зависят от тщательности экранировки как самой электрометрической лампы, так и всей схемы в целом от влияния внешних полей и отдельных элементов схемы друг от друга, а также от чистоты изолирующих деталей схемы и степени влажности окружающего их воздуха. В частности, камеру, в которой помещается электрометрическая лампа, служащую одновременно электромагнитным экраном и защитой от воздействия внешнего света, рекомендуется осушать, помещая в ней сосуд с хлористым кальцием или, лучше, пятиокисью фосфора. Ряд замечаний, сделанных ранее по поводу улучшения изоляции управляющей сетки лампы, может быть использован и при конструировании схемы. Хорошими материалами при изготовлении изоляторов для крепления ответственных деталей схемы, требующих хорошей изоляции, и втулок для вводов в камеру с лампой могут служить кварц и особенно янтарь.

Недостаточная стабильность источников питания в значительной мере компенсируется применением, например, аккумуляторных батарей с возможно большим запасом ёмкости и разрядного тока и достаточно длительной работой схемы во включённом состоянии (до нескольких десятков часов) перед производством измерений, с целью достижения стабильности напряжений батарей. Кроме того, колебания напряжений источников питания хорошо компенсируются применением двухламповых балансных схем. Однако балансные схемы не устраняют влияния колебаний эмиссии катода, так как эти колебания различны у обеих ламп, работающих в схеме. Как показали обстоятельные исследования Лаферти и Кингдона⁶, колебания нулевого положения гальванометра в выходной цепи электрометрической схемы могут быть двух родов, а именно: относительно быстрые колебания «нуля» и сравнительно медленное его отклонение, чаще всего в одну сторону (дрейф). Основной причиной этого рода нестабильности работы схемы, и в особенности дрейфа, является непрерывно продолжающееся дополнительное активирование холодных концов катода во время его работы. Увеличение продолжи-

тельности активирования катода (в 5 раз) значительно снизило дрейф. Быстрые колебания «нуля» удалось устранить путём экранировки

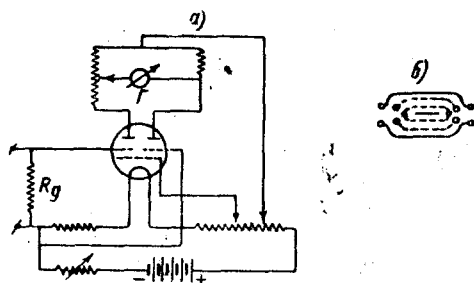


Рис. 11. Принципиальная схема включения и конструкция электродов двойного электрометрического тетрода.

холодных концов нити, когда анодный ток лампы получался лишь с хорошо активированных горячих центральных её участков. Замена

Таблица V
Сравнение стабильности работы различных ламп

Тип лампы	Ток, потребляемый катодом (в $м\alpha$)	Чувствительность (в $м\mu/\nu$)	Максим. отклонения «нуля» (в $м\mu$ шкалы за 30 мин.)	Характер колебаний «нуля»
Нормальная FP54	90	110 000	65	Быстрые колебания и медленный дрейф
FP54 с пятикратной продолжительностью активирования	90	135 000	16	Быстрые колебания
FP54 с экранированными концами катода	85	125 000	34	Медленный дрейф
FP54 с оксидным катодом	120	160 000	13	Быстрые колебания
Сдвоенная лампа с торированным катодом	90	56 000	11	Колебания и дрейф
То же с оксидным катодом	120	70 000	3	Незначительные быстрые колебания

торированного вольфрама оксидной нитью почти полностью устраняет дрейф, но вызывает значительные быстрые колебания нуля. Результаты всех этих опытов приведены в таблице V. Все эти колебания

не устраняются работой двух ламп в балансной схеме. Поэтому для работы в таких схемах была предложена конструкция сдвоенной электрометрической лампы (рис. 11), в которой катод и противозарядная катодная сетка были взяты теми же, что и у лампы типа FP54, а две управляющие сетки и два анода, являющиеся половинами сетки и анода этой же лампы, расположены симметрично по обе стороны от катода. Хотя чувствительность балансной схемы, работающей с такой лампой, снижается вчетверо по сравнению с одноламповой схемой на обычной лампе типа FP54 (вдвое — благодаря применению балансной схемы, и вдвое снижаются анодный ток и крутизна характеристики), всё же стабильность работы схемы с такой лампой, как это видно из той же таблицы V, значительно улучшается. Это объясняется тем обстоятельством, что благодаря влиянию пространственного заряда колебания эмиссии катода вызывают одинаковые колебания анодных токов обеих половин лампы, взаимно компенсирующиеся при её работе в балансной схеме. Подобная лампа известна под названием «FP54-split» (расщеплённой FP54); аналогичны ей лампы: GL5674, по внешнему виду схожая с обычной лампой FP54, так как хорошо изолирована у неё лишь одна из управляющих сеток, и лампа типа DBM2 (рис. 12). Так как в случае V-образной нити лампы типа FP54 трудно достигнуть полной симметрии обеих половин сдвоенной лампы, то в лампе типа DBM2 применена прямая нить (см. 7.⁸). Ещё большая симметричность получена в сдвоенной лампе типа DBM6A с оксидным подогревным катодом (см. 8). Основные параметры сдвоенных электрометрических ламп приведены в таблице VI. Полученные с этими лампами стабильности работы балансной схемы, выраженные в милливольтгах на 1% изменения тока накала, наглядно характеризуются следующими результатами: в то время как обычная лампа типа FP54 даёт в простой одноламповой схеме стабильность 50—100 мв, лампа типа сдвоенной FP54 даёт 10—20 мв, а лампа типа DBM6A — всего лишь 2—5 мв. В специальной же схеме, компенсирующей влияние колебаний напряжений питания электродов, эту величину удалось с лампой DBM6A довести до 0,1 мв (см. 8).

Недостаточная механическая прочность и жёсткость конструкции многих электрометрических ламп приводит в случае переносных установок или при наличии вибраций в стационарных установках, вызываемых, например, присутствием моторов, к появлению так

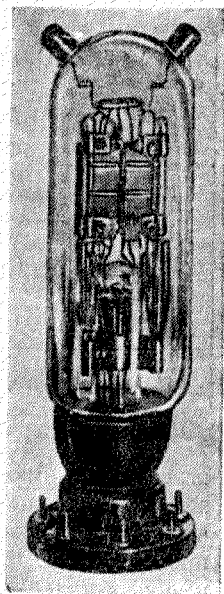


Рис. 12. Сдвоенный электрометрический тетрод.

Таблица VI

Основные параметры двойных электрометрических ламп

Тип	Катод	U_f (в в)	I_f (в а)	U_a (в в)	U_{g1} (в в)	U_{g2} (в в)	I_{a0} (в мка)	I_a (в мка)	I_{g2} (в а)	S (в мка/в)	C_{g2} (в пк/в)	Фирма
FP54-split с оксидным катодом GL5674	Оксидный	1,5	0,12	6 4	— 4	—	60	$5 \cdot 10^{-16}$	25	6,5		Дженерал Электрик
	Торирован- ный	3,8	0,09	6 5	— 3,5	0,1	—	$5 \cdot 10^{-15}$	20	6,8	.	
DBM2	Торирован- ный прямой	2	0,09	8 6	— 3	0,3	—	$< 10^{-13}$	25	7,0		Ферранти
DBM6A	Оксидный подогрев- ный	4	0,24	8 6	— 3	0,3	—	$< 10^{-12}$	40	—		.

Примечание. Параметры даны для каждой системы отдельно

называемого микрофонного эффекта. Для избежания микрофонного эффекта панели ламп обычно можно укреплять на резиновых, губчатых прокладках и соединении их со схемой производить гибкими проводниками. Благодаря малым габаритам как ламп в целом, так и их деталей лампы субминиатюрных и малогабаритных типов обладают наиболее прочной и жесткой конструкцией и менее всего подвержены вибрациям, вызывающим микрофонный эффект, а поэтому они применимы в портативных приборах.

ПРИМЕНЕНИЕ СТАНДАРТНЫХ МАССОВЫХ ТИПОВ ЭЛЕКТРОННЫХ ЛАМП В ЭЛЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ СХЕМАХ

В случае нормальных режимов работы большинство стандартных приёмноусилительных ламп обладает сеточными токами порядка 10^{-6} — 10^{-7} , реже 10^{-8} а. Заставляя их работать при пониженных температурах катода и при низких потенциалах всех прочих электродов, можно снизить эти величины до 10^{-9} — 10^{-10} а, и лишь у специально отбираемых экземпляров некоторых типов ламп удастся при этом получить ещё несколько меньшие значения сеточных токов. В большинстве случаев причиной этого является то, что, как правило, лучшей изоляцией обладает управляющая сетка, ближайшая к катоду, и редко встречаются типы ламп, пригодные для хорошего их исполь-

зования в специальных схемах электрометрического тетрода или обратного триода. В этом отношении более пригодны для работы многие типы бесцокольных ламп, например, из серий миниатюрных и субминиатюрных ламп или ламп типа «жолудь». У ламп этих типов все электроды находятся примерно в одинаково хороших условиях изоляции и их легче удаётся использовать в низковольтных режимах электрометрических схем, получая при этом гораздо меньшие значения сеточных токов, достигающие 10^{-12} — 10^{-13} , а иногда даже 10^{-14} а. Так, например, лампа «жолудь» типа 959, являющаяся прямонакальным пентодом, будучи включена по схеме, приведённой на рис. 13, может дать в режиме электрометра типа обратного триода сеточный ток порядка 10^{-12} — 10^{-13} а, если, конечно, баллон лампы покрыть плёнкой церезина или кремне-органического соединения, а накал нити производить током порядка 42—44 ма вместо нормальных 50 ма. В таблице VII приведены некоторые примеры использования массовых

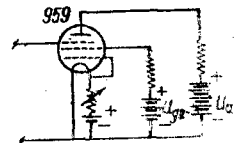


Рис. 13. Схема использования пентода — «жолудя» типа 959 — в качестве электрометрической лампы.

Таблица VII

Режимы работы массовых типов электронных ламп в электрометрических схемах

Тип лампы	UX 222 (тетрод)			959 (пентод)	
	Нормальный	В схеме электрометра		Нормальный	В схеме электрометра
U_f (в в)	3,3	1,25	1,20	1,25	—
I_f (в ма)	132	—	—	50	42—44
U_a (в в)	135	1,5	3,0	135	6
U_{g1} (в в)	—1,5	управл.	усилитель со свободной сеткой	—3	соединена с катодом
U_{g2} (в в)	67,5	12	12,5	67,5	12
U_{g3} (в в)	—	—	—	соединена с катодом	управляющая (см. рис. 13)
I_a	3,7 ма	0,07 мка	2,6 мка	1,7 ма	—
I_g управл. (в а)	$<10^{-6}$	$\sim 10^{-13}$	$\sim 10^{-10}$	$<10^{-6}$	10^{-12} — 10^{-13}
R_g (в омах)	—	10^{14}	10^{11}	—	10^{13} — 10^{14}
Чувствительность прибора в анодной цепи в а/мм	—	$3 \cdot 10^{-10}$	10^{-10}	—	10^{-9} — 10^{-10}

типов электронных ламп в электрометрических схемах. При этом в случае пентода типа UX222 входное сопротивление порядка 10^{14} ом обуславливается почти исключительно током положительных ионов с катода и, в меньшей степени, утечкой по изоляции. Причиной этого является использование в качестве управляющей первой сетки, вывод которой сделан на куполе баллона лампы.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. K. W. Hausser, R. Jaeger, W. Wahle, Wiss. Veröffentl. a. d. Siemenskonzern, 2, 325 (1922).
2. А. А. Шапошников, Электронные и ионные приборы, 1938 г., гл. VIII, § 13, стр. 293 — 294.
3. Н. Д. Моргулис, Журн. техн. физ., 1, 51 (1931); 3, 1276 (1933).
4. D. B. Penick, Bell Laboratory Record, 14, 74 (1935).
5. К. А. Андрианов и О. Грибарова, Кремне-органические соединения. Ч. II. ЦБТИЭ, 1946 г., F. J. Norton, Gen. El. Rev., 47, 6 (1944).
6. J. M. Lafferty a. K. H. Kingdon, J. Appl. Phys., 17, 894 (1946).
7. J. A. Darbyshire, Electronics Engineering, 18, 277 (1946).
8. G. C. Little, Electronics Engineering, 19, 365 (1947).
9. C. D. Gould, Electronics, 20, 106 (1947).
10. H. Daene u. W. Husmann, A. E. G. Mitteilungen, 1937, № 10.
11. G. F. Metcalf a. B. J. Thompson, Phys. Rev., 36, 1489 (1930).
12. K. Henney, Electron Tubes in Industry, 2-е изд. 1937 г.
13. Д. Г. Финк, Электроника, 1941, стр. 233.
14. J. Schintlmeister, Die Elektronenröhre als physikalisches Messgerät, стр. 24—31 (1942).
15. P. A. Macdonald, Physics, 7, 265 (1936).