

СТЕРЖНЕВЫЕ ЛАМПЫ

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

В. Суханов, А. Киреев

В седьмом номере нашего журнала было приведено описание конструкции и параметров сверхминиатюрных вакуумных радиоламп со стержневыми электродами. Благодаря особой конфигурации электродов стержневых ламп принцип работы их отличается от ламп с навитыми сетками, а своеобразная конструкция стержневых ламп позволяет выполнять их со сравнительно малыми междуэлектродными емкостями.

Эти лампы удобны в переносной батарейной аппаратуре ввиду их высокой экономичности, а также потому, что они способны выдерживать большие ударные нагрузки.

Преимущества стержневых ламп по сравнению с обычными сеточными лампами проявляются особенно ярко при использовании их в малогабаритной переносной батарейной аппаратуре, работающей на УКВ. В этой статье рассматриваются принципы построения различных элементов схем УКВ аппаратуры, выполненной на стержневых лампах. Однако из этого вовсе не следует, что стержневые лампы не могут быть использованы в аппаратуре, работающей на длинных и средних волнах и тем более на низкой частоте.

Усиление напряжения ВЧ

Для усиления напряжения высокой частоты в УКВ диапазоне одинаково пригодны все стержневые радиолампы. Однако в экономичной аппаратуре целесообразно применять лампы 1Ж17Б, 1Ж18Б и 1Ж24Б.

Основное требование к этим лампам при использовании их во входных каскадах приемных устройств — это минимальный уровень собственных шумов. Такой уровень шума приемно-усилительных стержневых радиоламп обычно наблюдается, когда лампы работают в режиме: $E_a = 60$ в, $E_{g2} = 35-45$ в и $E_{g1} = -0,5 \div 0$ в.

Для упрощения схемы смещение на лампы каскадов УВЧ при слабом сигнале, как правило, не подается (см. рис. 1). В этом случае применение ламп типа 1Ж17Б в режиме минимального шума невыгодно из-за сравнительно большого (порядка 2 ма) тока в цепи высокого напряжения. В результате на частотах до 50—70 Мгц более целесообразно использование на входе приемника ламп 1Ж18Б или 1Ж24Б. Эти лампы при $E_{g1} = 0$ и $E_{g2} = 40$ в потребляют по анодно-экранной цепи ток порядка 0,75 ма,

при этом крутизна характеристики составляет около 0,7 ма/в (вместо 1 ма/в для лампы 1Ж17Б), а на накал лампы 1Ж24Б расходуется половина мощности (по сравнению с 1Ж18Б).

Реальный выигрыш в чувствительности, получаемый в приемном устройстве за счет применения на входе стержневых ламп вместо сеточных (таких, например, как 2Ж27П), оценивается величиной 30—40% на частоте 50 Мгц. С повышением частоты этот выигрыш увеличивается благодаря меньшему уровню собственных шумов и более высокому значению входных сопротивлений стержневых ламп на высоких частотах.

На частотах 100 Мгц и выше вследствие малых величин индуктивностей резонансное сопротивление контуров, а следовательно, и усиление каскадов уменьшается. Чтобы обеспечить необходимое усиление, на частотах этого диапазона целесообразно применение ламп с большей крутизной 1Ж17Б или 1Ж29Б, таким образом, проигрыш в потребляемой мощности окупается увеличением усиления, которое обеспечивают эти лампы по сравнению с лампами 1Ж18Б и 1Ж24Б.

Преобразование частоты

Каскады преобразователей частоты, работающих на метровых волнах с применением прямонакальных радиоламп, чаще выполняются на двух отдельных лампах — смесительной и гетеродинной. При этом обычно в обоих каскадах применяются однотипные лампы — пентоды. Такое построение преобразователя частоты обеспечивает практически независимую настройку

высокочастотных контуров и высокую стабильность работы устройства.

Смесительный каскад на стержневых лампах может выполняться по одноили двухсеточной схеме преобразования частоты, причем по первой схеме, в которой напряжения сигнала и гетеродина подаются на управляющую сетку лампы, возможно использование всех прямо-усилительных ламп — 1Ж17Б, 1Ж18Б, 1Ж24Б. Необходимое напряжение гетеродина в таких схемах преобразования частоты не должно превышать 1,5—2 в. При большем напряжении гетеродина возможно образование побочных частот вследствие ограничения анодного тока лампы в правой части сеточных характеристик.

Вторая схема преобразования частоты выполнима только на лампах 1Ж17Б и 1Ж29Б, имеющих вывод от стержневой защитной сетки. По этой схеме напряжение сигнала подается на управляющую, а напряжение гетеродина — на защитную сетку (рис. 2). Для получения оптимального коэффициента преобразования напряжения гетеродина при подаче его в цепь защитной сетки должно быть не менее 12—15 в.

Следует отметить, что конструкция стержневых ламп в принципе позволяет выполнить специальную смесительную лампу с двумя выводами от

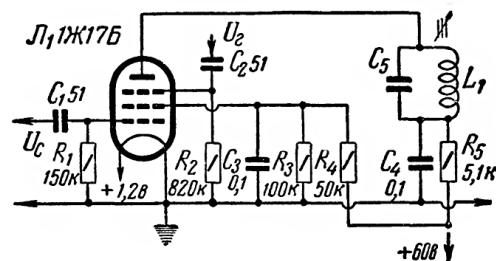


Рис. 2

стержневой управляющих сеток и осуществить таким путем двойное управление электронным потоком.

Усиление напряжения ПЧ

Для многокаскадных усилителей промежуточной частоты приемных устройств предназначены стержневые радиолампы 1Ж18Б и 1Ж24Б.

Типичной схемой для портативных УКВ радиоприемников обычно считается трехкаскадный усилитель промежуточной частоты с двухконтурным фильтром в аноде лампы каждого каскада. Такая схема позволяет получить высокую избирательность приемника и необходимое усиление. Коэффициент усиления каждого каскада в этом случае должен быть не менее 25. Однако получение такого усиления с одного каскада на двухконтурном фильтре связано с постановкой ламп

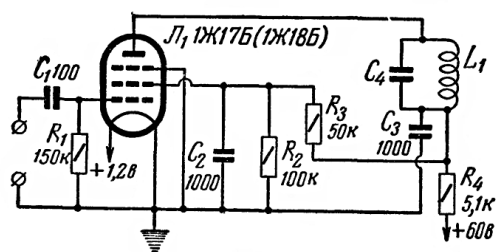


Рис. 1

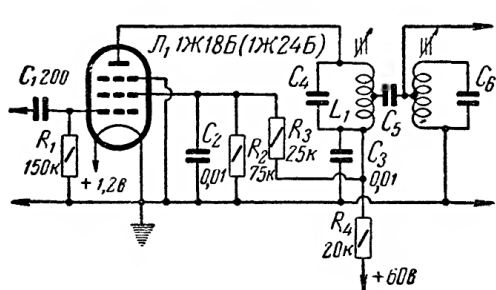


Рис. 3

в режим, при котором потребление по анодно-экранной цепи лампы каждого каскада находится в пределах 1,0—1,2 ма или порядка 3,5 ма на весь усилитель.

Чтобы сократить общее потребление энергии, расходистой для питания приемного устройства в тех случаях, когда размеры его имеют меньшее значение, более рациональным оказывается использование четырехкаскадного УПЧ с двухконтурными фильтрами и предельно-облегченным режимом каждого каскада ($E_a = 40-45$ в, $E_{g2} = 20-25$ в, $E_{g1} = 0$). При такой схеме построения тракта УПЧ потребление каждого каскада снижается до 0,30—0,35 ма, в то же время повышается устойчивость работы тракта промежуточной частоты (особенно при высоком значении f_{np}), так как усиление каждого каскада при четырехкаскадном УПЧ в два с лишним раза меньше, чем при трехкаскадном. Схема каскада УПЧ на лампе 1Ж18Б приведена на рис. 3.

Амплитудное ограничение

Приемо-усилительные стержневые радиолампы 1Ж17Б, 1Ж18Б, 1Ж24Б могут успешно использоваться в качестве амплитудных ограничителей в приемниках, предназначенных для приема ЧМ сигналов. Так, в режиме $E_a = 35$ в, $E_{g2} = 40$ в, $E_{g1} = -1,5$ в на лампе 1Ж17Б обеспечивается резкий порог ограничения при напряжении промежуточной частоты на входе лампы не более 1 в. Столь низкий порог ограничения на стержневых лампах позволяет в 2—3 раза снизить усиление всего тракта промежуточной частоты по сравнению с тем случаем, когда амплитудный ограничитель выполняется на прямокальных лампах с навитыми сетками.

Применение в тракте промежуточной частоты четырехкаскадного УПЧ с предельно-облегченным режимом каждого каскада позволяет иногда в приемниках ЧМ отказаться от применения специальных амплитудных ограничителей и использовать для этой цели обычный (пятый) усилительный каскад. При низких анодно-экранных напряжениях на лампах и малых сигналах на входе приемного устройства роль амплитудного ограничителя вы-

полняет последний (пятый) каскад. По мере увеличения входного напряжения ограничителями становятся четвертый, затем — третий, второй и первый каскады УПЧ. Благодаря этому достигается весьма эффективное ограничение и устойчивая работа каскадов, а весь тракт усиления ПЧ состоит из пяти одинаковых каскадов.

Генерирование высокочастотных колебаний

Наиболее широкое практическое применение находят в основном три схемы ламповых генераторов высокочастотных колебаний: с заземленным катодом, с заземленной управляющей сеткой и с заземленным анодом. Каждую из этих схем можно подразделить еще по видам обратной связи.

В радиоловительской практике схема с заземленным катодом применяется обычно в диапазоне коротких и ультракоротких волн. В диапазоне СВЧ чаще применяется схема с заземленной управляющей сеткой. Значительно реже применяется схема с заземленным анодом, хотя на частотах метрового диапазона она представляет наибольший интерес.

На рис. 4 изображена схема лампового генератора с заземленным анодом и с колебательным контуром в анодной цепи лампы. Анодный контур имеет связь с контуром в цепи управляющей сетки только через общий электронный поток: первая гармоника анодного тока, протекая последовательно по внешнему (анодному) контуру и по катодной части внутреннего (сеточного) контура, создает падение напряжения на них. Частоту колебаний в этой схеме определяет контур в цепи сетки, а анодный контур используется как буферный — с него снимается напряжение для последующего усиления колебаний или подается на смесительную лампу преобразователя частоты. Напряжение на внутреннем контуре служит только для поддержания незатухающих колебаний в схеме.

Благодаря отсутствию внешней связи между контурами влияние нагрузки, подключаемой к внешнему контуру, не сказывается на стабильности частоты

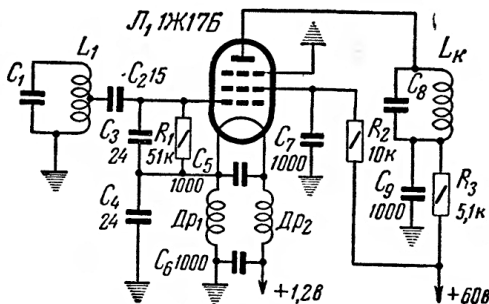


Рис. 4

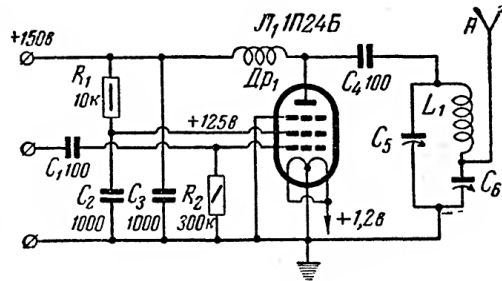


Рис. 5

такого генератора. Следовательно, двухконтурная схема генератора колебаний как бы совмещает в себе собственно ламповый генератор и «буферный каскад», разделяющий цепи генерирования и нагрузки. Этот генератор, известный под названием «двухконтурного генератора с электронной связью», предъявляет специальные требования к электронной лампе. Во-первых, здесь возможно использование только экранированных ламп; во-вторых, междуэлектродные емкости лампы сетка — анод C_{ag} и анод — катод C_{ak} должны быть возможно меньше (менее $30 \cdot 10^{-3}$ пф).

Стержневые радиолампы 1Ж17Б, 1Ж29Б и 1П24Б, имея достаточно малые значения проходных емкостей, удовлетворяют требованиям работы в двухконтурных схемах генераторов с электронной связью. Применение последних позволяет генерировать стабильные колебания в диапазоне выше 100 Мгц. В этом случае двухконтурную схему генератора целесообразно использовать в режиме удвоения частоты, когда анодный контур настроен в желаемом участке диапазона, а внутренний (сеточный) контур служит для генерации частоты вдвое ниже.

Такая особенность генератора с электронной связью может быть хорошо использована для генерирования частот порядка 100—300 Мгц.

Усиление мощности

Экономичный пентод 1П24Б предназначен для работы в выходных каскадах малогабаритных радиопередатчиков устройств. На рис. 5. приведен вариант схемы выходного каскада УКВ передатчика, в котором установлена такая лампа.

Лампа 1П24Б, несмотря на ее малые размеры обеспечивает в типовом режиме колебательную мощность в анодной нагрузке порядка 2,5 вт. При этом максимальный импульс анодного тока может составлять 90—100 ма. Катодный ток лампы в таком режиме может достигать 30—35 ма, что создает дополнительный подогрев нити накала. Поэтому в типовом режиме применения ($E_a = 150$ в, $E_{g2} = 125$ в), тем более в предельно-допустимом эксплуатационном режиме ($E_a = 300$ в, $E_{g2} = 200$ в), рекомендуется параллельное

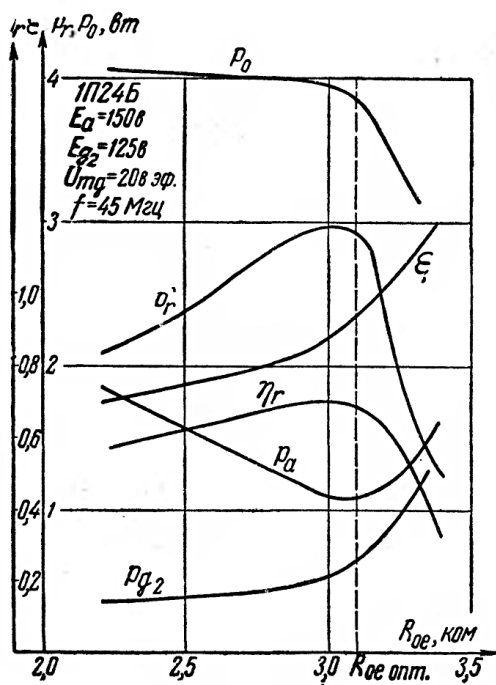


Рис. 6

соединение нитей накала. В этом случае ток накала составляет 240 ма и поэтому дополнительный подогрев нити накала не является опасным. Такой режим питания нити накала лампы оказывается более выгодным и с точки зрения повышения входного сопротивления лампы.

На рис. 6 приведена нагрузочная характеристика лампы 1П24Б, снятая на частоте 45 МГц по схеме рис. 5. Как следует из кривых, при переходе в перенапряженный режим (когда $R_{oe} > R_{oe\text{ опт}}$) колебательная мощность в анодном контуре лампы резко уменьшается, растут мощности, рассеиваемые на стержнях анода и экранирующей сетке, и резко падает к. п. д. Это объясняется тем, что при переходе в перенапряженный режим вследствие ярко выраженного перегиба анодных характеристик при малых остаточных напряжениях на аноде коэффициент использования анодного напряжения

$\xi = \frac{U_{\text{макс}}}{E_a}$ достигает единицы. В это время остаточное напряжение на аноде равно нулю или отрицательно, а напряжение на экранирующих стержнях больше анодного. В результате происходит перераспределение электронного потока: мгновенное значение анодного тока равно нулю, а ток экранирующих электродов максимален; в импульсе анодного тока образуется глубокий провал и поэтому колебательная мощность резко уменьшается.

Рассмотрение различных режимов работы показывает, что лампа 1П24Б может успешно использоваться в недонапряженном режиме, то есть при анодной нагрузке меньше оптимальной. Эта особенность лампы может быть выгодно использована на частотах

200—250 МГц, где обычно трудно иметь оптимальную величину анодной нагрузки и вследствие этого большая часть подводимой мощности рассеивается на электродах лампы.

На частотах выше 100 МГц в выходных каскадах на стержневых лампах типа 1П24Б выгодно применять двухтактную схему. Благодаря тому, что входные и выходные емкости ламп в этом случае входят в колебательные контуры последовательно, начальная емкость контура получается меньшей, чем при однотактной схеме. Вследствие этого удается выполнить контур с большим эквивалентным сопротивлением. Схема двухтактного выходного каскада передатчика для частот выше 100 МГц на лампах 1П24Б приведена на рис. 7.

Естественно, что для работы в двухтактной схеме нужно подбирать лампы с одинаковыми значениями тока анода I_a , крутизны характеристики S и междуэлектродных емкостей $C_{вх}$ и $C_{вых}$.

Сверхрегенерация

Благодаря простоте и высокой чувствительности сверхрегенеративные

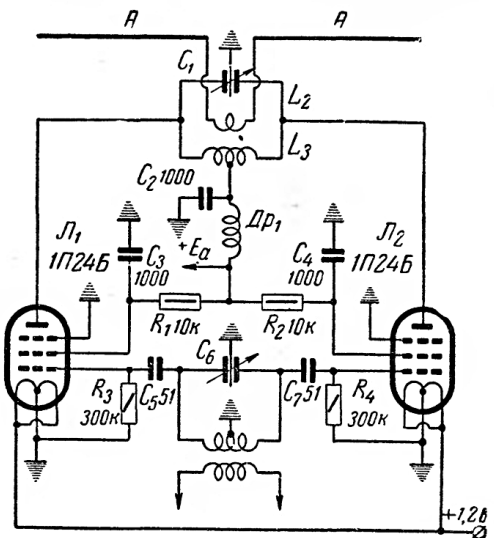


Рис. 7

приемники получили большое распространение в радиолобительской практике.

Из всех существующих схем сверхрегенераторов лучшие результаты по чувствительности и величине звукового напряжения обеспечивает сверхрегенератор, собранный по схеме с посторонним источником гасящего напряжения, вводимого в цепь экранирующей сетки. Схема сверхрегенератора с посторонним источником гасящего напряжения, выполненная на стержневых радиолампах 1Ж17Б, приведена на рис. 8. Высокочастотные колебания по приведенной схеме возникают в так называемом «мягком» режиме возбуждения и прерываются путем изменения крутизны характеристики анодного тока по цепи экранирующей сетки. Источником гасящего (прерывающего) напряжения служит генератор синусоидальных колебаний сверхзвуковой частоты, выполненный на лампе L_2 . Величина гасящего напряжения на экранирующей сетке лампы L_1 генератора ВЧ колебаний должна быть 20—25 в эф. Повышение этого напряжения не улучшает чувствительности приемника, а приводит лишь к расширению его полосы пропускания.

Когда габариты, вес и экономичность радиоприемного устройства играют решающее значение, генераторы высокочастотных и сверхзвуковых колебаний можно выполнить на одной лампе (например 1Ж17Б). В этом случае генератор высокочастотных колебаний собирают по двухконтурной схеме с электронной связью, а генератор гасящего напряжения — по схеме с заземленным катодом.

Особенности конструирования узлов аппаратуры с применением стержневых радиоламп

Особенность конструирования узлов аппаратуры с применением стержневых ламп связана в основном с тем, что эти лампы предназначены для

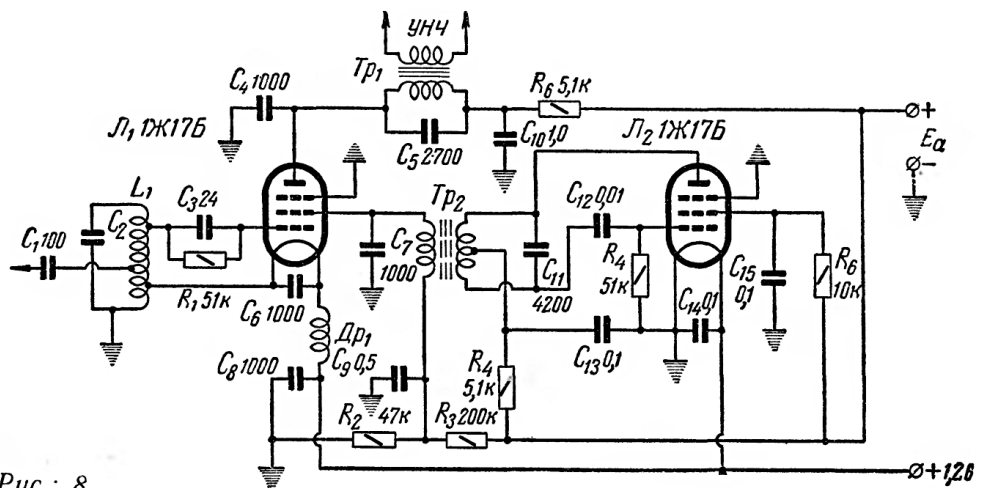


Рис. 8

непосредственной впайки в схему. Длительное время радиолампы являлись сменной деталью в аппаратуре. При этом возможность замены неисправной лампы обеспечивалась применением промежуточной детали между лампой и остальным монтажом — ламповой панели. Однако ламповая панель неизбежно ухудшает параметры лампы и всего устройства — увеличивает емкости и вносит дополнительные потери. Переходное сопротивление контактов в ламповой панели изменяется (особенно в условиях тряски и вибрации), а вследствие окисления поверхности лепестков панели и контактных штырьков лампы оно может увеличиваться до нарушения контакта. Часто стекло баллонов в месте вывода электродов дает трещины.

В связи с широким использованием диапазона метровых волн эти недостатки ламповых панелей становятся весьма ощутимыми. На частотах этого диапазона монтажные проводники становятся настолько короткими, что лампа как бы «врастает» в остальной монтаж, становится его частью, а емкости и индуктивности лампы составляют значительную долю емкости и

индуктивности колебательного контура.

Длительный срок службы стержневых радиоламп (превышающий 2 000 ч для прямо-усилительных и 1 000 ч. для генераторных), их высокая механическая прочность, обеспечиваемая применением стержней в качестве электродов, и малые размеры позволяют отказаться от ламповых панелей, а лампы припаивать как и все остальные детали. Надежность работы аппаратуры при таком применении ламп существенно повышается.

Из приведенных в статье схем отдельных каскадов следует, что основными элементами прямо-усилительных и генераторных каскадов радиотехнических устройств являются лампы и колебательные контуры. Остальные детали схемы каскадов (в основном, сопротивления и конденсаторы) создают необходимый режим работы лампы, имеют, как правило, по сравнению с ней меньшие размеры и группируются вокруг каждой лампы. Вследствие этого представляется целесообразным размещение лампы со всеми деталями, входящими в данный каскад, на отдельной изоляционной

плате. При этом детали размещаются в непосредственной близости к лампе, припаиваются к шинам печатного монтажа или к стойкам, запрессованным в плату. Благодаря такому компактному монтажу улучшаются блокировки по высокой частоте, а следовательно, и устойчивость работы каскада в целом.

В тех случаях, когда размеры катушки индуктивности и конденсатора контура невелики (например, в усилителе напряжения промежуточной частоты при $f=1\text{Мгц}$), на плате лампового узла можно разместить и контурные детали.

Практика показывает, что каскадное выполнение аппаратуры или отдельных функциональных узлов ее наиболее целесообразно по сравнению с вариантом, когда отдельные узлы или вся аппаратура монтируются на общей изоляционной плате.

В последнем случае весьма трудно избежать нежелательных паразитных связей, вызванных несовершенством диэлектрических свойств материала платы, вследствие чего устойчивость работы узла и аппаратуры в целом снижается.