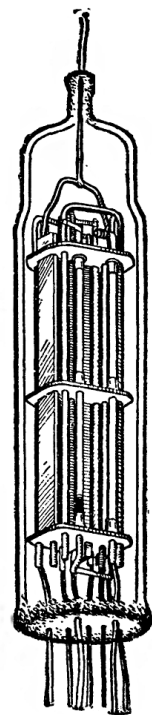


СТЕРЖНЕВЫЕ ЛАМПЫ

ПРИНЦИП РАБОТЫ И КОНСТРУКЦИЯ

В. Суханов, А. Киреев



Несколько лет назад, когда появились полупроводниковые приборы, некоторые радиоспециалисты склонны были сразу же «похоронить» электронную лампу. У лампы, которая на протяжении десятков лет приносила радиоэлектронике один триумф за другим, вдруг обнаружилось множество недостатков, таких, как «низкая экономичность», «малая механическая прочность», «недолговечность», «непригодность для автоматического производства» и др.

Электронная лампа по сравнению с полупроводниковым триодом несомненно имеет ряд недостатков, но ведь общеизвестны и замечательные

достоинства лампы, благодаря которым во многих областях техники она остается и, несомненно, будет оставаться основным прибором для усиления и преобразования электрических сигналов.

Кроме того, электровакуумная техника не стоит на месте и создает электронные приборы не только со все более высокими параметрами, но и обладающие рядом новых принципиальных особенностей.

К числу таких приборов можно отнести и описываемые ниже стержневые лампы. Основная особенность усилительных стержневых ламп — это отсутствие сеток для формиро-

вания электронного потока и управления им: вместо сеток используются жесткие металлические стержни определенным образом расположенные между анодом и катодом.

К сожалению, приходится отметить, что вопрос о масштабах применения, а следовательно, и производства стержневых ламп решается недостаточно оперативно, несмотря на то, что эти лампы существуют уже много лет и получили высокую оценку.

В одном из ближайших номеров журнала редакция предполагает опубликовать статью об особенностях применения стержневых ламп.

Отечественной электровакуумной промышленностью разработаны новые, сверхминиатюрные радиолампы прямого накала с электронно-оптической фокусировкой или, как их принято называть, лампы со стержневыми электродами. По сравнению с обычными сеточными (такими, как 2Ж27Л, 2Ж27П и др.) эти радиолампы обладают рядом ценных преимуществ, позволяющих конструировать отдельные узлы и аппаратуру в целом с учетом современных требований по уменьшению размеров и веса при одновременном улучшении ее основных технических характеристик (стабильность частоты, чувствительность и избирательность приемных устройств, экономичность в расходовании энергии и надежность, работа в более высокочастотном участке УКВ диапазона).

Радиолампы с электронно-оптической фокусировкой имеют совершенно иную, отличную от сеточных ламп, конструкцию, а физические процессы в них имеют некоторые специфические особенности, относящиеся главным образом к управлению электронным потоком.

На рис. 1 представлен схематичный разрез пентода прямого накала обычной конструкции. Стрелками на рисунке показаны траектории движения электронов с нити накаливания K (катода) на анод A . Часть электронов, вылетевших с участков катода, затененных витками управляющей сетки при отрицательном потенциале на ней, возвращается обратно на катод, в область пространственного заряда, а при положительном потенциале — создает ток управляющей сетки. Часть электронов, вылетевших с участков катода, затененных витками экранирующей и защитной сеток, бесполезно расходуется на образование токов экранирующей I_{g2} и защитной I_{g3} сеток. Остальные электроны достигают анода, образуя анодный ток лампы I_a .

Витки сеток, обладая различными потенциалами по отношению к катоду, как бы формируют поток электронов,

направляющихся между сетками к аноду. Часть катода с находящимися над ним витками сеток и участком анода, куда попадают электроны, вылетевшие с рассматриваемой части катода, можно представить в виде элементарной лампы.

Рассмотрение работы такой элементарной лампы привело к мысли о возможности управления потоком электронов не только путем применения спиральных навитых сеток, но и с помощью размещенных параллельно друг другу проволочек или стержней. В самом деле, если поток электронов с элементарного участка катода ограничить с двух сторон не соседними витками сеток, а попарно размещенными параллельными стержнями, и в конце пути электронов поместить анод в виде одиночного стержня, подав на эти стержни (g_1, g_2, g_3, A) соответствующие напряжения ($E_{g1}, E_{g2}, E_{g3}, E_a$), то мы получим полную аналогию работы элементарного участка сеточной лампы. Разместив теперь параллельно стержням нить накаливания K (вместо элементарного участка катода), придем к конструкции лампы прямого накала со стержневыми электродами, схематический разрез которой представлен на рис. 2.

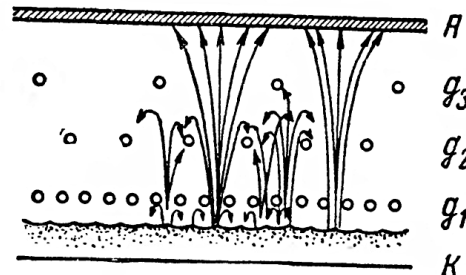


Рис. 1. Распределение токов в лампе с навитыми сетками.

Функции, выполняемые одноименными электродами, аналогичны, однако принцип работы радиолампы со стержневыми электродами существенно отличается от принципа работы лампы с навитыми сетками.

На рис. 3, а показан график напряженности электрического поля между электродами радиолампы при различных напряжениях на управляющем электроде, а на рисунках 3, б и 3, в показано примерное расположение линий равного потенциала, соответствующих распределению электрического поля, для двух значений напряжения на управляющих электродах. Поскольку стерж-

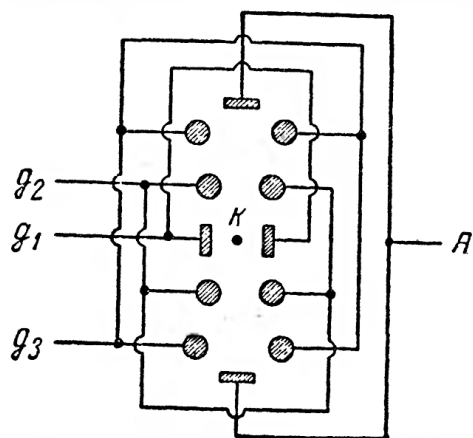


Рис. 2. Расположение электродов в лампах стержневой конструкции (поперечный разрез).

невая лампа конструктивно симметрична относительно катода и стержней управляющей «сетки», на рис. 3, б и 3, в показана только правая половина лампы.

Рассматривая расположение эквипотенциальных линий поля в радиолампе со стержневыми электродами, приходим к следующему выводу. Линии поля образуют электронные линзы — одну фокусирующую, расположенную в районе управляющих и экранирующих стержней, и другую — собирающую, с размещением ее в районе защитных стержней и анода. На фокусное расстояние фокусирующей линзы большое влияние оказывает потенциал стержней управляющих электродов.

При отрицательном потенциале на этих стержнях кривизна линий поля со стороны стержней управляющего электрода уменьшается линии поля приближаются к стержням экранирующего электрода и удаляются от стержней управляющего электрода.

С другой стороны при отрицательном потенциале на управляющем электроде электронное облачко, образованное вылетевшими с катода электронами, прижимается к нити со стороны управляющих электродов (рис. 3, в). Пространственный заряд вокруг нити принимает форму сжатого эллипса (рис. 4). В результате этого излучающая поверхность пространственного заряда уменьшается, благодаря чему уменьшается и катодный ток лампы.

При увеличении отрицательного потенциала на управляющем электроде излучающая поверхность пространственного заряда становится еще меньше и, наконец, при некотором значении отрицательного потенциала начинает уменьшаться действующая поверхность самого катода. При дальнейшем увеличении отрицательного потенциала на управляющих стержнях действующая поверхность катода уменьшается настолько, что катодный ток лампы совершенно прекращается.

При положительном напряжении на управляющих электродах кривизна эквипотенциальных линий поля экранирующих электродов увеличивается. Одновременно с этим увеличивается поверхность излучения пространственного заряда. Оба эти условия способствуют увеличению катодного тока лампы.

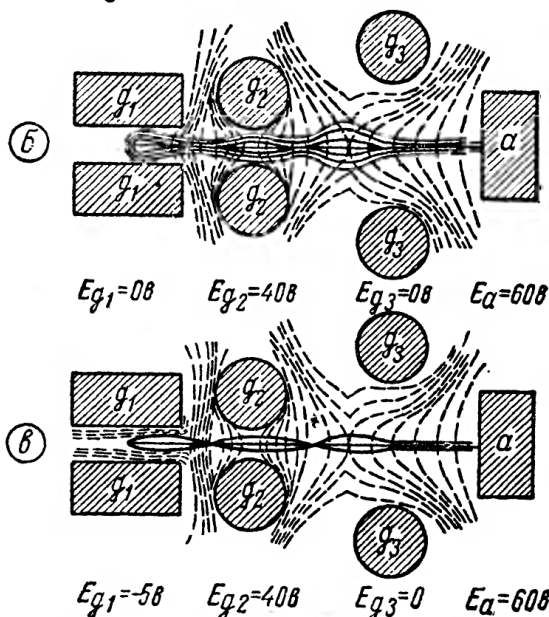
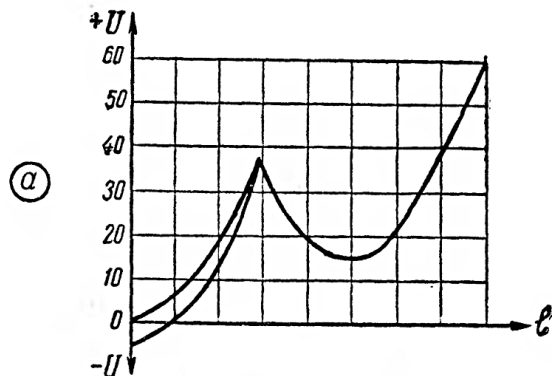


Рис. 3. Расположение эквипотенциальных линий и график напряженности между электродами в радиолампах стержневой конструкции.

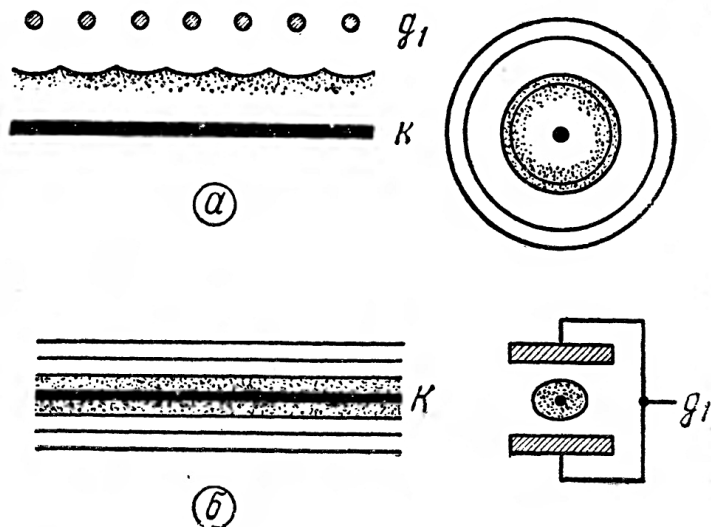


Рис. 4. Схематичное изображение пространственного заряда: а) в лампах с навитыми сетками; б) в лампах стержневой конструкции.

Дальнейшее увеличение положительного потенциала на управляющих электродах вызывает резкое перераспределение электронного потока — доля анодного тока уменьшается, а за счет этого возрастают токи управляющих и экранирующих электродов.

При некотором небольшом положительном потенциале на управляющих электродах рост анодного тока совершенно прекращается.

Таким образом, в отличие от сеточных ламп, в которых величину катодного тока определяет только потенциал электродов, действующий на пространственный заряд, управление электронным потоком в лампах со стержневыми электродами осуществляется иначе: воздействием потенциала стержней управляющего электрода на поверхность излучения области пространственного заряда. Кроме того, катодный ток зависит от действующей поверхности самого катода и фокусного расстояния линз электронно-оптической системы. При этом электронный поток большой плотности с рабочей поверхности катода направляется к аноду между стержнями экранирующего и защитного электродов. Благодаря такой конструкции электродов и такому способу управления электронным потоком, в стержневых радиолампах эффективно используется почти весь катодный ток лампы и создаются условия для повышения экономичности ламп по мощности, затрачиваемой на накаливание нити.

Эффективность использования катодного тока в электронных лампах оценивается отношением анодного тока I_a к катодному току I_k . Это отношение у обычных сеточных ламп находится в пределах 0,65—0,85. В лампах со стержневыми электродами оно достигает 0,98, то есть практически весь катодный ток в новых лампах используется для получения полезного эффекта. Высокая эффективность использования катодного тока дала возможность в приемно-усилительных стержневых лампах снизить (для получения одинаковых с сеточными лампами параметров по крутизне характеристики и току анода) примерно вдвое мощность, расходуемую на накал. Для мало-мощных генераторных ламп экономия по мощности накала получается еще большей.

Электронно-оптическая фокусировка электронного потока, примененная в стержневых лампах, позволила упорядочить движение электронов в лампе и уменьшить благодаря этому их боковое рассеяние. Вследствие этого ток экранирующих электродов в стержневых лампах существенно (в 5—7 раз) уменьшен по сравнению с сеточными лампами. Величина этого тока составляет 5—10% от тока анода, в то время как в сеточных лампах с обычным распределением электронного потока ток экранирующей сетки достигает 25—30% от анодного тока. Следовательно, стержневые радиолампы экономичны не только по расходу мощности в цепях накала, но и по цепям высокого напряжения.

Вместе с тем необходимо отметить, что несмотря на очень малые значения токов экранных сеток, разброс величин этих токов велик. Так, для лампы 1Ж24Б максимальная величина тока экранной сетки не превышает 0,09 ма, в то же время многие лампы имеют ток около 0,02 ма и менее. Поэтому экранные сетки стержневых радиоламп в аппаратуре рекомендуется питать от делителей напряжения. Такая схема питания позволяет стабилизировать режим лампы и особенно целесообразна при низких значениях напряжения на экранирующих стержнях (при $E_{g2} \leq \frac{E_a}{2}$), которые характерны для каскадов усиления напряжения.

При напряжении на экранирующих стержнях, близком к анодному, крутизна характеристики лампы имеет максимальное значение и изменяется незначительно при изменении анодно-экранный напряжения. В этих случаях допустима подача напряжения на экранирующие электроды через развязывающие сопротивления небольшой величины (5—10 ком).

Стержневые лампы хорошо работают на частотах УКВ диапазона. В этом они выгодно отличаются от сеточных ламп. Трудности в повышении высокочастотных свойств сеточных ламп в известной мере объясняются хаотично-

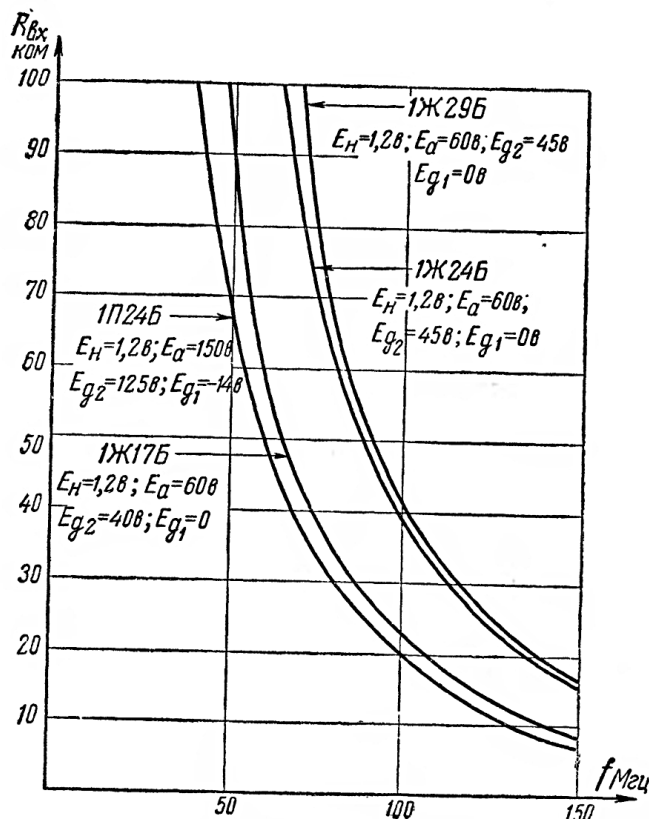


Рис. 5. Зависимость входного сопротивления стержневых ламп от частоты.

стью движения электронов на пути с катода к аноду при прохождении через искусственные преграды в виде произвольно-размещенных на их пути витков управляющей, экранирующей и защитной сеток. Траектории движения электронов искривляются, пути пробега удлиняются и становятся разными для одновременно вылетевших с катода электронов. Это обстоятельство существенно влияет на величину входного сопротивления ламп. Благодаря упорядочению электронного потока входное сопротивление радиоламп со стержневыми электродами в несколько раз выше по сравнению с сеточными лампами.

Частотная зависимость входного сопротивления приведена на рис. 5. Для стержневых радиоламп, так же как и для сеточных, справедлива квадратичная зависимость входного сопротивления от частоты:

$$R_{вх}^1 = \frac{R_{вх}}{\left(\frac{f'}{f}\right)^2},$$

где $R_{вх}$ — входное сопротивление лампы на частоте f (берется из справочных таблиц), f' — частота, для которой определяется $R_{вх}$.

Входное сопротивление ламп с двумя нитями накала (1Ж29Б, 1П24Б) при питании напряжением 2,4 в оказывается почти вдвое ниже, чем в случае питания катода напряжением 1,2 в. Это объясняется увеличением длины нити катода. Для повышения входного сопротивления этих ламп среднюю точку нити накала следует заземлять по высокой частоте при помощи блокировочных конденсаторов.

Эквивалентное сопротивление шумов приемно-усилительных ламп со стержневыми электродами практически в 1,5—2,5 раза меньше, чем сеточных аналогичного назначения. Это объясняется тем, что ток экранирующих электродов этих ламп составляет весьма малую часть анодного тока. Эквивалентное же сопротивление шумов пентода определяется формулой:

$$R_{ш} = \frac{I_a}{I_a + I_{g2}} \left[\frac{2,5}{S} + \frac{20I_{g2}}{S^2} \right],$$

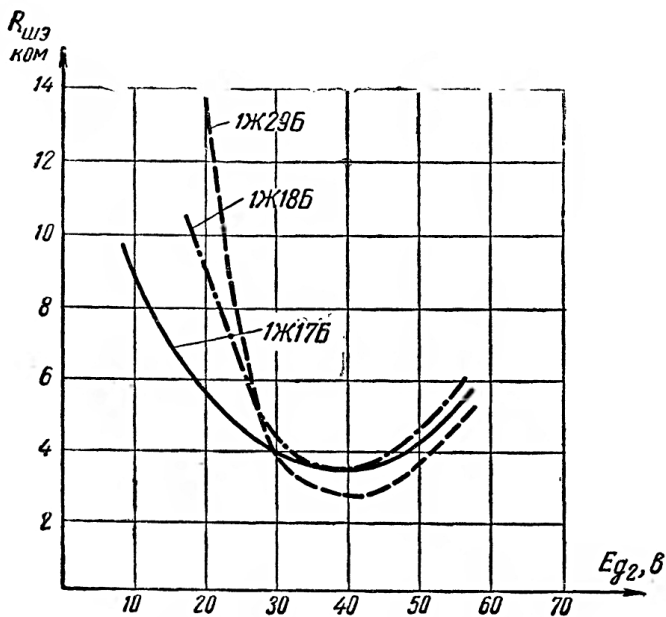


Рис. 6. Зависимость эквивалентного сопротивления внутриламповых шумов от напряжения на экранирующих стержнях.

из которой следует, что при уменьшении тока экранирующих электродов второе слагаемое в квадратных скобках уменьшается быстрее, чем отношение $\frac{I_a}{I_a + I_{g2}}$, характеризующее токораспределение в лампах. Поэтому уменьшение тока экранирующих электродов приводит к снижению внутриламповых шумов. Минимальные шумы в радиолампах со стержневыми электродами возникают тогда, когда напряжение на экранирующих электродах равно 30—50 в при анодном напряжении порядка 60—80 в и напряжении на управляющих электродах — от 0 до —0,5 в.

Малая величина эквивалентного сопротивления шума в радиолампах со стержневыми электродами и большое входное сопротивление их позволяет почти в полтора раза, по сравнению с обычными лампами, повысить чувствительность приемного устройства в тех случаях, когда эти лампы применяют на входе приемника.

В новых радиолампах междуэлектродные емкости ($C_{вх}$, $C_{вых}$, C_{ag} , $C_{ак}$) меньше, чем в лампах с навитыми сетками. Особенно заметно уменьшены выходные $C_{вых}$ и проходная C_{ag} , емкости, что благоприятно сказывается при использовании этих ламп на предельных частотах УКВ диапазона. Большое входное сопротивление, малые величины междуэлектродных емкостей позволили расширить границу частотного диапазона стержневых ламп примерно вдвое по сравнению с сеточными лампами.

Благодаря электронно-оптической фокусировке потока электронов с катода на анод и вследствие этого малым токам экранирующих электродов, анодные характеристики новых ламп имеют вид ломаной кривой с весьма малым наклоном горизонтальной части (см. анодные характеристики на 3 стр. обложки). Перегиб анодных характеристик у ламп со стержневыми электродами происходит при небольших анодных напряжениях — для большинства ламп около 15—25 в. Такая форма характеристик позволяет получать высокие КПД при использовании этих ламп в каскадах усиления мощности и в генераторах ВЧ колебаний. Методика расчета радиотехнических схем на лампах со стержневыми электродами оказывается вследствие этого более строгой и точной чем для сеточных ламп. Необходимо отметить, что для сеточных характеристик стержневых радиоламп характерно наличие перегиба в области небольших положительных напряжений на управляющих электродах, характеризующего перераспределение потока электронов между электродами. Для

приемно-усилительных ламп в рекомендуемых режимах этот перегиб начинается при 1,0—1,5 в. Вследствие близости к катоду и относительно большой поверхности управляющих стержней, при значительных положительных потенциалах на них строгая фокусировка электронного потока нарушается: наступает перераспределение электронного потока (растет ток управляющего электрода и лампы переходят в режим ограничения).

Для генераторной лампы 1П24Б мгновенное значение положительной амплитуды напряжения возбуждения не должно превышать 5—7 в. Следовательно, радиолампы со стержневыми электродами могут быть использованы для усиления и генерирования только при отрицательных напряжениях на управляющем электроде, и только при малых входных сигналах ($U_{вх} \leq 0,5$ в) допускается работа без начального сеточного смещения в режиме усиления напряжения.

На рис. 7 приведены внешний вид стеклянных баллонов стержневых радиоламп. Здесь же для сравнения показаны в масштабе близкие по параметрам и назначению прямонакальные сеточные лампы.

Выводы от электродов стержневых радиоламп выполнены из гибких платиновых проволочек, проходящих через плоскую стеклянную ножку. Анод выводится отдельно в купол баллона. Такое разделение выводов анода и управляющего электрода выполнено с целью уменьшения проходной емкости ламп. Применение плоской ножки (вместо гребешковой) дало возможность сократить высоту лампы, уменьшить индуктивность и емкость выводов.

Стержневые радиолампы предназначены для непосредственной впайки в схему без использования переходных панелей. Высокая механическая прочность стержневых радиоламп, продолжительный срок службы и малые размеры оправдывают такое конструктивное решение.

Большие допуски по напряжению накала позволяют осуществлять питание этих ламп от серебряно-цинковых аккумуляторов и сухих батарей, имеющих такой перепад напряжений (при отдаче максимальной емкости). Рабочие режимы ламп выбираются конструкторами радиоаппаратуры применительно к конкретной схеме, исходя из предельно-допустимых эксплуатационных режимов. Однако во всех случаях применения электронных ламп следует иметь в виду, что использование радиоламп в режимах, близких к предельно-допустимым, приводит к снижению надежности работы ламп. Для ламп со стержневыми электродами особенно опасным является режим, в котором

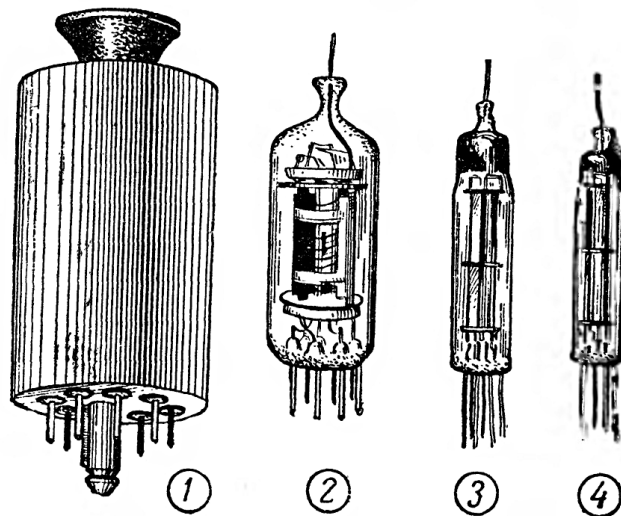


Рис. 7. Сравнительная величина ламп стержневой конструкции и ламп с навитыми сетками 1—2Ж27Л; 2 — 2Ж27П; 3—1П24Б; 4—1Ж29Б 1Ж17Б, 1Ж18Б, 1Ж24Б.

напряжение накала близко к минимально-допустимому, и режим максимально-допустимого использования ламп по току.

При необходимости использования стержневых радиоламп в триодном режиме обязательным условием является соединение вывода от защитных электродов с катодом лампы (или с корпусом устройства), в противном случае фокусировка электронного потока в лампах нарушается. По этой же причине не допускается подача положительного напряжения на стержни защитного электрода при пентодном включении ламп, как это иногда рекомендуется для некоторых типов сеточных ламп в генераторных режимах.

При конструировании узлов и блоков аппаратуры на

стержневых лампах необходимо избегать размещения этих ламп в магнитных полях (как постоянных, так и переменных). Несоблюдение этого условия может привести к полному нарушению работы устройства.

* * *

Рассмотренные особенности стержневых радиоламп показывают, что эти лампы при высокой экономичности обладают хорошими электрическими параметрами и улучшенными высокочастотными свойствами: низким уровнем внутриламповых шумов, высоким входным сопротивлением и малыми значениями междуэлектродных емкостей. Это позволяет эффективно использовать стержневые радиолампы на частотах до 250 Мгц.

ПАРАМЕТРЫ СТЕРЖНЕВЫХ ЛАМП

А. Азатьян, Н. Пароль

Стержневые приемно-усилительные лампы (1Ж17Б, 1Ж18Б, 1Ж29Б, 1П24Б) внешне выглядят почти так же, как и обычные сверхминиатюрные.

В большинстве ламп со стержневыми электродами применяются катоды, рассчитанные на напряжение 1,2 в. При напряжении накала 2,4 в лампах (1Ж29Б и 1П24Б) используются две идентичные системы электродов с одинарными нитями накала, которые могут включаться последовательно (2,4 в) или параллельно (1,2 в).

Значения основных электрических параметров стержневых ламп и их характеристики и цоколевка помещены на третьей странице обложки.

В таблице 1 приведены данные предельных режимов использования ламп.

В таблице 2 указаны значения отношений крутизны к анодному току $\frac{S}{I_a}$ крутизны к потребляемой лампой мощ-

ности $\frac{S}{P_e}$ и анодного тока к катодному $\frac{I_a}{I_k}$ для усилительных высокочастотных пентодов.

Для стержневых ламп характерны высокие значения коэффициентов токораспределения ($\frac{I_a}{I_k}$), что обусловлено малым током вторых электродов.

Анодные характеристики ламп отличаются весьма выгодной формой. Смена режимов токораспределения (перегиб характеристики) происходит при малых значениях анодных напряжений, находящихся в пределах 10—20 в. Это свойство стержневых ламп дает возможность использовать их при пониженных анодных напряжениях, без существенного снижения крутизны характеристики.

Жительных напряжений на управляющем электроде резко растут сеточные токи, так как этот электрод имеет сильно развитую поверхность и расположен в непосредственной близости от катода. Уже при нулевом напряжении на управляющем электроде ток может достигать 20 и более мка.

Благодаря малому уровню шумов, большому входному сопротивлению и малой проходной емкости стержневые лампы могут применяться на частотах, значительно превышающих 100 Мгц. Так, например, пентод 1Ж24Б на частоте 200 Мгц с контурами удовлетворительного качества дает возможность получить усиление по мощности в 8—10 раз.

Уменьшение уровня внутриламповых шумов в стержневых лампах в основном обусловлено малыми значениями токов вторых электродов («сеток»).

Предельно-допустимые режимы использования стержневых ламп

Таблица 1

Тип ламп	Минимальное напряжение накала, в	Максимальное напряжение накала, в	Анодное напряжение, в	Напряжение на втором электроде, в	Напряжение на первом электроде, в	Катодный ток, ма	Сопротивление в цепи первого электрода, Ом	Мощность рассеивания на аноде, вт	Мощность рассеивания на втором электроде, вт
1Ж17Б	1,08	1,32	90	60	0	5	1,0		
1Ж18Б	1,08	1,32	90	60	0	5	1,0		
1Ж24Б	1,05	1,32	120	90	—	1,4	2,2		
1Ж29Б	1,08/2,16	1,32/2,64	150	120	—	8	1,0	1,2	0,35
Для режима генерирования и усиления мощности в классе «В» 1П24Б	1,08/2,16	1,32/2,64	300	200	—	40	0,5	4	1,5
Для режима постоянного тока	1,08/2,16	1,32/2,64	300	200	—	25	0,5	2,75	1

Таблица 2

Тип лампы	$\frac{S}{I_a}$	$\frac{S}{P_{\Sigma}}$	$\frac{I_a}{I_k}$
1Ж17Б	0,70	7	0,91
1Ж18Б	0,71	8,4	0,92
1Ж24Б	0,82	10,8	0,96

Кроме того, такие характеристики позволяют получать в генераторных режимах значительные колебательные мощности при хороших КПД. Так, например, лампы 1Ж29Б и 1П24Б при использовании в классе «С» на частоте 45 Мгц отдают мощность 0,8 и 2,5—3 вт соответственно. При этом КПД по анодно-экраным цепям достигает 80%. Следует, однако, иметь в виду, что при заходе в область поло-

Интересно, что при уменьшении отрицательного напряжения на первом электроде (—0,5÷0 в) уровень шумов не увеличивается, так как практически не увеличивается ток второго электрода.

Описанные стержневые лампы могут найти широкое применение в экономичной батарейной аппаратуре.