

ВХОДНЫЕ ЦЕПИ СВЯЗНОГО ПРИЕМНИКА

В подавляющем большинстве современных любительских СВЧ-приемников в качестве первого каскада используется усилитель ВЧ, обычно на лампе 6К13П, имеющей малое сопротивление шумов, высокую крутизну и удлиненную анодно-сеточную характеристику, уменьшающую перекрестные помехи. Входной контур такого усилителя подключают к управляющей сетке лампы полностью. Однако, как показывают расчеты и эксперимент, полное включение цепи управляющей сетки малошумящей лампы в колебательный контур входного устройства нерационально. Применяя частичное включение можно получить значительное уменьшение уровня перекрестных помех, являющихся серьезной проблемой в современной радиоприемной технике. Например, в «Радио», 1967, № 5 оно позволило увеличить динамический диапазон приемника до 98 дБ, то есть на порядок (при соответствующей доработке смесителя). Частичное включение позволяет использовать в усилителе ВЧ без опасности возникновения перекрестных помех пентоды с короткой характеристикой, например 6Ж52П, 6Ж53П, обладающие высокой крутизной, малыми шумами, повышенной линейностью характеристик и высокой надежностью.

Рассмотрим вопросы расчета оптимального коэффициента включения $m = \frac{R'_{oe1}}{R_{oe1}}$ (см. рис. 1) цепи управляющей сетки лампы в колебательный контур. При резонансе сопротивление контура имеет активный характер. Э. д. с. шумов $E_{ш}$ на активном сопротивлении R можно вычислить по общизвестной приближенной формуле

$$E_{ш} = 0,125 \sqrt{R \Delta f},$$

где Δf — полоса приемника ($E_{ш}$ — в мкВ, R — в Ом, Δf — в кГц).

Резонансное сопротивление кон-

Инж. В. СИДОРЕНКО

туров в диапазоне коротких волн составляет 5—30 Ом, следовательно э. д. с. шума контура в полосе 3 кГц составит 0,5—1,2 мкВ.

Шум лампы вызывается в основном дробовым эффектом и возникает в анодной цепи. Для удобства расчета наличие этого шума можно учесть введением активного сопротивления $R_{ш}$, включенного в цепь сетки. Величина $R_{ш}$ может быть легко измерена. У лучших экземпляров лампы 6К13П она достигает 100 Ом.

Такие явления, как наведенные токи сетки и влияние индуктивности катодного ввода, приводящие к увеличению шумов лампы на высоких частотах, при частичном включении можно не учитывать ввиду резкого уменьшения их влияния (в $\frac{1}{m^2}$ раз).

При «нешумящей» лампе уменьшение коэффициента включения приводит к одновременному уменьшению на сетке лампы как полезного сигнала, так и шума в одинаковое число раз, поэтому реальная чувствительность, определяемая отношением сигнал/шум, не меняется. Уменьшение же сигнала легко компенсируется увеличением усиления. Реальная лампа ведет себя как «нешумящая» до тех пор, пока ее шумовое сопротивление остается меньшим резонансного сопротивления участка контура, включенного между сеткой и катодом (R'_{oe1}), которое уменьшается пропорционально квадрату коэффициента включения. Таким образом и в случае с реальной лампой уменьшение (до некоторого предела) коэффициента включения не приводит к заметному падению реальной чувствительности, зато резко снижает уровень перекрестных помех (в $\frac{1}{m^2}$ раз).

Пересчитаем э. д. с. шумов лампы и контура, приведя их ко входу

приемника, то есть вычислим э. д. с. собственного шума приемника на зажимах антенны. Этот параметр — $E_{ша}$ покажет, при каком значении э. д. с. полезного сигнала E_a , наводимого в антенне, прием будет возможен (очевидно, что E_a должна быть больше $E_{ша}$).

$$E_{ша} = \frac{0,125 \sqrt{(R_{oe1} + \frac{R_{ш}}{m^2}) \Delta f}}{K_{вц}},$$

где коэффициент передачи входной

$$K_{вц} = \frac{U}{E_a} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{R_{oe.э}}{r_a}},$$

эквивалентное резонансное сопротивление с учетом шунтирующего действия лампы

$$R_{oe.э} = \frac{R_{oe} \frac{R_{вх}}{m^2}}{R_{oe} + \frac{R_{вх}}{m^2}},$$

R_{oe} — резонансное сопротивление свободного контура.

При согласовании резонансное сопротивление входного контура падает вдвое:

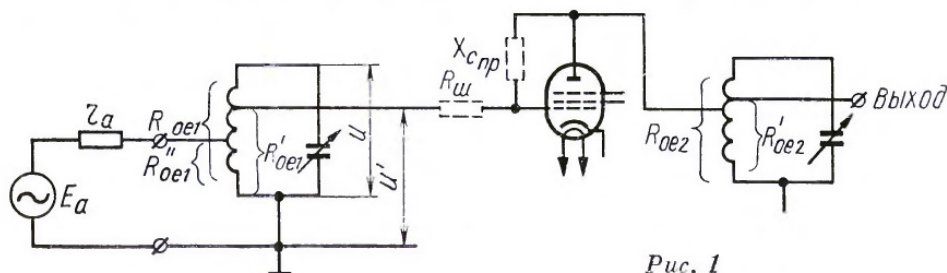
$$R_{oe1} = \frac{R_{oe.э}}{2}.$$

Для примера сопротивление антенны r_a примем равным 75 Ом, входное сопротивление лампы $R_{вх}$ — равным 30 Ом (для 6К13П на 21 МГц).

Результаты расчета для контура с индуктивностью 1 мкГн и добротностью 140 ($R_{oe} = 17,6$ Ом) при полосе $\Delta f = 3$ кГц представлены в виде зависимости $E_{ша}$ от m на рис. 2. Кривая 1 соответствует $R_{ш} = 100$ Ом, кривая 2 — $R_{ш} = 450$ Ом (паспортное значение для 6К13П). Кривая 3 рассчитана для случая, когда усилитель ВЧ отсутствует, а в качестве первого каскада используется смеситель на лампе 6Н23П ($R_{ш} = 1$ Ом).

Из графика рис. 2 можно сделать вывод, что вплоть до коэффициента включения $m \approx 0,2$ реальная чувствительность приемника не меняется. В КВ диапазоне ввиду значительного уровня внешних шумов нет смысла добиваться предельно допустимой чувствительности, поэтому коэффициент включения можно принять равным 0,1, при этом уровень перекрестных помех уменьшится в $\frac{1}{m^2}$, то есть в 100 раз.

Практически расчетный коэффициент включения можно легко установить с помощью лампового вольт-



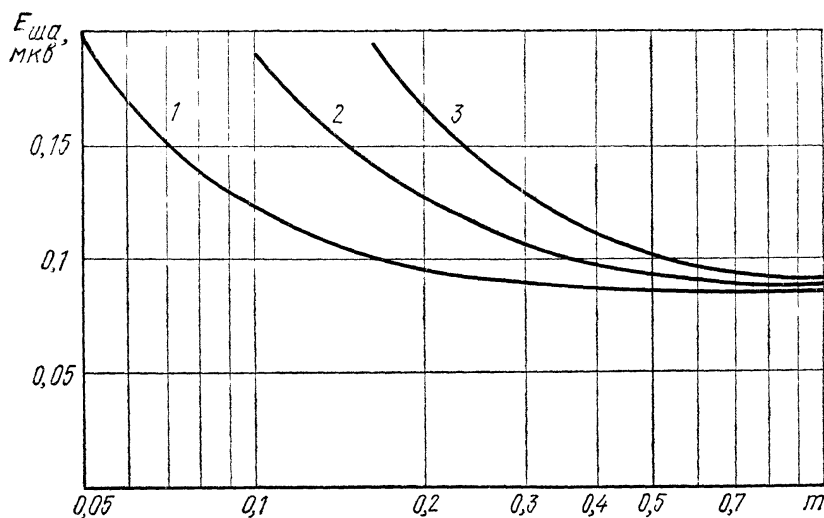


Рис. 2

метра по отношению напряжений:
 $m = \frac{U'}{U}$.

Оптимальный коэффициент включения можно подобрать и экспериментально путем измерения с помощью генератора шума реальной чувствительности приемника, уменьшая коэффициент включения до тех пор, пока она не ухудшится на 20—30%. Падение усиления при этом можно скомпенсировать увеличением коэффициента включения анодной цепи в контур, чтобы шумы последующих каскадов не ухудшали отношения сигнал/шум.

Анализ полученной нами формулы $E_{шa}$ дает интересный результат оценки чувствительности приемника.

При условии, что $R_{oe1} \gg \frac{R_{ш}}{m^2}$, что имеет место практически во всех случаях выбора m , когда реальная чувствительность падает не очень сильно, формулу для э. д. с. собственного шума приемника на зажимах антенны (учитывая, что $R_{oe1} = \frac{R_{oe.э}}{2}$) можно записать как

$$E_{шa} = \frac{0,125 \sqrt{R_{oe1} \Delta f}}{\frac{1}{2} \sqrt{\frac{R_{oe.э}}{r_a}}} = 0,125 \sqrt{2 r_a \Delta f}$$

Таким образом, при согласовании контура с антенной реальная чувствительность приемника практически не зависит от таких параметров входного контура, как добротность и соотношение емкости и индуктивности. При высокой добротности или малой емкости контура растет коэффициент передачи, однако при этом растут и собственные шумы контура, а реальная чувствительность сохраняется. Полученный результат можно легко понять, если учесть, что $E_{шa}$ равна э. д. с. шума на двух последовательно включенных сопротивлениях равной величины (усло-

вие согласования), как показано на рис. 3. Следует, правда, отметить, что добротность контура играет роль в обеспечении избирательности по зеркальному каналу.

Итак, в случае применения ламп, шумы которых во много раз меньше

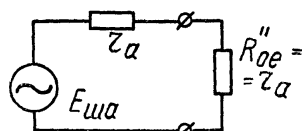


Рис. 3

контурных шумов, предельная чувствительность приемника при хорошем согласовании с антенной определяется только параметрами антенны, такими, как действующая высота и направленность, и применение каких-либо особенных, например каскодных или регенеративных, усилителей ВЧ ее не улучшит. Однако при работе с ненастроенной несогласованной антенной применение хороших контуров или регенерации позволяет частично улучшить качество приема. Достичь же наиболее высокой чувствительности позволяет только хорошая антенна, согласованная с приемником.

При малом коэффициенте включения контура уровень сигнала на управляющей сетке усилителя ВЧ невелик. Поэтому в данном случае требуется такое усиление, которое позволило бы не учитывать собственные шумы анодного контура. Другими словами, э. д. с. шумов, пересчитанная из цепи управляющей сетки в цепь анода, должна во много раз превосходить э. д. с. собственных шумов анодного контура и смесителя.

Для $m = 0,1$, $R_{ш} = 100$ ом и $R_{oe1} = 8,75$ ком (получено из исходной величины $R_{oe} = 17,6$ ком) эквивалентное шумовое сопротивление в цепи сетки равно $R_{ш} + R'_{oe1} = 0,1 + 0,1^2 \cdot 8,75 = 0,187$ ком.

Э. д. с. шумов в цепи сетки

$$E'_{ш} = 0,125 \sqrt{0,187 \cdot 3} = 0,094 \text{ мкв,}$$

анодного контура с $R_{oe} = 17,6$ ком

$$E''_{ш} = 0,125 \sqrt{17,6 \cdot 3} = 0,91 \text{ мкв}$$

Для того, чтобы реальная чувствительность заметно не изменилась, усилитель должен иметь коэффициент усиления выше 100. Естественно возникает вопрос, легко ли обеспечить такой коэффициент усиления и будет ли усилитель устойчивым? Для расчета резонансных усилителей в справочниках, как правило, приводится формула предельного устойчивого усиления

$$K_{o.уст} = (0,45 - 0,63) \sqrt{\frac{S}{\omega C_{пр}}}, \text{ где}$$

S — крутизна, $C_{пр}$ — проходная емкость лампы, ω — частота.

Однако эта формула не учитывает частичного включения лампы в контуры. С учетом же частичного включения в сеточный и анодный контуры, можно записать уравнение устойчивости в следующем виде:

$$\omega C_{пр} S m^2 R_{oe1} n^2 R_{oe2} = 2(1 - K_y),$$

где коэффициент устойчивости

$$K_y = \frac{R_{oe1}}{R_{oe1.ос}} = \frac{\Delta f}{\Delta f_{ос}},$$

R_{oe1} — резонансное сопротивление входного контура усилителя без обратных связей;

$R_{oe1.ос}$ — резонансное сопротивление того же контура с учетом обратной связи через проходную емкость, Δf и $\Delta f_{ос}$ — полоса пропускания входного контура соответственно без обратной связи и с обратной связью; n — коэффициент включения анодного контура.

Величину K_y рекомендуется выбирать равной 0,8—0,9.

Рассчитаем с помощью этого уравнения устойчивость усилителя ВЧ с $m = 0,1$ на лампе 6К13П ($C_{пр} = 0,01$ нф при хорошей экранировке). Зададим $K_y = 0,9$ и вычислим допустимую величину анодной нагрузки:

$$R'_{oe2} = n^2 R_{oe2} = \frac{2(1 - K_y)}{\omega C_{пр} S m^2 R_{oe1}} = 145 \text{ ком.}$$

Так как сопротивление анодного контура равно 17,6 ком и много меньше допустимого, то возможно его полное включение при высокой устойчивости. Коэффициент усиления каскада будет равен при этом

$$K = S R_{oe} = 12,5 \cdot 17,6 = 220.$$

При $R'_{oe2} < R_{oe2}$ следует применить частичное включение в анодный контур.

Необходимо отметить, что часто применяемое радиолюбителями подключение контура к управляющей сетке лампы через разделительный конденсатор малой емкости нежелательно. Действительно, реактивное

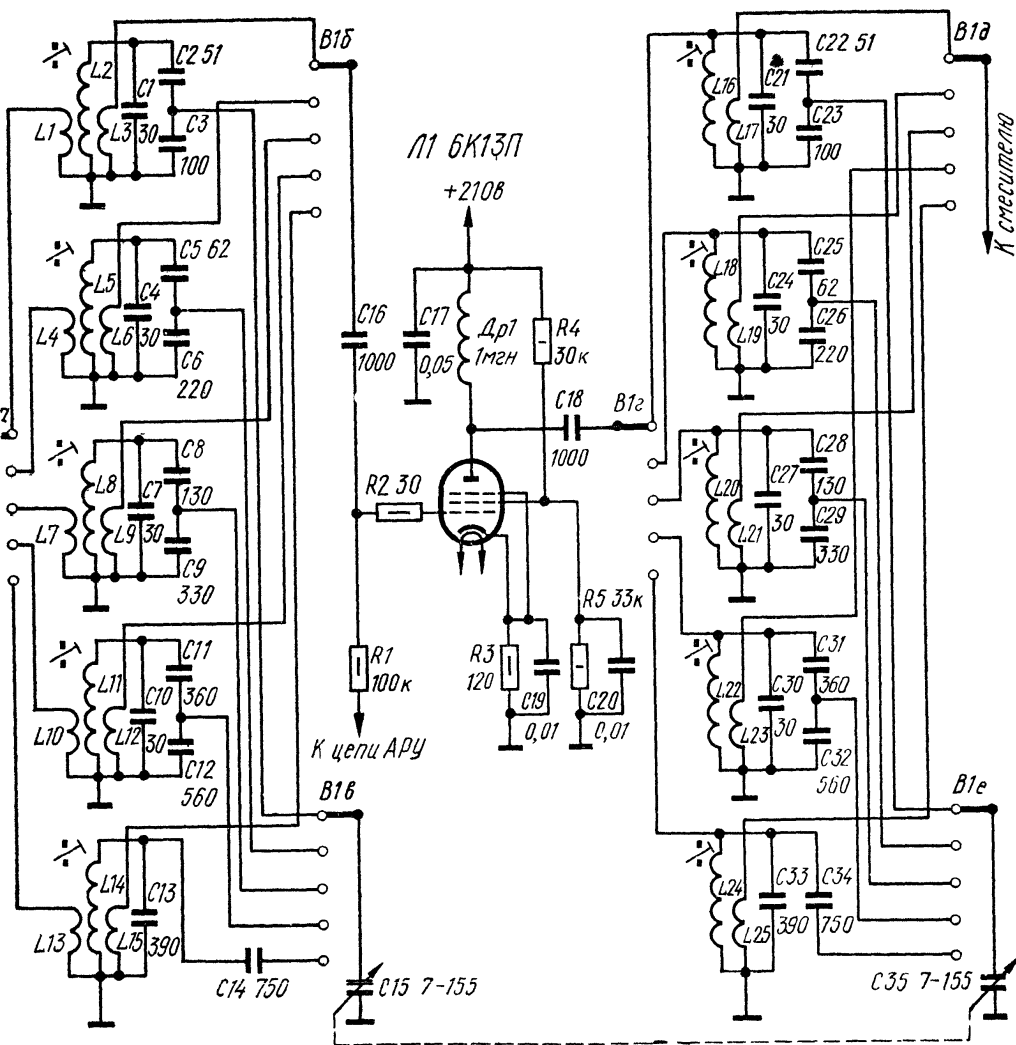


Рис. 4

возможность возникновения перекрестной помехи в тракте усиления ПЧ.

Современные маломощные лам-

сопротивление проходной емкости $X_{с.пр}$ (рис. 1) и сопротивление контура на участке сетка — катод образуют делитель напряжения, и любое увеличение сопротивления в цепи сетки вызовет увеличение обратной связи через проходную емкость. Устойчивость усилителя при этом резко ухудшается.

В заключение — несколько слов о смесителе, одном из самых сложных узлов приемника. Расчеты, рассмотренные в настоящей статье, в значительной степени относятся и к нему. Чем выше крутизна преобразования, тем меньшее входное напряжение можно подавать на сетку смесителя без ухудшения реальной чувствительности приемника. При этом увеличивается устойчивость смесителя к перекрестной помехе. Поэтому управляющую сетку смесителя также желательно подключать к отводу от анодного контура. Коэффициент включения можно подбирать экспериментально, уменьшая его до ухудшения реальной чувствительности на 10—20%. После смесителя должен стоять высокоизбирательный фильтр, чтобы исключить

пы, например 6Н23П, 6Ф12П и др., примененные в смесителе, позволяють построить приемник вообще без усилителя ВЧ. Кривая 3 на рис. 2 иллюстрирует именно такой случай. При этом также допустимо частичное включение (до $m=0,5$) с сохранением высокой чувствительности. Для обеспечения высокой избирательности по зеркальному каналу на входе смесителя можно включить двухконтурный полосовой фильтр. Приемник, построенный по такому принципу, будет обладать очень высокой линейностью.

Приведенные выше положения были проверены экспериментально и полностью подтвердились. В качестве примера реализации изложенных принципов на рис. 4 помещена принципиальная схема усилителя ВЧ трансивера («Радио, 1967, № 5»). Здесь отводы от контурных катушек заменены дополнительными катушками связи, что полностью эквивалентно (для применяемых коэффициентов включения), но более удобно при налаживании.

Намоточные данные катушек приведены в таблице. Все катушки намотаны на каркасах диаметром 9 мм проводом ПЭЛШО 0,44. Антенные катушки $L1$, $L4$, $L7$, $L10$ и $L13$ расположены на общих каркасах с контурными катушками $L2$, $L5$, $L8$, $L11$ и $L14$ соответственно, вплотную с их нижними (по схеме) выводами. Катушки связи $L3$, $L6$, $L9$, $L12$, $L15$, а также $L17$, $L19$, $L21$, $L23$ и $L25$ намотаны поверх контурных катушек, ближе к их нижним выводам.

Для подстройки контурных катушек применены сердечники СЦР-1. Число витков антенных катушек подбирают таким образом, чтобы при подключении согласованной антенны (или ее эквивалента) добротность входного контура уменьшалась в два раза. Число витков сеточных катушек выбирают исходя из допустимого ухудшения реальной чувствительности. Чем меньше шумовое сопротивление примененной лампы, тем меньшее число витков должно быть в сеточной катушке связи.

Подбором числа витков катушек связи со смесителем устраняют избыток усиления по ВЧ. Эту связь следует уменьшать до ухудшения реальной чувствительности на 10—20%. В этом случае почти все усиление приемного тракта будет приходиться на каскады ПЧ, которые сравнительно хорошо защищены от помех.

г. Киев

Обозначение по схеме	Число витков	Длина намотки, мм	Индуктивность, мкГн	Добротность
$L1$	1	—	—	—
$L2$	5	6	0,5	130—150
$L3$	0,7	—	—	—
$L4$	1	—	—	—
$L5$	7	4,5	0,7	130—150
$L6$	1	—	—	—
$L7$	2	—	—	—
$L8$	10	6	1,1	120—40
$L9$	2	—	—	—
$L10$	2	2	—	—
$L11$	15	11	2	100—120
$L12$	2	—	—	—
$L13$	3	3	—	—
$L14$	32	22	4	90—110
$L15$	4	—	—	—
$L16$	5	6	0,5	130—150
$L17$	0,5	—	—	—
$L18$	7	4,5	0,7	130—150
$L19$	0,7	—	—	—
$L20$	10	6	1,1	120—140
$L21$	1	—	—	—
$L22$	15	11	2	100—120
$L23$	1,5	—	—	—
$L24$	32	22	4	90—110
$L25$	3	—	—	—