

М. Р у м я н ц е в



ПРАКТИКА
НАЛАЖИВАНИЯ
ЛЮБИТЕЛЬСКИХ
КАРМАННЫХ
ПРИЕМНИКОВ

Издательство ДОСЛАФ
Москва - 1965

М. М. РУМЯНЦЕВ

ПРАКТИКА
НАЛАЖИВАНИЯ
ЛЮБИТЕЛЬСКИХ
КАРМАННЫХ
ПРИЕМНИКОВ

ИЗДАТЕЛЬСТВО ДОСААФ

Москва — 1965

ПРЕДИСЛОВИЕ

В книге рассказывается о проверке и налаживании различных каскадов, схемных узлов и транзисторных любительских радиоприемников в целом. Приводятся соображения по проверке и подбору транзисторов, использованию их в различных каскадах, а также по выбору и стабилизации режимов работы.

Книга рассчитана на широкий круг радиолюбителей-конструкторов различной степени подготовленности.

Она также может служить пособием для радиокружков ДОСААФ, занимающихся конструированием транзисторных радиоприемников.

Конструирование миниатюрных транзисторных приемников увлекает многих. Тысячи людей разных возрастов, образования, профессий самостоятельно занимаются сборкой, что позволяет им познакомиться с основами современной полупроводниковой радиотехники, полюбить ее, включиться в массовое радиолюбительское движение — народную лабораторию, помогающую внедрять новейшие достижения радиоэлектроники в народное хозяйство нашей страны и в быт советского человека.

Среди любителей есть и подготовленные, и начинающие, лишь знакомящиеся с транзисторной техникой. Вполне естественно, что, собирая транзисторный приемник, они сталкиваются с трудностями и неполадками, которые часто возникают по различным, подчас весьма непредвиденным причинам.

Как показывает практика консультационных радиотехнических пунктов, наибольшие затруднения вызывает не собственно сборка и монтаж транзисторного радиоприемника, а заключительный этап этой работы — налаживание. Случается, что весьма простая и отлично собранная схема отказывается работать.

Правда, в радиолитературе и особенно при описании тех или иных схем, как правило, приводится краткая справка по налаживанию, но в большинстве случаев она охватывает лишь те разрозненные вопросы, с которыми пришлось столкнуться ее создателю. А у радиолюбителя

могут возникнуть другие неполадки, устранить которые, не имея опыта, естественно, трудно.

Учитывая это, автор настоящей книги попытался обобщить и систематизировать некоторый материал по налаживанию миниатюрных транзисторных радиоприемников в надежде на то, что он поможет радиолюбителям в их практической работе.

Материал книги построен на основе радиолюбительской практики, но это отнюдь не ограничивает его использование при конструировании, сборке и налаживании различных транзисторных радиоприемников, разработанных промышленностью.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ПОДГОТОВКА К НАЛАЖИВАНИЮ ТРАНЗИСТОРНОГО ПРИЕМНИКА

Прежде чем рассказать о практическом налаживании транзисторных приемников, необходимо выяснить некоторые вопросы, которые будут предшествовать этой работе, что, в свою очередь, позволит выполнить ее более четко и правильно.

Об этом и говорится в настоящей главе книги. Здесь кратко изложены принцип работы транзисторов, методика проверки и подборки их по основным параметрам, приведены схемы включения, способы установки нужных режимов и меры их стабилизации, дан краткий обзор по проверке и регулировке других деталей приемника и использованию их в схемах, сравниваются схемы приемников прямого усиления и супергетеродинного типа, последовательность их практической проверки и налаживания.

Со всеми этими вопросами радиолюбитель может столкнуться при окончательной наладке и регулировке той или иной собираемой им схемы транзисторного приемника.

1. Принцип работы транзистора

Транзистор, так же как и обычная электронная лампа, является современным полупроводниковым усилительным элементом, обеспечивающим соответствующее усиление или преобразование электрических колебаний.

При элементарном рассмотрении принципа работы транзистора как усилительного элемента можно предста-

вить его в виде двух взаимосвязанных электрических цепей, упрощенная схема которых показана на рис. 1.

Первая, входная цепь обладает очень маленьким сопротивлением $R_{вх}$ и питается батареей $B_э$. Вторая, выходная цепь, напротив, имеет во много раз большее сопротивление, нежели первая. Ее питание осуществляется от батареи $B_к$ с большей электродвижущей силой.

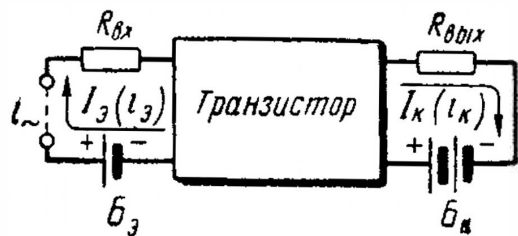


Рис. 1. Схема, поясняющая принцип работы транзистора

Как известно, такими параметрами обладают реальные цепи транзистора — его эмиттерный и коллекторный переходы соответственно. Взаимосвязь цепей-переходов осуществляется по базовой цепи транзистора, являющейся общей.

Под действием электродвижущих сил $B_э$ и $B_к$, батарей питания по входной и выходной цепям протекают постоянные токи $I_э$ и $I_к$, направленные навстречу друг другу и очень незначительно различающиеся по величине. Причем несколько большим будет ток $I_э$.

Поскольку входная и выходная цепи взаимосвязаны, уменьшение величины тока $I_э$ вызовет уменьшение тока $I_к$. И, наоборот, прирост тока $I_э$ вызовет увеличение тока $I_к$.

Это обстоятельство и используется при реализации усилительных свойств транзистора. При введении во входную цепь переменного тока i можно управлять изменением токов обеих цепей. Причем колебания переменного тока $i_к$ в выходной цепи транзистора будут повторять форму колебаний тока $i_э$ во входной цепи. Проходя по сопротивлениям цепей, эти токи вызовут падение напряжения, которое, как известно, равно произведению тока на сопротивление цепи:

$$U = IR,$$

но так как сопротивления цепей во много раз отличаются одно от другого, а токи примерно одинаковы, то и падение напряжений в различных цепях транзистора будет разным. Падение напряжения во входной низкоомной цепи будет незначительным:

$$u_{вх} = i_э R_{вх},$$

а падение напряжения в выходной высокоомной цепи большим:

$$u_{вых} = i_к R_{вых}.$$

Из рассмотренного ясно, что транзистор усиливает переменные электрические колебания по напряжению. Эти же колебания одновременно усиливаются и по мощности, так как мощность, выделяемая током в цепи, прямо пропорциональна ее сопротивлению:

$$P = I^2 R.$$

Мощность, выделяемая током на малом сопротивлении входной цепи, будет иметь маленькую величину:

$$P_{вх} = i_э^2 R_{вх},$$

а мощность, выделяемая на большом сопротивлении выходной цепи, большую:

$$P_{вых} = i_к^2 R_{вых}.$$

Из всего этого можно сделать вывод: транзистор является усилительным элементом, сходным по принципу работы и назначению с электронной лампой. Транзистор сходен с лампой и в структурном отношении. Его эмиттер выполняет роль, аналогичную катоду. Коллектор подобен аноду. А база действует так же, как управляющая сетка.

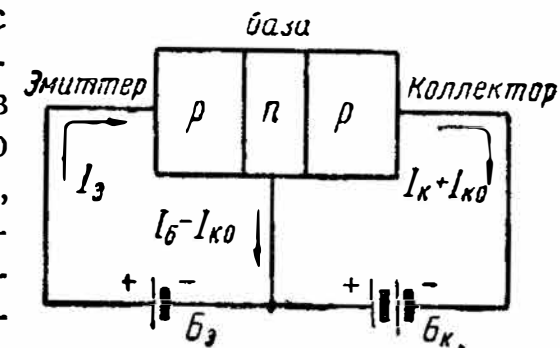


Рис. 2. Схема распределения токов в транзисторе

Транзистор состоит обычно из двух $p-n$ переходов, показанных на рис. 2. Оба перехода — эмиттерный и коллекторный — соединены между собой посредством общей базовой области транзистора. К первому из них от внешнего источника тока подводится напряжение в прямом направлении, а ко второму в обратном. В результате этого эмиттерный переход будет открыт и через него потечет ток:

$$I_э = I_p + I_n,$$

равный сумме токов, образованных электронами и дырками. К коллекторному переходу напряжение внешнего

источника тока приложено в обратном направлении. Если бы не было влияния эмиттерного тока на параметры коллекторного перехода, то по нему протекал бы лишь обратный ток $I_{к0}$. Величина этого тока в исправном транзисторе в сравнении с током эмиттерного перехода $I_э$ ничтожно мала. В действительности эмиттерный ток, действуя на параметры коллекторного перехода, создает условия для возникновения коллекторного тока $I_к$, равного:

$$I_к = I_p + I_{к0}.$$

Влияние эмиттерного тока на состояние коллекторного перехода достаточно велико, поэтому коллекторный ток транзистора по своей величине близок к эмиттерному:

$$I_к \approx I_э,$$

а отношение их

$$\frac{I_к}{I_э} = \frac{\Delta I_к}{\Delta I_э} = \alpha.$$

Отношение коллекторного и эмиттерного токов или их приращений при постоянном напряжении на коллекторе дает возможность получить коэффициент α , называемый коэффициентом усиления по току в схеме с общей базой. Коэффициент α всегда меньше единицы и для распространенных отечественных транзисторов лежит в пределах 0,9—0,999. Воспользовавшись коэффициентом усиления α , можно получить некоторые соотношения между токами в цепях транзистора. Так, например, ток базы, получающийся в результате проходящих по ней направленных навстречу друг другу эмиттерного и коллекторного токов, равен:

$$I_б = I_э - I_к = I_э \left(1 - \frac{I_к}{I_э}\right) = I_э (1 - \alpha),$$

тогда отношение тока коллектора к току базы можно выразить в таком виде:

$$\frac{I_к}{I_б} = \frac{I_к}{I_э - I_к} = \frac{\alpha}{1 - \alpha}.$$

Множитель $\frac{\alpha}{1 - \alpha}$, показывающий, во сколько раз изменения коллекторного тока транзистора превосходят

вызвавшие их изменения тока базы, называется коэффициентом усиления по току в схеме с общим эмиттером и обозначается буквой β .

$$\beta = \frac{\Delta I_к}{\Delta I_б} = \frac{\alpha}{1 - \alpha},$$

отсюда

$$\alpha = \frac{\beta}{1 + \beta}.$$

Коллекторный ток $I_к$, являющийся определенной частью эмиттерного тока $I_э$, будет равен:

$$I_к = \alpha I_э,$$

а с учетом обратного тока коллектора $I_{к0}$:

$$I_к = \alpha I_э + I_{к0}.$$

Подставляя это значение в ранее приведенную формулу тока базы $I_б$, имеем:

$$I_б = \frac{I_к (1 - \alpha)}{\alpha} - \frac{I_{к0}}{\alpha}.$$

Из последнего уравнения видно, что при $I_б = 0$ в цепи эмиттер—коллектор будет протекать ток $I_{эк}$, равный:

$$I_{эк} = \frac{I_{к0}}{1 - \alpha} = \frac{1}{1 - \alpha} I_{к0}.$$

При больших значениях $I_{к0}$ и разрыве в цепи базы этот ток может достигать большой величины и вывести транзистор из строя.

Рассмотрение принципа работы и соотношений токов было проведено для транзистора с прямой проводимостью типа *p-n-p*. Аналогичным образом следует рассматривать и принцип работы транзисторов с обратной *n-p-n* проводимостью, изменив направления токов на обратные.

2. Способы измерения основных параметров транзистора

Транзисторы имеют значительный разброс параметров. Это обстоятельство вызывает необходимость обязательной проверки наиболее употребительных парамет-

ров: обратного тока коллектора $I_{к0}$ и коэффициента усиления по току β .

Обратный ток коллектора является паразитным током, вредно влияющим на величину тока базы, а следовательно, и на токи коллектора и эмиттера, что, в свою очередь, скажется на коэффициенте усиления и на стабильности режима работы транзистора в целом. Обратный ток коллектора находится в большой зависимости от температуры окружающей среды. С повышением температуры ток $I_{к0}$ увеличивается еще больше, ухудшая параметры транзистора. Поэтому надо считать лучшим транзистор, ток $I_{к0}$ которого мал. Величина этого тока у распространенных маломощных транзисторов различного типа находится в пределах от единиц до нескольких десятков микроампер. Так, величина $I_{к0}$ высокочастотных транзисторов типа П402 — П403 не превышает 5 мка, а низкочастотных П13 — П15 — 10 мка.

Усиление того или иного каскада схемы в значительной мере зависит и от второго параметра транзистора — коэффициента усиления β , величина которого даже для однотипных транзисторов может лежать в пределах от десятков до нескольких сотен.

Как мы уже говорили, нужно считать лучшим транзистор с наименьшим обратным током коллектора. Однако транзистор, у которого коэффициент усиления наибольший, не всегда оказывается лучшим. В различных практических схемах каскадов приемника используются транзисторы с определенными коэффициентами β , потому что данные конкретной схемы могут обеспечить нужный режим работы транзистора лишь с определенными параметрами. Отклонение от них приводит к различным неполадкам и плохой работе схемы, а иногда требует выбора нового режима работы транзистора. Это следует иметь в виду, сопоставляя в каждом конкретном случае возможности приобретения деталей и свой практический опыт в налаживании транзисторных схем.

Измерение обратного тока коллектора $I_{к0}$ и коэффициента усиления β маломощных транзисторов можно произвести, воспользовавшись схемами, приведенными на рис. 3. Для определения $I_{к0}$ необходимо иметь микроамперметр постоянного тока на 100—200 мка, сопротивление 10—20 ком (предохраняющее рамку прибора от перегорания при прохождении через нее большого тока,

который может возникнуть в цепи при неисправном транзисторе) и батарею питания напряжением 4,5 в (рис. 3, а).

Отсчет величины контролируемого тока ведут непосредственно по шкале прибора.

Для измерения приближенных значений коэффициента β можно воспользоваться схемой рис. 3, б. Микроамперметр — прежний, миллиамперметр со шкалой

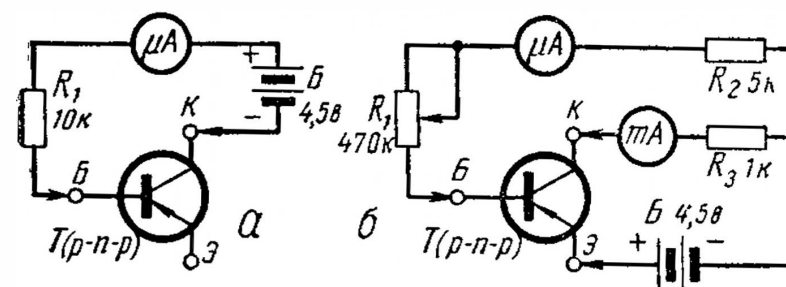


Рис. 3. Схемы измерения обратного тока коллектора $I_{к0}$ и коэффициента усиления β

10—20 ма. Порядок измерения следующий. Изменяя величину регулировочного сопротивления с максимального значения в сторону уменьшения, по шкале миллиамперметра устанавливают коллекторный ток $I_{к}$ транзистора равным 1—3 ма. После этого снимают показания с микроамперметра, контролирующего ток $I_{б}$ в цепи базы. Коэффициент усиления транзистора по току β рассчитывают по формуле:

$$\beta \approx \frac{I_{к}}{I_{б}}$$

Рекомендуемая величина коллекторного тока в пределах 1—3 ма дана из тех соображений, что у большинства маломощных транзисторов максимальный коэффициент β обнаруживается при указанных значениях тока $I_{к}$. Наиболее рациональным следует считать измерение этого параметра транзистора при токах, рекомендуемых для каждой конкретной схемы.

Очень часто радиолюбитель располагает данными коэффициента усиления α . Пересчитать эти коэффициенты можно, пользуясь выражениями:

$$\alpha = \frac{\beta}{1 + \beta}, \text{ откуда } \beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

Осуществляя проверку транзисторов, необходимо следить и за стабильностью установленного коллекторного тока. Если он изменяется во времени, или, как говорят, «плывет», то транзистор не годен для использования в схеме.

Эти изменения будут и причиной неопределенного значения коэффициента усиления испытуемого транзистора. Необходимо заметить, что нестабильность может быть вызвана нагревом транзистора за счет тепла рук, поэтому надо предусмотреть специальные гнезда или зажимы для подключения транзистора к испытательной схеме.

Рассмотренные способы и электрические схемы определения параметров предназначались для транзисторов с прямой *p-n-p* проводимостью. При необходимости проверки транзисторов с обратной *n-p-n* проводимостью следует изменить полярность включения батареи питания и измерительных приборов.

3. Схемы включения транзистора

В практике существуют три различных способа включения транзистора: по схеме с общей базой, с общим эмиттером и с общим коллектором. В схемах выделяет-

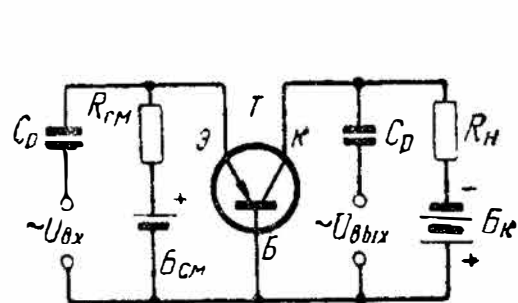


Рис. 4. Схема усилителя с общей базой

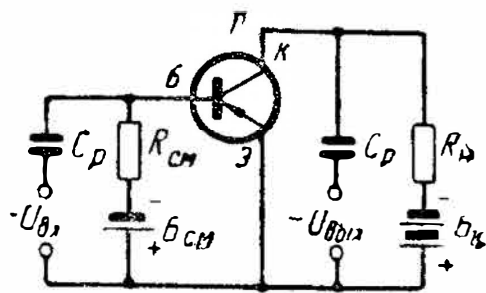


Рис. 5. Схема усилителя с общим эмиттером

ся тот электрод транзистора, который является общим для входной и выходной цепей. Каждая из схем имеет свои преимущества и недостатки.

На рис. 4 показана схема усилителя с общей базой. Коэффициент усиления ее по мощности равен:

$$K_p = \frac{I_k^2 R_n}{I_b^2 R_{вх}} \approx \alpha \frac{R_n}{R_{вх}},$$

где $R_{вх}$ — входное сопротивление усилителя;
 R_n — сопротивление нагрузки.

Коэффициент усиления по напряжению равен:

$$K_u = \frac{K_p}{\alpha} \approx \alpha \frac{R_n}{R_{вх}}.$$

Формулы являются приближенными, так как в них не учитывается зависимость коэффициента усиления α от величины сопротивления нагрузки R_n . Обычно при определении коэффициента α сопротивление нагрузки R_n отсутствует.

При постановке же транзистора в реальную схему это сопротивление значительно снизит коэффициент усиления.

Усилитель, выполненный по схеме с общей базой, обладает незначительным входным сопротивлением, а выходное сопротивление его велико. Транзистор в этой схеме не изменяет фазы усиливаемого сигнала. Усилители с общей базой обычно применяются в каскадах с трансформаторной связью, так как это дает возможность хорошо согласовать входные и выходные сопротивления отдельных однотипных каскадов. В реостатных (на сопротивлениях) схемах с емкостной связью применять однотипные каскады с общей базой нецелесообразно: усиление здесь меньше единицы, потому что нагрузочным сопротивлением каждого предыдущего каскада является незначительное входное сопротивление последующего. Эти обстоятельства значительно ограничивают область применения усилителей с общей базой.

На рис. 5 показана схема усилителя с общим эмиттером. В отличие от предыдущей схемы она имеет гораздо большее входное и несколько меньшее выходное сопротивление, что облегчает связь между каскадами. Коэффициент усиления схемы по мощности приближенно равен:

$$K_p = \frac{I_k^2 R_n}{I_b R_{вх}} \approx \beta^2 \frac{R_n}{R_{вх}}.$$

Коэффициент усиления по напряжению также приближенно равен:

$$K_u = \beta \frac{R_n}{R_{вх}}.$$

Рассматриваемая схема в отличие от схемы с общей базой обладает более высокими усилительными свойствами.

Схема изменяет фазу усиливаемого сигнала на 180° . Благодаря перечисленным достоинствам усилителя с общим эмиттером получили очень широкое распространение.

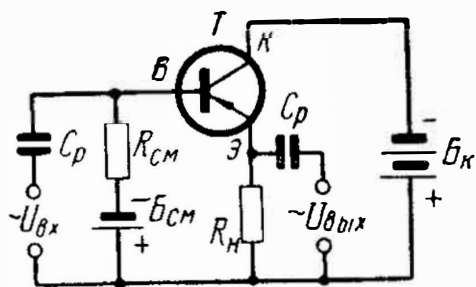


Рис 6 Схема усилителя с общим коллектором

На рис. 6 показана схема усилителя с общим коллектором, или, как ее еще называют, схема эмиттерного повторителя. Схема обладает значительно меньшим, чем в предыдущем случае, усилением по мощности, а коэффициент усиления по напряжению меньше единицы. Фаза усиливаемого сигнала остается без изменения.

Входное сопротивление усилителя с общим коллектором значительно больше, чем в схеме с общим эмиттером, выходное же сопротивление мало.

Подобные усилители обычно применяются в качестве согласующих звеньев с высоким входным и низким выходным сопротивлениями.

4. Схемы питания и стабилизация режима работы транзистора

В любой транзисторной схеме для неискаженного усиления сигнала следует устанавливать определенную величину постоянной составляющей коллекторного тока, обеспечивая тем самым нужное положение рабочей точки.

В необходимости этого легко убедиться, познакомившись с работой усилителя, схема которого показана на рис. 7. Это обычный усилительный каскад с общей базой, не имеющий батареи смещения. Поэтому при отсутствии переменного напряжения на входе усилителя транзистор находится в запертом состоянии. Если же на вход усилителя подать переменное напряжение синусоидальной формы, то в цепи коллектора транзистора появится пульсирующий ток, форма которого показана на рис. 8. Искажение формы тока происходит по той

причине, что эмиттерный переход транзистора пропускает по своей цепи лишь ток положительной полярности — положительные полуволны входного сигнала. Одновременно с этим в коллекторной цепи транзистора возникает ток, повторяющий форму тока в цепи эмитте-

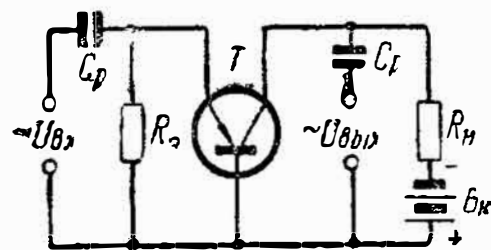


Рис 7 Схема усилителя без смещения

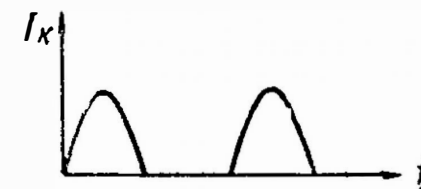


Рис 8 Форма тока коллектора в усилителе без смещения

ра. Когда на цепь эмиттера воздействуют отрицательные полуволны входного сигнала, эмиттерный переход заперт и тока не пропускает.

Естественно, что в этот период времени отсутствует и ток в цепи коллектора транзистора. Отрицательные полуволны усиливаемого сигнала как бы «обрезаются», форма напряжения на выходе усилителя искажается. Безусловно, такие сильные искажения совершенно недопустимы. Чтобы устранить их, в схему транзисторного усилителя вводят батарею смещения (рис. 9). Под действием электродвижущей силы батареи в цепи эмиттерного перехода потечет ток смещения. Это вызовет появление тока в цепи коллекторного перехода. Следовательно, при токе смещения, независимо от того, есть на входе усилителя переменное напряжение сигнала или нет его, по цепи коллектора протекает ток определенной величины. Если теперь на вход усилителя подать входной сигнал, то его положительная полуволна будет увеличивать, а отрицательная уменьшать ток эмиттерного перехода. Форма сигнала на выходе усилителя будет повторять форму сигнала, подводимого к его входу (рис. 10). Следует подчеркнуть, что величина тока смещения должна быть

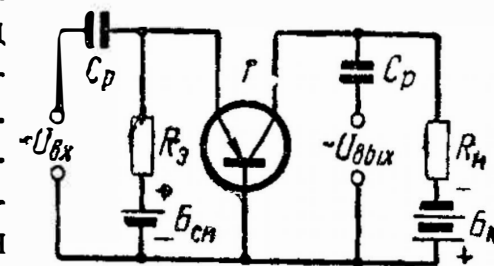


Рис 9 Схема усилителя с батареей смещения

равной или несколько большей, нежели величина тока входного сигнала. В противном случае неизбежны искажения, аналогичные рассмотренным выше. Регулировку тока смещения в схеме рис. 9 производят с помощью сопротивления R_3 .

Выбором нужного режима работы транзистора по постоянному току не ограничивается регулировка усили-

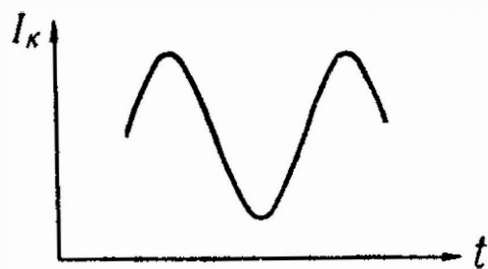


Рис. 10. Форма тока коллектора в усилителе с батареей смещения

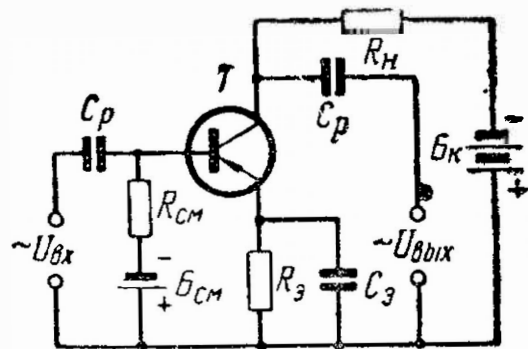


Рис. 11. Схема питания транзистора от двух батарей

тельного каскада; необходимо принять также специальные меры по его стабилизации. Вызвано это тем, что параметры транзистора находятся в большой зависимости от температуры окружающей среды. Как уже было сказано выше, наиболее зависим от температуры ток коллектора и особенно его составляющая — обратный ток коллекторного перехода. Изменение коллекторного тока, его нестабильность при воздействии температуры приводят к ухудшению показателей усилителя в целом. Для того чтобы уменьшить это вредное влияние, применяют различные схемы стабилизации коллекторного тока транзистора.

На рис. 11 показана схема питания транзистора от двух отдельных батарей $B_{см}$ и $B_{к}$. Нестабильность работы усилителя, вызываемая изменением коллекторного тока $I_{к}$ при изменении обратного тока коллектора $I_{к0}$ и характеризуемая коэффициентом нестабильности S , существенно зависит от параметров выбранных элементов схемы:

$$S = \frac{\Delta I_{к}}{\Delta I_{к0}} = \frac{R_{см} + R_{э}}{R_{см} + R_{э}(1 - \alpha)}$$

Подставляя реальные числовые значения величин сопротивлений и коэффициента усиления транзистора по

току, легко убедиться в том, что чем меньше величина сопротивления $R_{см}$ в цепи базы и чем больше сопротивление $R_{э}$ в цепи эмиттера транзистора, тем меньшее значение приобретает коэффициент нестабильности S . Коэффициент нестабильности S определяет уход рабочей точки при изменении температуры. В лучшем случае он может быть близким к единице, т. е. изменение коллекторного тока $I_{к}$ будет равно изменению обратного тока коллектора $I_{к0}$. Величину коэффициента нестабильности S можно определить заранее, еще до сборки схемы, исходя из допустимого изменения тока коллектора на 5—10% от величины этого же тока при комнатной температуре, пользуясь выражением:

$$S = \frac{\Delta I_{к}}{\Delta I_{к0}} = \frac{(0,05 \div 0,1) I_{к}}{2 \frac{\Delta T}{11} I_{к0}},$$

где ΔT — перепад температур в градусах Цельсия.

Данные элементов схемы, учитывая значение коэффициента нестабильности S , можно найти из выражений, приводимых ниже.

Сопротивление $R_{см}$ в цепи смещения:

$$R_{см} = \frac{E_{см}(S - 1)}{I_{к} - S I_{к0}},$$

где $E_{см}$ — электродвижущая сила батареи смещения $B_{см}$.

Сопротивление $R_{э}$ в цепи эмиттера:

$$R_{э} = \frac{E_{см}[1 - S(1 - \alpha)]}{I_{к} - S I_{к0}}.$$

Рассмотренная схема питания транзистора от двух отдельных батарей обладает высокой стабильностью работы и незначительно изменяет свои электрические показатели при использовании транзисторов даже со значительным разбросом обратного тока коллектора $I_{к0}$. Но несмотря на это, применяется она сравнительно редко, так как использование двух батарей питания не всегда удобно, особенно в миниатюрных конструкциях.

Более широкое распространение получила схема питания цепей транзистора от одной общей батареи (рис. 12). Напряжение смещения в цепь базы подают с делителя $R_{см}R_{б}$, подключенного к общей батарее пита-

ния B , а в цепь эмиттера включают сопротивление $R_э$, обеспечивающее отрицательную обратную связь по постоянному току. Если ток, протекающий через делитель, значительно больше тока базы, то напряжение на указанном электроде транзистора можно считать постоянным. В то же время напряжение на сопротивлении $R_э$ будет незначительно отличаться от напряжения на его

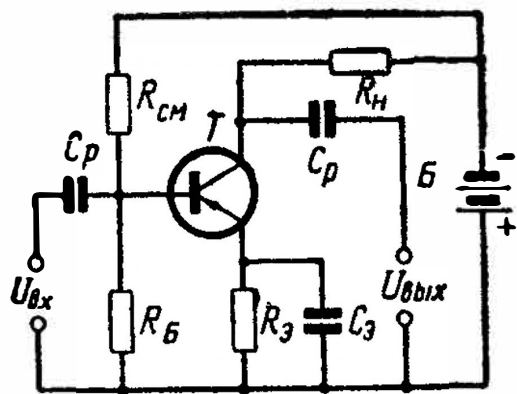


Рис. 12. Схема питания транзистора от одной батареи

базе, так как падение напряжения на эмиттерном переходе мало. Это свойство используют для стабилизации рабочей точки. Причем чем больше величина тока, протекающего через делитель напряжения, тем выше стабильность режима транзистора. Правда, на практике приходится несколько ограничивать возможности стабилизации, так как увеличение тока приводит и к увеличению расхода питания батареи, а это весьма нежелательно. Обычно ток делителя выбирают равным нескольким десятым долям величины тока коллектора транзистора.

Величину коэффициента неустойчивости схемы можно определить по формуле:

$$S = \frac{1 + \frac{R_э}{R_б} + \frac{R_э}{R_{см}}}{1 - \alpha + \frac{R_э}{R_б} + \frac{R_э}{R_{см}}}$$

Подставляя в это выражение реальные числовые значения элементов схемы, легко убедиться в том, что с уменьшением величины сопротивлений $R_б$ и $R_{см}$ делителя напряжения и увеличением сопротивления $R_э$ в цепи эмиттера коэффициент неустойчивости схемы стремится к единице, что свидетельствует о повышении стабильности работы усилителя.

На практике получить неустойчивость $S = 1$ или близкую ей в схемах с одним источником питания невозможно, так как одновременно с повышением стабильно-

сти работы усилителя сильно снижается его входное сопротивление, а следовательно, и общее усиление. Поэтому приходится выбирать какое-либо компромиссное решение. Обычно для любительских конструкций вполне приемлемым можно считать случай, когда коэффициент неустойчивости лежит в пределах 2—5.

Величины входящих в схему сопротивлений можно рассчитать по следующим формулам.

Сопротивление в цепи эмиттера:

$$R_э = \frac{\alpha (E - U_к - R_н I_к)}{I_к - I_{к0}}$$

где E — электродвижущая сила батареи B ;

$U_к$ — напряжение на коллекторе;

$R_н$ — сопротивление нагрузки.

Сопротивление делителя $R_б$:

$$R_б \approx \frac{R_э R_{см} (S - 1)}{R_{см} - R_э (S - 1)}$$

Сопротивление делителя $R_{см}$:

$$R_{см} = \frac{E (S - 1)}{I_к - S I_{к0}}$$

В обеих схемах, приведенных на рис. 11 и 12, показан конденсатор $C_э$. Он служит для устранения обратной связи по переменному току, что могло бы привести к резкому снижению коэффициента усиления схемы.

Величину его емкости можно рассчитать по приближенной формуле:

$$C_э > \frac{2,5 \cdot 10^3}{f_н}$$

где $f_н$ — низшая частота усиливаемого сигнала.

Рассмотренные способы температурной стабилизации рабочего режима транзистора за счет использования обратной связи являются основными.

Нередко в практике применяется способ температурной компенсации ухода рабочей точки с помощью нелинейного сопротивления, дающий очень хорошие результаты. В подобных схемах коэффициент неустойчивости S может быть меньше единицы. В качестве стабилизирующего элемента обычно используют термистор или полупроводниковый диод.

На рис. 13 показана схема температурной компенсации с помощью термистора R_T , включенного параллельно сопротивлению R_B делителя напряжения. С изменением температуры окружающей среды термистор изменяет сопротивление цепи делителя, устраняя влияние температуры на параметры усилителя в целом.

Нередко для температурной стабилизации режима работы транзистора используют обратную связь по напряжению. Подобная схема показана на рис. 14. Сопро-

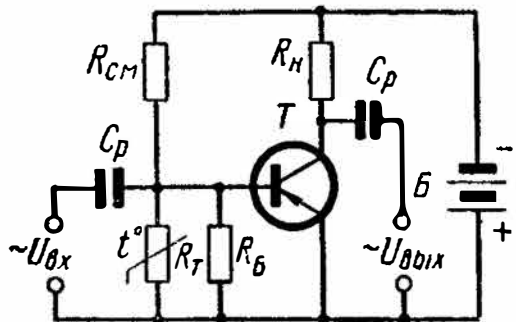


Рис. 13. Схема температурной компенсации с помощью термистора

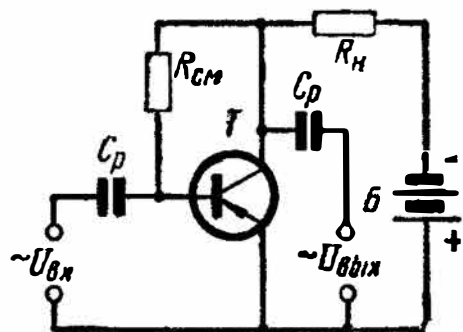


Рис. 14. Схема стабилизации с помощью обратной связи по напряжению

с использованием обратных связей как по току, так и по напряжению. Коэффициент нестабильности схемы равен:

$$S = 1 + \frac{\alpha R_B}{(1 - \alpha) R_B + R_N}$$

Очень часто на практике применяются более простые схемы питания транзистора, показанные на рис. 16 и 17.

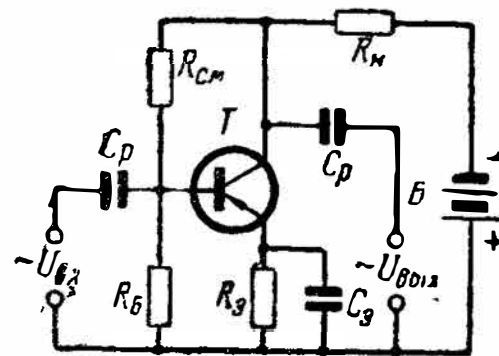


Рис. 15. Комбинированная схема стабилизации с помощью обратных связей по напряжению и по току

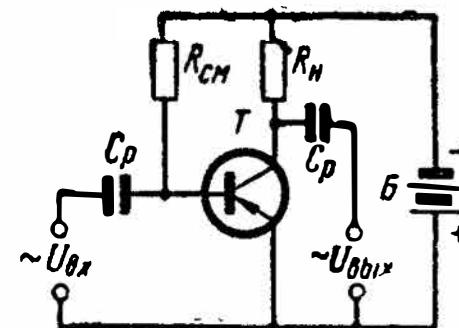


Рис. 16. Простейшая схема без стабилизации

тивление R_{CM} цепи смещения подключают к источнику питания не непосредственно, а через сопротивление R_N нагрузки каскада. В этом случае увеличение коллекторного тока приводит к увеличению падения напряжения на нагрузочном сопротивлении, что, в свою очередь, вызывает уменьшение напряжения смещения. Таким образом, коллекторный ток автоматически стабилизирует рабочую точку.

Коэффициент нестабильности схемы можно найти из выражения:

$$S = 1 + \frac{\alpha R_{CM}}{(1 - \alpha) R_{CM} + R_N}$$

Подставляя числовые значения элементов схемы, легко убедиться в том, что с ростом величины нагрузочного сопротивления R_N стабильность работы усилителя значительно улучшается.

Лучшим вариантом питания от одной батареи является комбинированная схема, показанная на рис. 15,

Они обладают низкой температурной стабильностью и требуют жесткой подборки транзисторов и их режимов. Несмотря на эти весьма существенные недостатки, приведенные схемы получили очень широкое распространение в простейших любительских конструкциях. Чтобы в какой-то мере компенсировать указанные недостатки, в этих схемах желательно снижать величину сопротивления нагрузки R_N и увеличивать ток в цепи делителя напряжения $R_{CM}R_B$, что, естественно, будет снижать усиление и увеличивать расход питания. Кроме того, при подборе транзисторов необходимо особое внимание обращать на величину обратного тока коллектора I_{KO} , стремясь выбрать экземпляры с минимальными значениями этого тока.

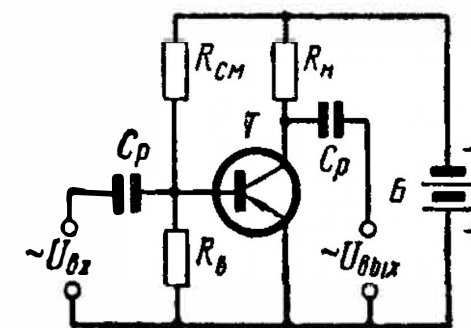


Рис. 17. Схема простейшей стабилизации с помощью делителя в цепи смещения

5. Некоторые замечания по проверке деталей приемника

Проверку радиодеталей обычно выполняют еще до сборки приемника, но иногда некоторые детали приходится перепроверять в процессе налаживания и даже производить их регулировку. Ранее уже были рассмотрены простые способы проверки транзисторов — наиболее ответственных деталей схемы. Теперь рассмотрим

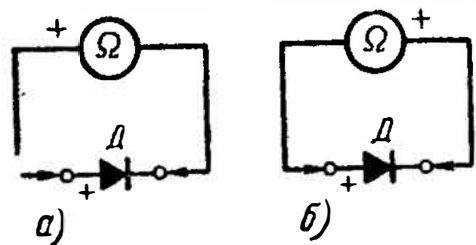


Рис. 18. Схема для проверки диода с помощью омметра

способы проверки таких, не менее ответственных деталей, как полупроводниковые диоды, конденсаторы переменной емкости и громкоговорители. В большинстве схем транзисторных приемников для преобразования высокочастотного промодулированного сигнала в сигнал звуковой частоты обычно применяются полупроводниковые диоды. Проверить и отбраковать эти детали можно с помощью обычного омметра, измеряя сопротивление перехода при прохождении через него постоянного тока в прямом и обратном направлении. Схема проверки показана на рис. 18. Сначала измеряют прямое сопротивление диода. Для этого вывод омметра, соединенный с плюсом батареи питания, соединяют с анодом, а второй, соединенный с минусом, подключают к катоду диода (рис. 18, а). Омметр в этом случае должен быть подготовлен к измерению малых сопротивлений. Если диод исправен, то величина измеренного сопротивления должна быть небольшой и лежать в пределах от нескольких десятков до двух-трех сотен ом. После этого изменяют полярность присоединения омметра к испытуемому диоду (рис. 18, б) и измеряют обратное сопротивление перехода. Прибор при этом должен быть подготовлен к работе на верхнем пределе измерений; величина сопротивления — не менее сотен ком. Лучшим среди однотипных экземпляров диодов следует считать тот, у которого наименьшее прямое и наибольшее обратное сопротивление перехода.

Наиболее часто настройка транзисторного приемника на частоту принимаемых радиостанций осуществляется с помощью конденсаторов переменной емкости. В зависимости от выбранной схемы и числа перестраиваемых

контуров могут применяться как одиночные конденсаторы, так и блоки конденсаторов. Эти детали, своевременно не подвергшиеся проверке, могут вызвать массу неполадок и затруднений при налаживании. От них зависит перекрытие рабочего диапазона приемника и, что особенно важно, точность сопряжения входных и гетеродинных контуров супергетеродинов. Основными параметрами указанных конденсаторов являются их начальная и максимальная емкости, которые соответствуют определенным намоточным данным контурных катушек, приводимым в том или ином описании. Поэтому, чтобы избежать осложнений при налаживании и добиться хорошей работы приемника, необходимо точно придерживаться рекомендаций, даваемых в описании. Чтобы выполнить эти требования, конденсаторы переменной емкости необходимо проверить и, если в этом будет необходимость, произвести соответствующую регулировку.

Конденсаторы промышленного изготовления в проверке не нуждаются. Но если конденсатор или блок конденсаторов изготовлены самостоятельно или по какому-либо описанию, то проверять емкость надо обязательно, так как в большинстве случаев неизбежен большой разброс между действительными величинами емкостей и указанными в описании (или расчетными и истинными). Происходит это потому, что при изготовлении может не оказаться нужного материала или будут расширены допуски и т. д.

Мы рассмотрим наиболее ответственный случай — проверку и регулировку сдвоенного блока конденсаторов переменной емкости. В практике встречаются две конструктивные разновидности блоков: с одинаковыми и разными емкостями отдельных секций. В первой конструкции минимальные и максимальные емкости одной секции равны соответствующим емкостям второй. Во второй — емкость одной секции выбирается в два раза меньше емкости другой. Делают это с целью удешевления и упрощения конструкции, используя то обстоятельство, что для перекрытия рабочего диапазона контура гетеродина супергетеродинной схемы требуется меньшая емкость, нежели для входного. Если при проверке конденсаторов с одинаковыми секциями емкости при различных углах поворота ротора должны быть равны, то при проверке конденсаторов с разными секциями отно-

шение емкостей должно быть 2:1, т. е. емкость одной из секций при любом положении ротора должна быть в два раза больше емкости другой. Причем разница в емкости или отношение емкостей допускается лишь в незначительных пределах. Так, например, конденсаторы, используемые в промышленных приемниках второго и третьего классов, выпускаются с допуском $\pm 1,5 \text{ нф}$ при углах поворота ротора на 15, 40 и 65° и $\pm 1,5\%$ при углах 95, 130 и 180°. Безусловно, что такие жесткие требования, предъявляемые к конденсаторам с воздушным

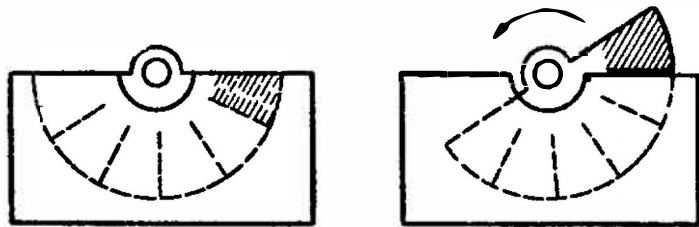


Рис. 19. Чертеж, поясняющий определение сектора, подлежащего регулировке

диэлектриком, было бы несправедливо предъявлять и к конденсаторам с твердым диэлектриком, которые обычно используются в миниатюрных транзисторных приемниках, но все же стремиться к этому надо. Проверку и регулировку конденсаторов желательно производить с помощью специального прибора для измерения емкостей. Порядок работы сводится к следующему. Ротор блока ставят в положение максимальной емкости и производят соответствующие измерения. Подгонку емкости выполняют с помощью регулировочных секторов крайних разрезных пластин. Причем регулируют тот сектор, который в последующий момент, при повороте ротора на некоторый угол, выйдет из статорных пластин. На рис. 19 сектор, подвергающийся регулировке при подгонке максимальной емкости секций, покрыт штриховкой.

Аналогично производят подгонку емкостей при различных положениях ротора.

Не менее важно убедиться в качественной работе громкоговорителя. Проверку громкоговорителя осуществляют на слух с помощью уже налаженного приемника, трансляционной сети или генератора звуковой частоты. Для более качественной оценки работы громкоговорителя желательно пользоваться радиотрансляционной

сетью, но при этом не следует забывать, что ее напряжение может быть равным 15 или 30 в, а для нормальной работы большинства маломощных громкоговорителей вполне достаточно напряжения 1—1,5 в. Поэтому необходимо пользоваться делителем напряжения (потенциометром) с сопротивлением 1—1,5 ком . Громкоговорители с низкоомными (до 10—12 ом) звуковыми катушками желательно проверять совместно с предназначенными для них согласующими трансформаторами. Кроме того, для правильной оценки громкости звучания необходимо создавать реальные условия работы, помещая громкоговоритель в футляр.

Предварительная проверка деталей позволяет избавиться от многих неполадок и упрощает налаживание приемника.

6. Различие и общность схем транзисторных приемников

В радиолюбительской практике встречается множество самых разнообразных, простых и сложных транзисторных радиовещательных приемников. Несмотря на огромное многообразие, по принципу работы и по электрическим схемам все они могут быть объединены в две группы.

В первую группу входят приемники прямого усиления, во вторую — супергетеродинные. Первые из них имеют простые схемы, несложны в сборке и налаживании и, естественно, завоевали большую популярность среди радиолюбителей.

Вторые сложнее во всех отношениях, но обладают лучшими электрическими показателями, благодаря чему изготавливаются, в основном, в промышленности.

Правда, в последние годы супергетеродинные транзисторные приемники постепенно вытесняют своих «собратьев» и на радиолюбительском поприще, поскольку такие важные параметры, как высокая чувствительность и хорошая избирательность, присущи именно им.

Схемы приемников прямого усиления и супергетеродинных наряду с принципиальным различием имеют и много общего. На рис. 20 показаны две блок-схемы: на рис. 20, а блок-схема приемника прямого усиления, на рис. 20, б — супергетеродин. Как видно из рисунка,

принципиальное различие схем заключается в том, что вторая из них, помимо наличия однотипных каскадов, детектора и усилителя низкой частоты, имеющих в первой, содержит еще преобразователь высокой частоты в промежуточную и усилитель промежуточной частоты. Обусловлено это принципами работы схемы приемника прямого усиления и супергетеродина.

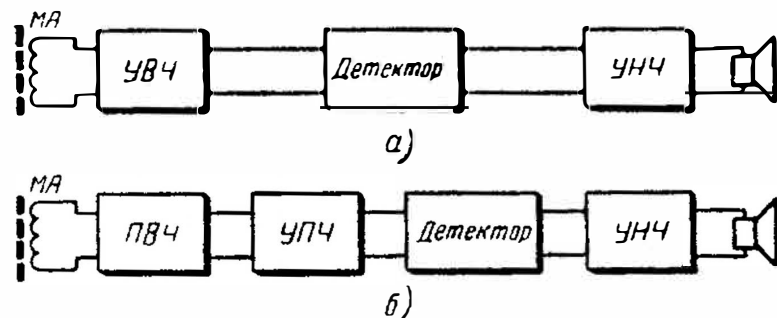


Рис. 20. Блок-схемы приемников прямого усиления и супергетеродина

В первом случае высокочастотный сигнал радиостанции, принятый магнитной антенной приемника, поступает на усилитель высокой частоты и усиливается до величины, необходимой для нормальной работы детектора. К высокочастотному усилителю предъявляются очень серьезные требования: он должен быть настраиваемым, обеспечивать большое усиление и хорошую избирательность. Достигнуть этого при работе в широкой полосе радиочастот практически очень трудно. Схемы усилителей упрощают, делают ненастраиваемыми (апериодическими), а это резко снижает качественные показатели приемника прямого усиления в целом.

Во втором случае тот же сигнал радиостанции из магнитной антенны попадает в преобразователь высокой частоты, преобразуется в промежуточную, усиливается усилителем промежуточной частоты и лишь после этого достигает детектора. Усилитель промежуточной частоты, работающий в узкой полосе частот, обеспечивает хорошее усиление и повышает избирательность супергетеродинного приемника в целом.

Вполне естественно, что применение указанных каскадов хотя и повышает качественные показатели супергетеродинных схем, но значительно усложняет конструкцию и процесс налаживания приемника.

7. Последовательность налаживания транзисторных приемников

После предварительной сборки и монтажа рабочего макета приемника или после окончательной сборки на основной монтажной плате можно приступить к налаживанию приемника.

Наиболее удобна сборка рабочего макета со свободным монтажом и открытым доступом к любой из деталей схемы. В случае необходимости легко можно заменить детали в отдельных каскадах приемника. Выполнить же эти операции в схеме, окончательно собранной на основной монтажной плате, довольно трудно. Рациональность макетирования особенно проявляется при экспериментировании и налаживании новых еще не отработанных схем транзисторных приемников. Правда, при налаживании макета нельзя полностью завершить работу, в частности точную настройку высокочастотных контуров на нужную частоту (при переборке приемника на основную монтажную плату неизбежна расстройка), но это несущественно, так как произвести незначительную подстройку не представляет особого труда.

Как уже говорилось выше, в практике существует множество различных схем приемников прямого усиления и супергетеродинов, имеющих как принципиальные различия, так и много общего. Общность схем облегчает налаживание и делает его примерно одинаковым для всех низкочастотных и детекторных каскадов транзисторных радиоприемников. В то же время различие в схемах не мешает разработать общую методику и указать определенную последовательность проверки и налаживания.

Порядок проверки и налаживания любого собранного транзисторного приемника сводится к следующему. Сначала смонтированную схему необходимо весьма тщательно проверить по принципиальной, обращая особое внимание на правильность распайки выводов транзисторов и соответствие номинальных значений величин сопротивлений, входящих в цепи питания их баз. Эта предосторожность необходима по той простой причине, что неправильное включение транзистора или недопустимо большое напряжение на его управляющем электроде — базе может привести к его порче. Предо-

сторожность необходима и при включении батареи питания, связана она с соблюдением нужной полярности («плюс» и «минус»). Неправильное включение батарей в схему также может быть причиной выхода полупроводниковых приборов из строя. После проверки схемы приступают к ее налаживанию под током.

Начинают с проверки режимов транзисторов по постоянному току, ориентируясь по указаниям, приведенным в описании собранной схемы, или по специальным эксплуатационным данным, имеющимся в соответствующих справочниках на полупроводниковые приборы. Указания, приводимые в описании, будут справедливы лишь в том случае, если в схеме используются транзисторы с рекомендованными параметрами. При использовании транзисторов с другими данными режимы работы придется подбирать экспериментально в процессе налаживания приемника.

Следующий этап работы — налаживание усилителя напряжения низкой частоты. Выполняют его покаскадно, начиная с усилителя мощности и постепенно продвигаясь ко входу. При этом добиваются получения нужной выходной мощности, наименьших искажений, максимального усиления сигнала и минимально возможного тока потребления от батареи питания. Последнее обстоятельство имеет особое значение, так как основным потребителем тока, обуславливающим расход питания, является выходной каскад приемника.

Детекторный каскад, выполненный на полупроводниковом диоде, подлежит лишь проверке на работоспособность: если он собран правильно, то в налаживании не нуждается. Каскад на транзисторе требует тщательного налаживания. При этом надо иметь в виду, что он обычно используется и как детектор и как усилитель низкой частоты.

После налаживания низкочастотной части приемника и детектора приступают к налаживанию и настройке усилителей промежуточной или высокой частоты, добиваются нужного усиления, избирательности и полосы пропускания.

Последними налаживают преобразователь частоты, его смесительную и гетеродинную части и входные цепи. В супергетеродинных схемах, кроме того, выполняют сопряжение входных и гетеродинных контуров друг с другом.

Заключительным этапом работ по налаживанию приемника является градуировка его шкалы настройки и, если в этом есть необходимость и имеются соответствующие измерительные приборы, снятие качественных показателей и электрических характеристик.

ГЛАВА ВТОРАЯ

УСИЛИТЕЛИ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ И ИХ НАЛАЖИВАНИЕ

Как уже было сказано выше, низкочастотные усилительные каскады являются неотъемлемой частью как схем приемников прямого усиления, так и супергетеродинного типа. Их назначение сводится к тому, чтобы обеспечить надлежащее усиление низкочастотного сигнала, поступившего с детектора, и получить необходимые для нормальной работы громкоговорителя выходные напряжение и мощность.

В настоящей главе даются краткие описания и рассматриваются практические вопросы налаживания наиболее распространенных схем усилителей низкой частоты, применяемых радиолюбителями в своих конструкциях транзисторных радиоприемников.

1. Схема простого нестабилизированного усилителя с однотактным выходом

В несложных любительских транзисторных приемниках, как правило, применяют простые двух-, трехкаскадные усилители низкой частоты с однотактным выходным каскадом. Простейший вариант схемы такого усилителя показан на рис. 21. Схема содержит два транзистора,

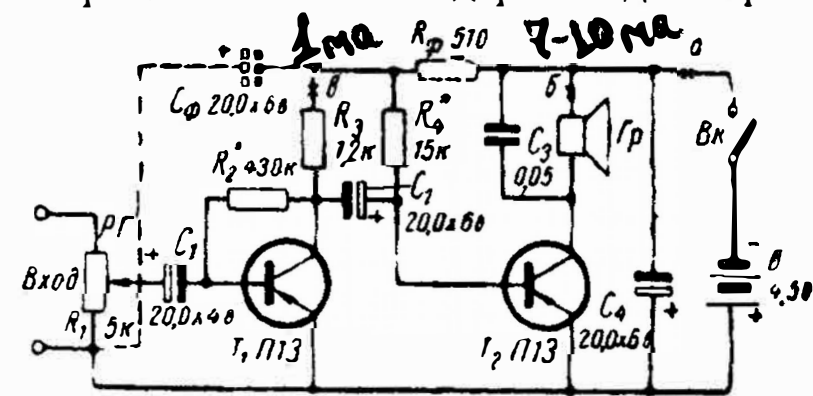


Рис. 21. Схема простого нестабилизированного усилителя с однотактным выходом

первый из них T_1 работает в каскаде предварительного усиления, а второй T_2 в выходном. Транзистор выходного каскада работает в режиме класса A . В этом режиме рабочая точка выбирается так, чтобы при изменении переменного напряжения на входе транзистора коллекторный ток не выходил за пределы прямолинейного участка характеристики. Это обстоятельство позволяет свести к минимуму нелинейные искажения, но значительно увеличивает расход питания, что, естественно, снижает коэффициент полезного действия каскада. Для указанного режима работы транзистора он не превышает 50%. В реальных схемах даже это значение получить очень трудно, практически удается добиться лишь 30—40%. Ввиду этого подобный режим используется для усилителей с незначительной выходной мощностью, не превышающей 20—30 мвт, что свойственно и рассматриваемой схеме. Из рис. 21 видно, что оба транзистора усилителя включены по схеме с общим эмиттером, обладающей в сравнении с другими схемами включения (с общей базой и общим коллектором) наибольшим усилением по мощности и имеющей среднее значение входного и выходного сопротивления. Благодаря этому она нашла применение в большинстве распространенных схем усилителей низкой частоты.

Первый усилительный каскад рассматриваемого усилителя собран на сопротивлениях. Его нагрузкой является сопротивление R_3 . С помощью сопротивления R_2 на базу транзистора подается необходимое напряжение смещения. С целью некоторой стабилизации рабочего режима транзистора каскад охвачен отрицательной обратной связью по напряжению. Для этого сопротивление R_2 включено между базой и коллектором транзистора. Подобный способ стабилизации режима уже был объяснен в разделе 5 главы I. Назначение остальных элементов схемы каскада следующее. Конденсатор C_1 разделительный. Переменное сопротивление R_1 — регулятор громкости. Обычно это сопротивление используют в качестве нагрузки детектора. Связь каскада предварительного усиления с выходным осуществляется посредством разделительного конденсатора C_2 .

Выходной каскад (транзистор T_2) нагружен на сопротивление катушки электромагнитного громкоговорителя G_r , включенной непосредственно в цепь коллекто-

ра. Сравнительно низкое выходное сопротивление транзистора позволяет использовать в схеме громкоговорителя с сопротивлением катушек 50—150 ом постоянному току.

Для предотвращения самовозбуждения каскада на высших звуковых частотах катушка громкоговорителя зашунтирована конденсатором C_3 . Этот конденсатор одновременно является и корректирующим в области указанных частот. Нужное напряжение смещения на базе транзистора T_2 обуславливается величиной сопротивления R_4 .

Выходной каскад не имеет специальной температурной стабилизации рабочего режима. Вызвано это двумя причинами: во-первых, упрощением схемы, во-вторых, режим работы усилительного каскада с незначительным сопротивлением нагрузки менее подвержен температурным влияниям, нежели каскад с высокоомной нагрузкой, что имело место в предварительном усилителе.

Питание схемы осуществляется от батареи B , заблокированной конденсатором большой емкости C_4 , который предотвращает возможность возникновения самовозбуждения из-за связи каскадов через цепи питания.

В схеме можно использовать любые распространенные маломощные низкочастотные транзисторы типа П13, П13А, П13Б, П14, П15, П16, П16А, П16Б или аналогичные им ранее выпускавшиеся транзисторы типа П6А, П6Б, П6В, П6Г, П6Д и другие с коэффициентами усиления по току $\beta = 20 \div 25$ и выше и обратными токами коллектора $I_{к0}$, не превышающими 10—20 мка. При этом следует заметить, что для данной схемы или ей аналогичной весьма желательно подбирать транзисторы с возможно меньшим током $I_{к0}$. Это значительно упростит налаживание и сделает усилитель более стабильным в работе. Об использовании транзисторов с различными коэффициентами усиления сказано ниже.

В качестве громкоговорителя целесообразно использовать микротелефонные электромагнитные капсюли типа ДЭМШ-1, ДЭМШ-1а, ДЭМ-4, ДЭМ-4м и телефон ВТМ-1 от слухового аппарата «Кристалл» с сопротивлением катушек 64—150 ом постоянному току. Вполне понятно, что эти капсюли должны иметь специальный диффузор, создающий надлежащее звуковое давление.

Кроме электромагнитных громкоговорителей, можно использовать и миниатюрные электродинамические как промышленного, так и самостоятельного изготовления. Правда, промышленные громкоговорители имеют низкоомные (5—10 ом) звуковые катушки, поэтому включать их в схему необходимо через согласующий трансформатор. В данном конкретном случае наиболее целесообразно использовать громкоговоритель 0,1-ГД-6 от приемников «Топаз» и «Старт», обладающий хорошей чувствительностью. Схемы включения и данные согласующих трансформаторов для электродинамических громкоговорителей будут даны ниже.

2. Последовательность и способы налаживания усилителя с одноканальным выходным каскадом

Налаживание рассмотренной схемы (см. рис. 21) начинают с проверки монтажа. Делают это либо осмотром, либо с помощью омметра. Особенно тщательно необходимо проверить распайку выводов транзисторов и цепи подачи напряжения смещения. При этом желательно убедиться в правильности номинальных значений сопротивлений.

После этого проверяют пригодность батареи питания. Обычно делают это под нагрузкой, подключая ее к собранной схеме и измеряя вольтметром постоянного тока напряжение на выводах. Но подобный способ нельзя считать правильным. Не исключена возможность, что в схеме есть какая-либо неисправность, вызывающая слишком большое потребление тока от батареи. Естественно, что в этом случае вольтметр даст заниженные показания. Но в чем причина: то ли разряжен источник питания, то ли неисправна схема? Чтобы избежать двойного вопроса, необходимо сначала испытать лишь одну батарею. Испытание сводится к определению способности источника обеспечить нужный ток в цепи нагрузки. Контроль ведут с помощью миллиамперметра постоянного тока на 100—200 ма. В качестве нагрузки используют сопротивление около 100 ом.

Схема испытания батареи показана на рис. 22. Если батарея не разряжена, то прибор зафиксирует ток около 50 ма. Причем значение тока не должно изменяться

со временем. Если же батарея потеряла емкость, то получить нужный ток в цепи не удастся, он будет постоянно изменяться, стремясь к нулю. Величина контрольного тока должна выбираться в три-четыре раза большей, нежели ток, потребляемый схемой, подлежащей налаживанию. Подобным способом можно проверять любые применяющиеся для питания транзисторных схем батареи. Вполне естественно, что для каждого конкретного случая необходимо выбирать определенное значение сопротивления нагрузки. Убедившись в исправности источника тока, приступают к электрической проверке налаживаемой схемы.

В разрыв минусовой цепи питания в точке *a* (см. рис. 21) включают миллиамперметр постоянного тока на 20—30 ма и, подав напряжение, наблюдают за его показаниями. Если схема смонтирована правильно, а примененные транзисторы имеют небольшой ток $I_{к0}$ и коэффициенты усиления по току β в пределах 20—100, то ток потребления должен быть не более 13—15 ма. Значительно больший ток потребления может быть при неправильном режиме работы транзисторов из-за несоответствия номинальных значений сопротивлений рекомендуемым при наличии в схеме какой-либо неисправной детали или при самовозбуждении усилителя. Генерация может быть как непрерывная, так и прерывистая. В первом случае в громкоговорителе будет прослушиваться ровный, достаточно высокий звуковой тон, а контрольный прибор зафиксирует наличие большого неизменяющегося тока потребления. Во втором — звуковой тон и его громкость изменяются, и прослушивается он периодически, через равные промежутки времени. При этом в такт с паразитными колебаниями изменяется и ток, потребляемый схемой. Самовозбуждение может возникнуть из-за паразитной связи отдельных каскадов усилителя друг с другом через цепи питания. Устранить самовозбуждение можно следующими простыми способами: увеличением емкости конденсатора C_4 , блокирующего источник питания до 50—100 мкф, или введением в схему развязывающего межкаскадного фильтра, состоящего из сопротивления R_{ϕ} 200—1 000 ом и

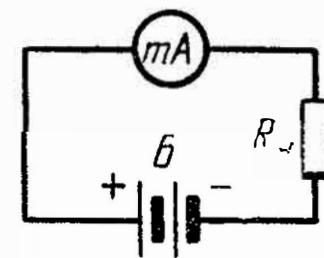


Рис. 22. Схема испытания батареи питания

конденсатора C_{ϕ} емкостью 10—20 мкф (на схеме рис. 21 они показаны пунктиром).

В том случае, когда самовозбуждение отсутствует, но ток потребления велик, необходимо сразу же выключить питание, потрогать транзисторы и убедиться в том, что они не греются. Если наблюдается нагрев какого-либо из транзисторов, то надо тщательно проверить монтаж, номинальные значения сопротивлений, а также выяснить, нет ли пробоя разделительного конденсатора неисправного каскада. При отсутствии неполадок наличие большого тока потребления можно отнести за счет неисправного транзистора. Тогда его выпаивают из схемы и заменяют заведомо проверенным.

Устранив все неисправности, приступают к установке режима работы транзисторов по постоянному току, ориентируясь на рекомендации, обычно приводимые в описаниях схем. В данном конкретном случае, при использовании транзисторов со средними по величине коэффициентами усиления по току $\beta = 50 \div 60$, обратным током коллектора $I_{к0}$, но превышающим 10 мка, номинальными значениями сопротивлений $R_2 - R_4$, приведенными на схеме рис. 21, и сопротивлением нагрузки выходного каскада, равным 150 ом постоянному току (сопротивление катушки микротелефонного капсюля ДЭМШ-1), рекомендуются следующие режимы.

Для транзистора T_1 ток коллектора около 1 ма, для T_2 около 7—10 ма. Измерить эти токи можно с помощью миллиамперметра постоянного тока, включая его в разрыв соответствующих цепей питания в точках б и в. Установление нужных режимов, подгонку их к рекомендуемым значениям производят подбором сопротивлений в цепях смещения R_2 для транзистора T_1 и R_4 для транзистора T_2 . Эту операцию удобно проводить с помощью переменных сопротивлений несколько большего номинала, нежели рекомендуемый. Последовательно с этими сопротивлениями обязательно следует включать постоянное сопротивление в несколько килоомов, предохраняющее транзистор от случайной перегрузки большим током, который может возникнуть при выведении движка переменного сопротивления в сторону минимального значения.

Установку нужного коллекторного тока начинают с наименьших значений, т. е. с момента, когда регулиро-

ванное сопротивление имеет максимальное значение, постепенно продвигаясь в сторону увеличения. Подобранный режим, переменное и ограничивающее сопротивление выпаивают из схемы, омметром измеряют их суммарную величину и заменяют одним постоянным сопротивлением близкого номинала.

Нередко может получиться так, что величина измеренного сопротивления находится в середине двух ближайших номинальных значений сопротивлений. В этом случае надо выбрать сопротивление с большим номинальным значением, соответствующим не увеличению коллекторного тока от рекомендуемого значения, а, наоборот, его уменьшению. Это необходимо сделать из тех соображений, чтобы не попасть на критическую точку вольтамперной характеристики транзистора, после которой усиление будет резко падать, а ток потребления бесцельно возрастать.

Рассмотренный способ контроля и установки режимов работы транзисторов по постоянному току можно применять при налаживании любых транзисторных схем.

Нередко радиолюбитель, экспериментирующий с различными транзисторными схемами, не располагает никакими конкретными рекомендациями по установке режимов транзисторов. В этом случае их подгонку делают в процессе налаживания, добиваясь качественной работы схемы и ориентируясь на предельно допустимые эксплуатационные данные, которые можно найти в любом справочнике на полупроводниковые приборы.

Налаживание низкочастотного усилителя можно выполнить тремя простыми способами. Первый — с помощью звукоснимателя, проигрывая грампластинку или подавая часть напряжения радиотрансляционной сети на вход усилителя. Второй — с помощью работоспособной высокочастотной и детекторной частей приемника, схема которого не имеет принципиального значения и может быть как прямого усиления, так и супергетеродина типа. И третий способ налаживания — с помощью специальных низкочастотных измерительных приборов: генератора звуковой частоты, лампового вольтметра и электронного осциллографа.

Первый способ заключается в следующем. Ко входу усилителя (см. рис. 21) подключают звукосниматель. Если он электромагнитного типа, обычно с низким

(1—2 ком) сопротивлением катушки, то его можно подключить непосредственно ко входу усилителя. Если же это пьезоэлектрический звукосниматель, то присоединять его к усилителю желательно посредством согласующего трансформатора, который можно изготовить на сердечнике сечением 1—2 см². Первичная обмотка должна содержать 2 500—3 000 витков, а вторичная 75—100 витков провода ПЭЛ или ПЭВ 0,08—0,1.

В качестве такого готового трансформатора можно использовать какой-либо выходной трансформатор от лампового приемника. В крайнем случае пьезоэлектрический звукосниматель можно включать и непосредственно на вход усилителя. Правда, снимаемый с него сигнал будет очень ослаблен, но все же достаточен для проверки и налаживания схемы.

Экранирующую оплетку соединяют с плюсовой шиной цепи питания, а центральный провод присоединяют к верхнему по схеме рис. 21 выводу переменного сопротивления R_4 . В разрыв общей минусовой цепи питания в точке *a* включают миллиамперметр постоянного тока на 20—30 ма.

После соответствующих приготовлений включают питание усилителя и, проигрывая граммофонную пластинку с какой-либо равномерной записью, приступают к подгонке режимов транзисторов T_1 и T_2 . Изменяя величину сопротивлений в цепях смещения R_2 и R_4 , добиваются максимальной громкости воспроизведения грамзаписи, наблюдая при этом за показаниями контрольного прибора в цепи питания. Вполне удовлетворительная громкость (достаточная для жилой комнаты средних размеров) должна обеспечиваться при токе потребления 8—12 ма.

Если нужная громкость получается при больших значениях потребляемого тока, то в схему необходимо поставить транзисторы с большими коэффициентами усиления β или еще раз перепроверить работу громкоговорителя G_r . При подведении к его катушке переменного напряжения 0,6—1,5 в звуковой частоты 400—5 000 гц (для проверки можно воспользоваться радиотрансляционной сетью, прибегая к помощи делителя напряжения или звуковым генератором) громкоговоритель должен создавать достаточное для нормального слуха звуковое давление.

Ввиду того что миниатюрные громкоговорители имеют маленькую излучающую поверхность диффузора, при испытании их желательно помещать в предназначенный для приемника футляр, увеличивая тем самым полезную рабочую резонирующую площадь и создавая реальные условия работы.

При исправном громкоговорителе единственной причиной (конечно, не считая неисправности звукоснимателя) малой громкости звучания могут быть слишком низкие коэффициенты усиления примененных транзисторов.

Добившись нужной громкости и допустимого тока потребления, можно подобрать желаемый тембр звучания. Делают это с помощью конденсатора C_3 . Подборку его емкости выполняют, проигрывая грампластинки с записями низкого мужского и высокого женского голосов. Если усилитель слишком подчеркивает высокие звуковые частоты, то величину емкости C_3 увеличивают и, наоборот, уменьшают, если подчеркнуты низкие. На этом налаживание схемы заканчивают.

Аналогичным образом налаживают усилитель и с помощью радиотрансляционной сети, а также высокочастотной части (второй способ). Пользуясь трансляционной сетью, необходимо применять делитель напряжения, так как напряжение сети велико. Городская сеть имеет напряжение 15 в, а загородная 30 в. В качестве делителя используют обычное переменное сопротивление 1—2 ком с включенным последовательно с ним гасящим сопротивлением величиной 100—200 ком.

Порядок налаживания схемы с помощью специальной низкочастотной измерительной аппаратуры (третий способ) сводится к следующему. Параллельно выводам громкоговорителя G_r подключают вход электронного осциллографа и ламповый милливольтметр. К базе транзистора T_2 выходного каскада усилителя через последовательно соединенные друг с другом конденсатор емкостью 0,05—0,1 мкф и сопротивление 5—10 ком от звукового генератора подводят синусоидальный сигнал с частотой 1 000 гц и напряжением около 50 мв. Подбирая сопротивление R_4 , добиваются получения на выходе усилителя неискаженного синусоидального напряжения порядка 1—1,5 в, одновременно с этим контролируя и

ток, потребляемый выходным каскадом, который может быть 7—10 *ма*.

Если добиться этого не удастся, то необходимо заменить транзистор, поставив на его место другой, с большим коэффициентом усиления. Правда, если некоторое увеличение расхода питания не имеет принципиального значения, то можно не менять транзистор, а увеличить его коллекторный ток до 12—15 *ма*.

Некоторое нарушение предельно допустимых эксплуатационных данных полупроводникового прибора вполне возможно, так как в этом случае транзистор даже в режиме молчания рассеивает маленькую выходную мощность, которая равна 60 *мвт*, тогда как наибольшая мощность, рассеиваемая транзистором типа П-13, равна 150 *мвт*. Следовательно, мощность рассеивания выходного каскада в конкретной схеме в 2,5 раза меньше допустимой. Поэтому можно несколько увеличить коллекторный ток транзистора T_2 , не рискуя вывести его из строя.

Все сказанное справедливо для схемы, предназначенной для работы в условиях с незначительным перепадом температур.

При работе усилителя при повышенных температурах, что вполне возможно в условиях юга страны, предельно допустимая мощность, рассеиваемая транзистором, будет меньше указанной в справочных данных. Рассчитать ее новое, зависящее от температуры окружающей среды значение можно по формуле:

$$P_t = P_{\text{макс}} \frac{t_{n \text{ макс}} - t_0}{t_{n \text{ макс}} - t_{\text{кр}}},$$

где $t_{n \text{ макс}}$ — предельно допустимая температура перехода, °С;

t_0 — температура окружающей среды, °С;

$t_{\text{кр}}$ — критическая температура, равная 20°С;

$P_{\text{макс}}$ — максимально допустимая мощность, рассеиваемая транзистором при $t = 20^\circ\text{С}$.

Значение предельно допустимой температуры коллекторного перехода и максимальной мощности можно найти в справочных данных на полупроводниковые приборы.

Рассмотрим конкретный случай работы схемы в условиях южного пляжа. Температура воздуха на солнце

пеке около +60°С. Наивысшая допустимая температура коллекторного перехода транзистора типа П13 равна +100°С. Подставляя числовые значения температур и мощности в формулу, приведенную выше, находим, что предельно допустимая мощность будет около 75 *мвт*. Это необходимо обязательно учитывать, особенно в том случае, когда мощность выходного каскада усилителя соизмерима с предельно допустимой мощностью транзистора, рассчитанной при температуре +20°С.

После некоторого отступления продолжим рассмотрение вопроса о дальнейшем налаживании схемы рис. 21. Следом за выходным приступают к налаживанию каскада предварительного усиления. Для этого выход звукового генератора отключают от базы транзистора T_2 и присоединяют к базе T_1 , к верхнему по схеме выводу регулятора громкости $РГ$. Выходной сигнал уменьшают до 18—20 *мв*, движок потенциометра R_1 ставят в верхнее по схеме положение и подбирают сопротивления R_2 и R_3 , добиваясь получения на выходе усилителя ранее установленного переменного напряжения 1—1,5 *в*, стараясь сохранить его синусоидальную форму, не допуская каких-либо заметных на глаз искажений.

Одновременно с этим необходимо следить и за коллекторным током транзистора T_1 , который при данных величинах сопротивлений, близких к указанным на схеме, не должен превышать 1,5 *ма*. Налаженный усилитель может обладать следующими электрическими показателями: максимальная выходная мощность при использовании в качестве нагрузки окончного каскада катушки микротелефонного капсюля ДЭМШ-1 с сопротивлением 150 *ом* постоянному току около 12 *мвт*; чувствительность со входа 18—25 *мв*; коэффициент нелинейных искажений не превышает 5%; ток потребления 10—12 *ма*. Коэффициент полезного действия η найдем из выражения:

$$\eta = \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{потр}}} \cdot 100\%,$$

где $P_{\text{вых}}$ — максимальная выходная мощность усилителя;

$P_{\text{потр}}$ — мощность, потребляемая от батареи питания.

Для данной схемы к. п. д. будет равен 24%.

3. Рекомендации по использованию транзисторов

В рассмотренной выше схеме применялись транзисторы со средними по величине коэффициентами усиления по току $\beta = 50 \div 60$. Вполне естественно, что радиолюбителю-конструктору небезынтересно знать, как поведет себя схема при использовании транзисторов с меньшими или бóльшими коэффициентами β . Схемы простейших усилителей содержат небольшое количество элементов, что привлекает внимание многих радиолюбителей, особенно начинающих. Но за этим ценным качеством кроется и большой недостаток, так как схема весьма чувствительна к замене транзисторов, а поступающие в широкую продажу транзисторы имеют очень большой разброс основных параметров, особенно коэффициента усиления по току, поэтому подобрать нужные для схемы транзисторы практически не удастся. Вынужденное пренебрежение рекомендациями, даваемыми в описании схем, часто приводит к тому, что схема плохо повторяется, тем более что радиолюбитель нередко оставляет без изменения данные элементов схемы, особенно сопротивления в цепях смещения, определяющие режим работы транзисторов.

Простейшие схемы не имеют специальных элементов автоматической установки и стабилизации режима работы транзисторов, поэтому если имеются какие-либо отклонения параметров транзисторов, то обязательно нужно подбирать режим их работы конкретно для каждого частного случая. Это подтверждается экспериментальными данными.

В схеме усилителя рис. 21 использовались низкочастотные транзисторы типа П13—П16 с различными коэффициентами усиления β — с наиболее низким, равным 20, и наиболее высоким, равным 90. Кроме того, в ней применялись и транзисторы с средним значением β , равным 55.

Усилитель на транзисторах с низкими коэффициентами усиления обладает следующими электрическими показателями: чувствительность со входа 22 мв; выходное напряжение 1,2 в; коэффициент усиления по напряжению около 50; выходная мощность порядка 8 мвт. Этого вполне достаточно, чтобы использовать усилитель в простом транзисторном приемнике.

Усилитель на транзисторах с высокими коэффициентами усиления обладает лучшими данными. Его чувствительность со входа 18 мв; выходное напряжение 1,5 в; коэффициент усиления по напряжению около 80; выходная мощность порядка 12 мвт. Безусловно, такой усилитель обеспечит лучшую работу в том же транзисторном приемнике. Но как бы там не было, оба варианта вполне работоспособны при определенных параметрах транзисторов и данных элементов схемы. Так, при $\beta = 20$ для получения на базе транзистора T_1 напряжения 0,15 в, определяющего режим его работы, в цепь смещения надо включить сопротивление R_1 величиной 240 ком, а для установки напряжения 0,12 в на базе транзистора T_1 при $\beta = 90$ необходимо, чтобы величина указанного сопротивления была 1 000 ком, или 1 Мом. Если, не изменяя величин сопротивлений, поменять местами транзисторы, то вполне очевидно, что большая величина сопротивления не позволит получить нужного напряжения смещения на базе первого транзистора и добиться желаемого усиления каскада, так как ток коллектора будет чрезмерно мал, а следовательно, будет мал и коэффициент усиления транзистора.

Примерная зависимость коэффициента β и тока I_K от напряжения смещения U_B показана на рис. 23, откуда видно, что транзистор с большим коэффициентом усиления может попасть в очень тяжелые условия работы. При малой величине сопротивления R_1 напряжение смещения может превысить критическое значение, при котором усиление транзистора будет мало, но ток коллектора недопустимо велик. Такой режим может вывести транзистор из строя.

Из сказанного выше ясно, что в простейших схемах необходимо тщательно выбирать режим работы транзистора конкретно для каждого частного случая.

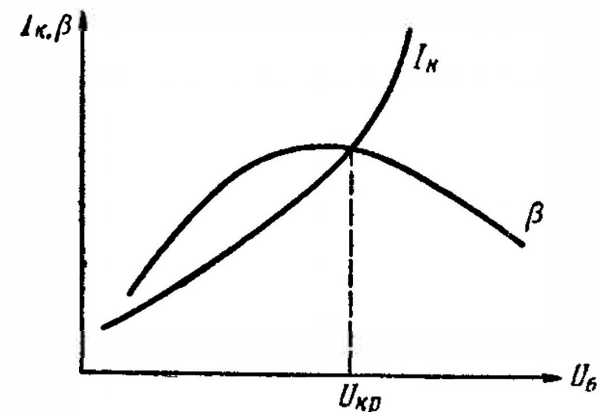


Рис. 23. Кривые зависимости коэффициента усиления β и коллекторного тока транзистора I_K от напряжения на его базе U_B

В схеме рис. 21 можно использовать выходную нагрузку с активным сопротивлением не 150, а 64 ом. Таким сопротивлением обладает катушка микрофонного капсюля ДЭМ-4 или ДЭМ-4м. При повышении коэффициента нелинейных искажений до 10—12% можно получить большую, до 20—30 мвт, выходную мощность. Если довести выходную мощность до указанной величины, то в схеме можно будет использовать миниатюрные электрические громкоговорители с низкоомными (5—10 ом) звуковыми катушками. Несмотря на повышенный коэффициент нелинейных искажений схемы, они обеспечат более качественное воспроизведение звука нежели электромагнитные громкоговорители, имеющие очень плохую частотную характеристику.

Включать электродинамические громкоговорители низкоомными катушками следует через понижающий согласующий трансформатор. Его данные могут быть следующими: сердечник из пермаллоя марок 50Н или 79Н сечением 0,2—0,5 см² (обычно набирается из стандартных пластин Ш-3, Ш-4); первичная обмотка должна иметь 450 витков провода ПЭЛ или ПЭВ 0,08—0,15, соответственно для указанного типа пластин; вторичная — 120 витков провода той же марки диаметром 0,15—0,2 или 0,25—0,33 мм. От вторичной обмотки надо сделать 5—6 отводов через каждые 8—10 витков. Это позволит использовать трансформатор с громкоговорителями, имеющими различные сопротивления звуковых катушек (5—10 ом). Нужное число витков находят при налаживании схемы, экспериментальным путем добиваясь получения максимально возможного напряжения на катушке и наименьших искажений.

4. Схема простого стабилизированного усилителя с одноканальным выходом

В своей повседневной практике радиолюбитель может столкнуться с другой, менее распространенной двухтранзисторной схемой низкочастотного усилителя приведенной на рис. 24 и отличающейся от ранее рассмотренной схемы (см. рис. 21) несколько большей сложностью. В схему введены элементы стабилизации режимов работы транзисторов. Так, например, напряжение смещения на базы транзистора

T_1 , T_2 снимается не с отдельных гасящих сопротивлений, как это имело место в предыдущей схеме, а со специальных делителей R_2R_4 и R_6R_7 , обеспечивающих не только нужные значения опорного напряжения, но и стабилизирующих ток в цепях баз. В цепи эмиттеров включены сопротивления R_3 , R_8 , создающие обратную связь по постоянному току и осуществляющие стабилизацию эмиттерного тока и коэффициента усиления

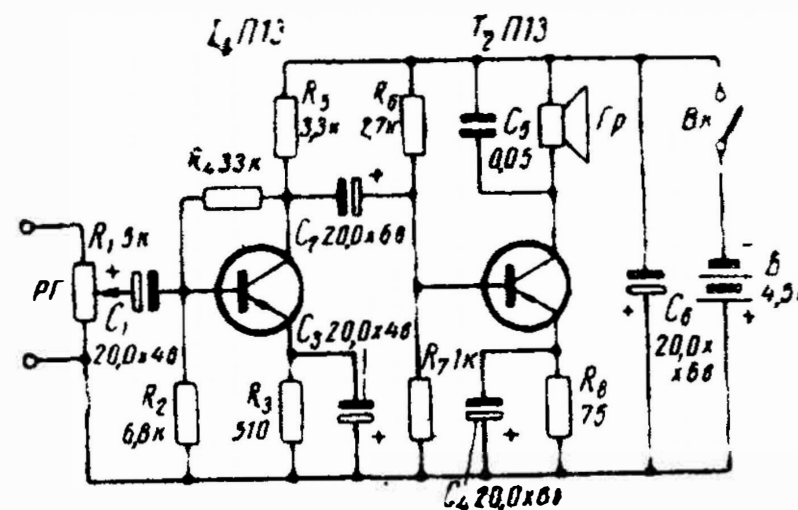


Рис 24. Схема простого стабилизированного усилителя с одноканальным выходом

каскадов как при нормальных ($t_0 = +20 - 25^\circ \text{C}$), так и при повышенных температурах. Конденсаторы C_3 , C_4 , шунтирующие указанные сопротивления, необходимы для устранения обратной связи по переменному току, которая очень ослабляет усиление каскадов.

Несколько большая сложность схемы в отличие от приведенной на рис. 21 полностью окупается более надежной стабильной работой в различных температурных условиях и меньшей чувствительностью к использованию в ней транзисторов с большим разбросом основных параметров. Последний фактор весьма ценен для радиолюбительской практики, значительно облегчая процесс налаживания и создавая более благоприятные условия для повторяемости схемы. В этой схеме усилителя при использовании транзисторов со значениями β от 20 до 130 режим их работы устанавливался автоматически с помощью элементов самой схемы. Лишь при использовании в первом каскаде усилителя транзисторов с $\beta = 130$ для получения нелинейных искажений, не пре-

вышающих 5%, пришлось несколько увеличить сопротивление R_4 с 33 до 36 ком. Из приведенных данных ясно, что комбинированная схема с обратными связями по току и напряжению менее чувствительна к замене транзисторов, нежели простейшая схема (см. рис. 21). Кроме того, комбинированные схемы очень устойчиво работают при повышенных температурах, лишь незначительно снижая такие качественные показатели, как коэффициент усиления, неискаженная выходная мощность и ток потребления. Простейшие же схемы, не имеющие элементов стабилизации режима работы транзисторов, при повышении температуры могут ухудшить указанные показатели в несколько раз, сделать усилитель практически неработоспособным. Следует заметить, что высказанные замечания справедливы не только для усилителей низкой частоты, но и для других усилительных каскадов приемника.

5. Замечания по выбору элементов схемы стабилизированного усилителя

Несмотря на то что стабилизированные усилители мало чувствительны к замене транзисторов и работоспособны при использовании указанных полупроводниковых приборов с большим разбросом основных параметров, было бы ошибочным считать, что они не требуют никакого налаживания. В любом случае надо попытаться уточнить и установить оптимальные режимы работы транзисторов, стремясь получить наименьший коэффициент неустойчивости, максимально возможное усиление, нужную выходную мощность при наименьших искажениях и, естественно, при минимально возможном токе потребления от батареи питания.

Последовательность и способы налаживания такие же, как и для схемы рис. 21. Регулируемыми элементами будут сопротивления делителей напряжения в цепях смещения и сопротивления нагрузок, т. е. сопротивления R_4 , R_5 , R_6 , с помощью которых устанавливаются нужные режимы работы транзисторов. Величину сопротивлений нагрузок, в нашем случае R_5 , выбирают исходя из следующих соображений. При малых величинах нагрузочных сопротивлений температурная

стабильность работы усилителя повышается, но падает усиление; при больших усиление возрастает, но значительно снижается напряжение на коллекторах, становясь соизмеримым с переменным напряжением усиленного сигнала, что неизбежно приводит к нелинейным искажениям. К тому же величина сопротивления нагрузки в реостатно-емкостных схемах (на сопротивлениях с емкостной связью) ограничивается величиной входного сопротивления следующего каскада. Что касается сопротивлений в цепях эмиттеров R_3 и R_8 , то с ростом их величины повышается стабильность работы усилителя. Одновременно с этим создаются благоприятные условия для увеличения сопротивления в цепи базы, что, как указывалось выше, повышает входное сопротивление каскада. Конденсаторы, шунтирующие сопротивление в цепях эмиттеров, должны иметь большую емкость с учетом того, чтобы пропускать низшие частоты усиленного сигнала. При малой величине емкости конденсаторов или их отсутствии усиление схемы резко уменьшается. Ориентировочные номинальные значения указанных элементов схемы рис. 24 можно найти по следующим приближенным формулам.

Величину сопротивлений в цепях эмиттеров:

$$R_3 \approx \frac{\alpha U_{БЭ}}{I_K},$$

где $U_{БЭ}$ — напряжение база — эмиттер, равное 0,1—0,2 напряжения питания.

Величину меньшего сопротивления делителя:

$$R_{д. мин} \approx \frac{U_{БЭ}}{I_д},$$

где $I_д$ — ток делителя, равный 0,5—0,5 тока коллектора I_K .

Величину большего сопротивления делителя:

$$R_{д. макс} \approx \frac{E - U_{БЭ}}{I_д + \frac{I_K}{\beta}},$$

где E — электродвижущая сила батареи питания.

Величину сопротивления нагрузки:

$$R_H \approx \frac{R_{д. макс}}{\beta}$$

Величину шунтирующего конденсатора в мкф:

$$C_э \geq \frac{2500}{f_H}$$

где f_H — нижняя частота усиливаемого сигнала в гц.
Коэффициент неустойчивости схемы:

$$S = 1 + \frac{\alpha R_{д. мин}}{(1 - \alpha) R_{д. мин} + R_э}$$

Следует напомнить, что для любительских конструкций вполне приемлемым следует считать коэффициент неустойчивости, лежащий в пределах 2—5.

Входное сопротивление транзисторных каскадов для схем с общим эмиттером составляет единицы килоомов, поэтому с целью увеличения коэффициента передачи и применяют большие связывающие каскады емкости (3—20 мкф).

По той же причине величину сопротивления регулятора громкости, обычно являющегося нагрузкой детектора, выбирают в пределах 3—10 ком.

6. Практические разновидности схем простых усилителей низкой частоты

Помимо рассмотренных выше реостатных схем с емкостной связью между каскадами, в радиолюбительской практике широко распространены разновидности усилительных каскадов с непосредственной и трансформаторной связями, обладающими несколько лучшими электрическими показателями.

На рис. 25 показана схема выходного каскада с непосредственной связью, выполненная на составном транзисторе $T_1 + T_2$. При чувствительности со входа, равной 70 мв, и токе потребления 10 ма она развивает на нагрузке с активным сопротивлением 64 ом мощность 12—15 мвт при коэффициенте нелинейных искажений не более 8%. Транзисторы T_1 и T_2 имеют взаимосвязанный режим работы. При использовании в схеме тран-

зисторов с обратным током коллектора $I_{к0}$ не более 10 мка и средних значениях коэффициентов усиления около 50 каскад имеет следующий режим. Ток коллектора T_1 около 0,3 ма, T_2 — 8—9,5 ма. Установку токов осуществляют с помощью регулировочного сопротивления R_2 . Контрольный миллиамперметр постоянного тока можно включить как в разрыв цепи коллектора T_1 , так и T_2 . При установке какого-либо из указанных токов второй устанавливается автоматически. Если режим работы устанавливается по току коллектора транзистора T_2 , то предел измерения стрелочного прибора должен быть в несколько раз выше, нежели величина рекомендуемого тока, так как в момент включения ток выходного каскада I_k будет в несколько раз превышать рабочий, что, естественно, может привести к порче миллиамперметра, контролирующего цепь. Схема сравнительно чувствительна к смене транзисторов.

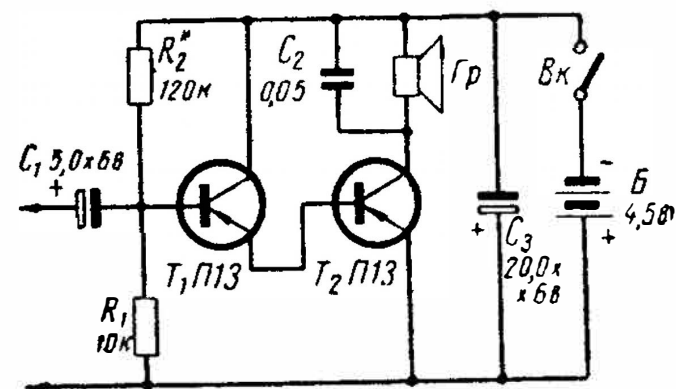


Рис. 25. Схема нестабилизированного однотокового выходного каскада на составном транзисторе

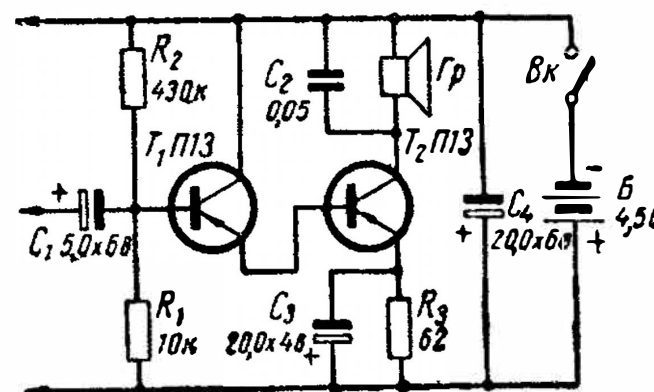


Рис. 26. Схема стабилизированного однотокового выходного каскада на составном транзисторе

связи по току. Для этого в цепь эмиттера транзистора T_2 включено небольшое по величине сопротивление R_3 , заблокированное по переменному току конденсатором C_3 большой емкости. Электрические показатели — выходная мощность, чувствительность, ток потребления и нели-

нейные искажения — такие же, как и для схемы рис. 25. Температурная стабильность работы значительно выше, допустимо использование транзисторов с большим разбросом основных параметров.

Рассмотренные выходные каскады усилителя можно применять в сочетании с каскадами предварительного усиления, собранными по данным ранее приведенных схем рис. 21 и 24.

В усилителях с непосредственной связью иногда используют транзисторы не с прямой проводимостью

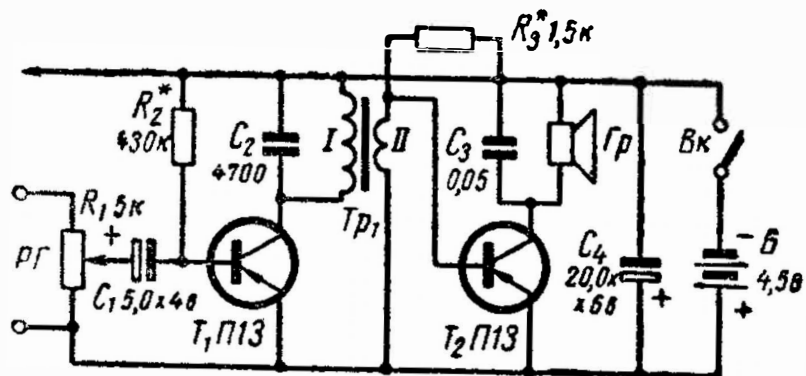


Рис 27 Схема простого нестабилизированного усилителя с трансформаторной связью

p-n-p, как это имело место в рассмотренных случаях, а с обратной: *n-p-n*. Обычно это практикуется в схемах с двухтактным выходом и будет рассмотрено ниже. Нередко в усилителях на транзисторах применяют трансформаторную связь. Это в настоящее время лучший вариант схемного решения, позволяющий наиболее полно осуществить согласование низкоомного входа последующего каскада со сравнительно высокоомным выходом предыдущего. Схемы с трансформаторной связью устойчивы в работе и позволяют хорошо реализовать усилительные возможности транзисторов. Их усиление может быть в несколько раз большим, нежели в ранее рассмотренных схемах.

Практическая схема простого усилителя без стабилизации с трансформаторной связью показана на рис. 27. При использовании в ней транзисторов со средними коэффициентами усиления β около 50 усилитель обладает следующими электрическими показателями: чувствительность со входа 5—8 мВ, выходная мощность на нагрузке с активным сопротивлением 64 Ом около

12—15 мВт при токе потребления 8—9 мА, коэффициент нелинейных искажений не более 5%. Согласующий трансформатор надо изготовить на пермалловом сердечнике сечением 0,2—0,5 см², набранном из пластин Ш-3, Ш-4. Первичная обмотка должна иметь 2500 витков провода ПЭЛ или ПЭВ 0,05—0,06. Вторичную обмотку при использовании пластин Ш-3 в количестве 400 витков наматывают проводом той же марки и диаметра. Если сердечник набран из пластин Ш-4, то диаметр провода можно увеличить до 0,08—0,1 мм.

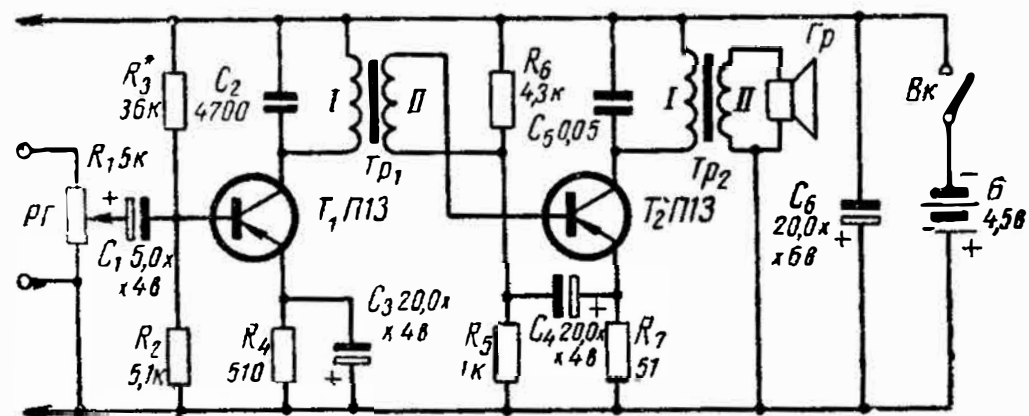


Рис 28 Схема простого стабилизированного усилителя с трансформаторной связью

На рис. 28 показана схема простого стабилизированного усилителя с трансформаторной связью, обладающая такими же электрическими показателями, что и предыдущая, но более стабильно работающая в широком интервале повышенных температур. Налаживание схем, приведенных на рис. 27 и 28, сводится к установке нужного режима работы применяемых транзисторов. Делают это с помощью регулировочных сопротивлений R_2 , R_3 (для первой схемы) и R_3 , R_6 (для второй). Коллекторный ток транзистора каскада предварительного усиления выбирают равным 1—3 мА, а выходного 5—6 мА. Корректировку частотной характеристики производят с помощью конденсаторов C_2C_3 в первом случае и C_2C_5 во втором.

Выходной трансформатор для динамического громкоговорителя в схеме рис. 28 можно выполнить по данным, приведенным в третьем разделе настоящей главы.

Заканчивая описание простых усилителей низкой частоты с одноктактным выходным каскадом, необходимо

заметить, что их существенным недостатком является сравнительно большой ток потребления при маленькой выходной мощности. Значительно уменьшить его величину можно, если: тщательно подбирать режим работы транзисторов в каждом частном случае; несколько пренебрегая величиной нелинейных искажений, уменьшать постоянную составляющую коллекторного тока; применять высокочувствительные громкоговорители; увеличить напряжение батареи питания до 6—9 в. В последнем случае необходимо изменить данные цепей смещения и применить разделительные и блокировочные конденсаторы с соответствующим рабочим напряжением.

7. Схема усилителя с двухтактным выходным каскадом на согласующих трансформаторах

В предыдущих разделах книги рассматривались схемы простых низкочастотных усилителей с одноктактным выходным каскадом, работающим в неэкономичном режиме класса А. Естественно, что мириться с этим можно лишь в том случае, когда требуется получить небольшую выходную мощность, до 30—50 мвт. Если же выходная мощность усилителя значительно больше указанной величины, то использование усилителей с одноктактным выходным каскадом энергетически невыгодно. Вместо них применяют более сложные усилители с двухтактными выходными каскадами, работающими в более экономичном режиме, близком к режиму класса В. Реальный режим В практически не используется из-за больших нелинейных искажений, вызываемых отсутствием смещения. Режим же, близкий к нему, при работе транзисторов с небольшим смещением позволяет получить большую выходную мощность и вполне приемлемые (не более 10%) значения нелинейных искажений при сравнительно небольшом расходе питания. Рабочая точка транзисторов выходного каскада выбирается так, чтобы коллекторный ток был минимальным. В этом случае потребляемая усилителем мощность в момент пауз при отсутствии сигнала на входе будет незначительной. При максимальном же значении входного сигнала потребляемая мощность окажется наибольшей.

Учитывая, что в любой звуковой радиопередаче пау-

зы или низкий уровень громкости занимают по времени 60—80%, то и средний уровень входного сигнала и, естественно, средняя потребляемая усилителем мощность будут невелики, несмотря на то, что выходная мощность в отдельные моменты времени может достигать больших значений (100—200 мвт). Это весьма важное обстоятельство, так как в миниатюрных транзисторных приемниках, где применяются маломощные

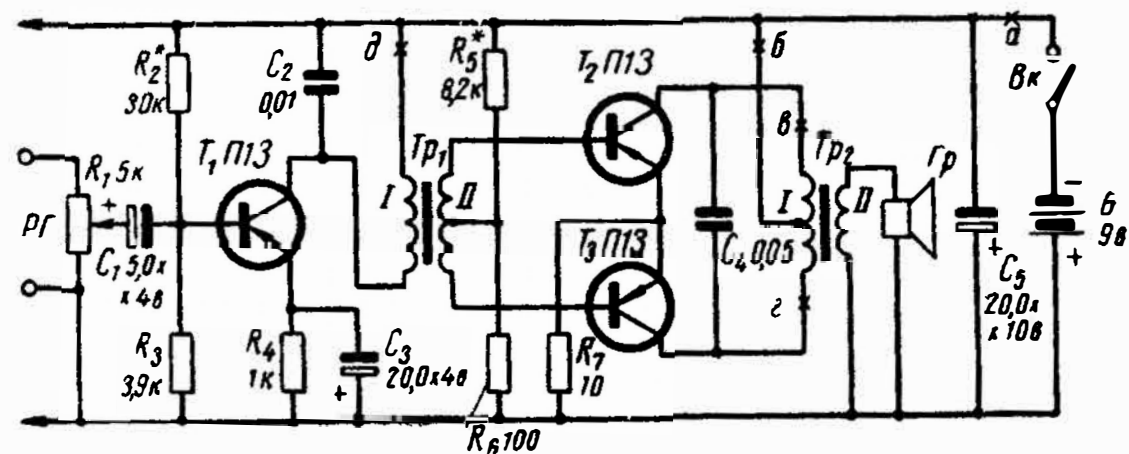


Рис. 29. Схема усилителя с двухтактным выходным каскадом на двух согласующих трансформаторах

источники питания, вопрос о потребляемой мощности имеет первостепенное значение.

Весьма распространенная среди радиолюбителей и в промышленности практическая схема усилителя с двухтактным выходным каскадом, выполненным на согласующих трансформаторах, показана на рис. 29. Она содержит два каскада — предоконечный на транзисторе T_1 и окончательный (выходной) на транзисторах T_2, T_3 . Связь первого каскада со вторым и второго с громкоговорителем осуществляется с помощью фазопереворачивающего трансформатора Tr_1 и выходного Tr_2 . Схема содержит элементы стабилизации режима работы транзисторов. В первом каскаде усиления введена обратная связь по постоянному току, обеспечиваемая сопротивлением R_4 и блокировочным конденсатором C_3 , включенным в цепь эмиттера транзистора T_1 . В цепи эмиттеров выходного каскада включено небольшое по величине сопротивление R_7 , компенсирующее некоторый разброс параметров используемых транзисторов. Нужные напряжения смещения обуславливаются величинами сопротивлений де-

лителей R_2 , R_3 и R_5 , R_6 в цепях баз транзисторов $T_1 - T_3$.

В схеме можно использовать распространенные низкочастотные транзисторы типа П13—П16 с коэффициентами усиления по току β от 30—35 и выше и обратными токами коллектора $I_{к0}$ в пределах допустимых промышленных норм (10—15 мка). Причем транзистор с большим коэффициентом β надо использовать в предоконечном каскаде.

Транзисторы для выходного каскада должны быть однотипными (например, оба П14) с разбросом указанных выше параметров, не превышающим 10%. В противном случае усилитель будет работать с очень большими искажениями. Подборку нужной транзисторной пары желательно проводить в условиях, близких к реальным. Их коэффициент усиления β надо проверять как при минимальных значениях коллекторного тока $I_{к}$, так и при максимальных. При втором измерении величину испытательного напряжения, прикладываемого к коллектору, необходимо снизить до 1—2 в с тем расчетом, чтобы не превысить предельно допустимую мощность рассеяния полупроводниковым прибором и не вывести его из строя.

Согласующие трансформаторы для миниатюрных конструкций изготавливают на пермалловых сердечниках сечением 0,2—0,5 см² из пластин Ш-3, Ш-4. Первичная обмотка трансформатора Tr_1 должна иметь 1 600—1 800 витков провода ПЭЛ или ПЭВ 0,06, а вторичная 2×250 —350 витков провода тех же марок диаметром 0,06 или 0,08—0,1 мм соответственно для каждого указанного типа пластин. Первичную обмотку трансформатора Tr_2 наматывают проводом ПЭЛ или ПЭВ 0,08—0,1 в количестве 2×450 витков, а вторичную — 120 витков провода диаметром 0,23 или 0,27 мм. От вторичной обмотки необходимо сделать 5—6 отводов через каждые 8—10 витков для согласования выходного каскада с различными сопротивлениями нагрузок (5—10 ом).

Если радиолюбителю по конструктивным соображениям затруднительно сделать специальные согласующие отводы, то при намотке трансформатора Tr_2 можно ориентироваться на следующие данные. Для громкоговорителя с активным сопротивлением звуковой катуш-

ки 5 ом вторичная обмотка будет иметь около 55 витков, для катушки 7 ом — около 70 и для 10 ом — около 85.

Намотку секций трансформаторов, имеющих отводы от середины, желательно наматывать сразу в два провода. Это позволит добиться идентичности отдельных обмоток, что весьма важно для обеспечения работы усилителя с наименьшими искажениями.

8. Последовательность и способы налаживания усилителя с двухтактным выходным каскадом

Последовательность и способы налаживания низкочастотного усилителя с двухтактным выходным каскадом рассмотрим на конкретной схеме, приведенной на рис. 29. Указанные на ней номинальные значения сопротивлений выбраны из расчета использования транзисторов со средними значениями коэффициентов усиления $\beta = 40 \div 60$ и обратным током коллектора $I_{к0}$ не более 10 мка. Сначала обычными способами (визуальным осмотром или с помощью омметра) проверяют монтаж. После этого в разрыв минусовой цепи питания в точке *a* включают миллиамперметр постоянного тока на 30—50 ма и, поставив движок переменного сопротивления R_1 в положение максимальной громкости, включают батарею.

При отсутствии сигнала на входе усилителя и самовозбуждения схемы контрольный прибор зафиксирует наличие тока, не превышающего 6—10 ма. В случае самовозбуждения потребляемый ток может в несколько раз превышать указанные значения. При этом в громкоговорителе будет прослушиваться звуковой тон достаточно большой громкости. Самовозбуждение подобных усилителей обычно возникает из-за паразитной обратной связи между выходом и входом оконечного каскада. Для устранения ее необходимо поменять местами выводы первичной обмотки трансформатора Tr_1 .

Нередко в схемах для улучшения частотной характеристики вводят отрицательную обратную связь (часть выходного напряжения снимают со вторичной обмотки трансформатора Tr_2 и подают на вход предоконечного каскада). При неправильной фазировке вместо отрицательной может возникнуть положительная обратная связь и самовозбуждение. Для устранения этой неполадки на-

до поменять местами выводы вторичной обмотки выходного трансформатора.

После этого на вход усилителя подают сигнал звуковой частоты и с помощью сопротивлений R_2 и R_5 подбирают режимы работы транзисторов предоконечного и выходного каскадов усилителя.

Как указывалось в разделе втором настоящей главы, в качестве источника входного сигнала можно использовать звукосниматель, работающую высокочастотную часть приемника, радиотрансляционную сеть или генератор звуковой частоты. Сначала подбирают режим работы транзисторов выходного каскада. Для этого контрольный миллиамперметр включают в разрыв цепи питания коллекторов T_2 , T_3 в точке *б*, вместо постоянного сопротивления впаивают переменное 10—15 *ком* и последовательно соединенное с ним ограничивающее 2—3 *ком*. Включив питание, переменным сопротивлением устанавливают ток в коллекторной цепи равным 4—5 *ма*. Этот ток часто называют током «покоя» (сигнал на входе усилителя отсутствует).

После этого на вход усилителя (зажимы регулятора громкости) подают сигнал звуковой частоты и наблюдают за показаниями стрелочного прибора, который должен зафиксировать резкое увеличение коллекторных токов транзисторов T_2 , T_3 . Величину подаваемого на вход сигнала, если нет специальных измерительных приборов, можно установить, ориентируясь на максимальный ток потребления выходным каскадом усилителя, который при достаточно большой громкости воспроизведения должен быть 25—30 *ма*.

Если при прослушивании работы громкоговорителя окажется, что звук сильно искажен, то причинами, порождающими эти искажения, могут быть: неправильная установка смещения, несимметричность плеч согласующих трансформаторов или неидентичность параметров используемых транзисторов. Сначала необходимо попытаться несколько увеличить смещение, сделав ток «покоя» равным 6—7 *ма*. Если искажения не пропадут, то надо попробовать изменить режим работы транзистора предоконечного каскада; не добившись и тут нужных результатов, следует проверить минимальные и максимальные коллекторные токи отдельных транзисторов,

контролируя их миллиамперметром, включаемым в разрыв соответствующих цепей питания в точках *в* и *г*.

Естественно, что измеряемые токи должны быть вдвое меньше указанных выше значений. Если разница коллекторных токов превышает 10%, необходимо подобрать более идентичную (по параметрам) пару транзисторов. Если же и после этого звучание будет сильно искаженным, причину следует искать в плохом качестве согласующих трансформаторов или громкоговорителя. Их необходимо перепроверить.

Устранив неполадки, еще раз корректируют установку нужного режима работы выходного каскада и приступают к налаживанию предоконечного. Подбирая величину сопротивления R_2 (также заменив его переменным), добиваются максимального усиления при допустимых искажениях звукового воспроизведения. Вполне естественно, что с ростом усиления каскада величину входного сигнала надо снижать. Контроль, как и раньше, можно осуществлять с помощью миллиамперметра, включенного либо в цепь питания коллекторов транзисторов выходного каскада, либо в цепь общего питания. При подборке режима работы T_1 желательно контролировать и его ток коллектора, величина которого не должна превышать 2—3 *ма*. Прибор включают в разрыв цепи коллектора в точке *д*. На этом налаживание схемы без специальных измерительных приборов заканчивают.

При наличии измерительной аппаратуры последовательность налаживания схемы сводится к следующему. К выводам звуковой катушки громкоговорителя подключают ламповый милливольтметр и вход электронного осциллографа. Шкалу генератора звуковой частоты ставят на отметку «1000 гц». Его выход через цепочку из последовательно соединенных конденсатора емкостью 0,05—0,1 *мкф* и сопротивления 5—10 *ком* подключают к коллектору транзистора предоконечного каскада и плюсовым проводам цепей питания. Подавая синусоидальное напряжение величиной 1,5—2 *в*, устанавливают режим работы транзисторов оконечного каскада, добиваясь получения на звуковой катушке громкоговорителя нужного выходного напряжения с чистой, неискаженной формой.

Определить величину выходного напряжения можно следующим образом. Как правило, усилители, применяе-

мые в миниатюрных транзисторных приемниках, рассчитываются на мощность, не превышающую 80—100 мвт. Большинство распространенных промышленных громкоговорителей имеет звуковые катушки с активным сопротивлением 5, 7, 10 ом. Легко подсчитать, что для получения выходной мощности 100 мвт при применении громкоговорителя с пятиомной катушкой необходимо получить выходное напряжение около 0,8 в, для семиомной — 0,94 и десятиомной — около 1,15 в. Расчет можно вести, пользуясь следующей формулой:

$$U = \sqrt{P_{\text{макс}} Z},$$

где Z — полное сопротивление звуковой катушки, примерно равное $1,25 R_{\text{гр}}$ ($R_{\text{гр}}$ — активное сопротивление звуковой катушки).

Подбирая режим работы выходного каскада, так же как и раньше, контролируют ток потребления. Пользуясь измерительными приборами, легко найти причину, вызывающую искажения усиленного сигнала. Для этого достаточно просмотреть форму переменного напряжения в пяти точках схемы: на звуковой катушке громкоговорителя, на коллекторах транзисторов T_2 , T_3 и на базах. Если наблюдаются искажения сигнала, поступающего на базу какого-либо из транзисторов, то причиной этого будет неисправность переходного трансформатора Tr_1 (большое различие отдельных секций вторичной обмотки по числу витков и, естественно, по активному сопротивлению, а также наличие короткозамкнутых витков). При искажениях сигнала, снимаемого с коллекторов транзисторов T_2 , T_3 , причину следует искать в неправильном выборе их режима работы или в неисправности выходного трансформатора Tr_2 (дефекты могут быть такими же, как и для трансформатора Tr_1).

Искажение выходного напряжения может возникнуть при плохом согласовании нагрузки с выходом усилителя или из-за значительного разброса параметров транзисторов выходной пары. Убедиться в этом можно, сравнивая величину переменного напряжения на коллекторах транзисторов отдельных «плеч». Если в процессе налаживания оконечного каскада окажется, что получить нужное неискаженное выходное напряжение при указанных выше значениях входного сигнала и тока по-

требления не удастся, то необходимо сменить транзисторы T_2 , T_3 , поставив вместо них новую пару с большими коэффициентами усиления по току.

Добившись нормальной работы выходного каскада, приступают к налаживанию предоконечного. Для этого выходное напряжение генератора звуковой частоты снижают до 30—60 мв и подают на вход усилителя. Величину регулировочного сопротивления R_2 подбирают с расчетом получения максимального усиления и наименьших искажений, вносимых предоконечным каскадом. С ростом усиления необходимо снижать и величину входного сигнала. Хорошо налаженный усилитель, собранный на транзисторах со средними ($\beta = 40 \div 60$) коэффициентами усиления, обладает следующими показателями: чувствительность со входа 20—30 мв; коэффициент усиления по напряжению 35—50; выходная мощность 80—100 мвт при коэффициенте нелинейных искажений не более 10% и среднем токе потребления 14—18 ма; средний коэффициент полезного действия около 60%.

9. Замечания к схеме усилителя на согласующих трансформаторах

Рассмотренная выше схема усилителя на двух согласующих трансформаторах широко применяется не только в миниатюрных конструкциях, но и в сравнительно крупногабаритных переносных приемниках. Вполне естественно, что требования, предъявляемые к качеству их звучания, более жесткие, нежели в первом случае. В переносных приемниках применяются обычные громкоговорители с достаточно хорошими акустическими показателями, но требующими значительно большей мощности для раскачки своих подвижных систем. Это обстоятельство вынуждает создавать усилители с выходной мощностью, достигающей 150—250 мвт.

При налаживании таких усилителей иногда трудно получить хорошую форму выходного напряжения. Причиной этого может быть большая величина тока, подмагничивающего согласующий трансформатор, особенно это касается выходного трансформатора, где проходящий через его обмотки максимальный ток может достигать 50—60 ма. Если сечение сердечника трансформатора мало, то подмагничивание большим током приводит

к резкому изменению магнитной проницаемости его материала и трансформатор будет сильно искажать выходное напряжение. Кроме того, малое сечение сердечника не позволяет получить достаточной индуктивности, что отрицательно сказывается на частотной характеристике трансформатора в области низких звуковых частот, которая будет иметь большой «завал» частот ниже 300—400 *гц*.

Если в миниатюрных конструкциях приемников это было терпимо, так как сам малогабаритный громкоговоритель не воспроизводил звуковых частот ниже указанных, то в переносных приемниках с громкоговорителем, воспроизводящим более широкий диапазон частот, это недопустимо.

Часто в погоне за малогабаритностью трансформаторов их сердечники собирают из пластин Ш-3, Ш-4, имеющих маленькое «окно», и катушки наматывают проводами тонкого сечения, что приводит к их большому активному сопротивлению. Большой проходящий по ним ток питания коллекторных цепей вызовет значительное падение напряжения, а это приведет к сильным нелинейным искажениям.

Для устранения перечисленных недостатков следует увеличить сечение сердечника до 1—1,5 *см*² и использовать намоточные провода большего диаметра, что, безусловно, потребует применения пластин с увеличенным «окном». Данные согласующих трансформаторов для усилителей с выходной мощностью 130—150 *мвт* могут быть следующими: сердечник из пермалловых пластин Ш-6, набор 8—10 *мм*, первичную обмотку наматывают проводом ПЭЛ или ПЭВ 0,1 в количестве 1 600 витков, а вторичную — 2 × 500 витков тем же проводом. Сердечник выходного трансформатора может быть таким же, как и у согласующего. Его первичную обмотку в количестве 2 × 250 витков наматывают проводом ПЭЛ или ПЭВ 0,12—0,15, а вторичную проводом тех же марок диаметром 0,27—0,35 *мм*.

Для громкоговорителя со звуковой катушкой с активным сопротивлением 5 *ом* обмотка должна иметь около 35 витков, при семиомной катушке — около 45 витков и при десятиомной — около 55 витков. Трансформаторы для усилителя с выходной мощностью 150—250 *мвт* можно выполнить на сердечниках сечением

1 *см*² из пермаллоя 50Н. В случае использования обычной трансформаторной стали сечение сердечника необходимо увеличить до 1,5 *см*². Первичная обмотка переходного трансформатора будет иметь 800 витков провода ПЭЛ или ПЭВ 0,12—0,15, а вторичная 2 × 350 витков ПЭЛ или ПЭВ 0,15—0,2.

Первичная обмотка выходного трансформатора должна содержать 2 × 300 витков ПЭЛ или ПЭВ 0,18—0,22, а вторичная 50, 62, 75 витков провода тех же марок диаметром 0,37—0,41 *мм* (под катушки с сопротивлением 5, 7 и 10 *ом* соответственно).

Как уже указывалось, в мощных усилителях на согласующих трансформаторах величина переменного напряжения на коллекторах транзисторов может достигать 3—5 *в*, поэтому при использовании низковольтной питающей батареи возникают нелинейные искажения, устранить которые можно лишь повышением питающего напряжения до 9 *в*. Это необходимо учитывать при создании усилителя с хорошими электрическими показателями. О том, как устранить этот недостаток, будет сказано ниже.

Нередко при налаживании той или иной схемы транзисторного приемника с подобным усилителем низкой частоты может оказаться, что его чувствительность мала. В этом случае в схему рис. 29 необходимо ввести еще один каскад предварительного усиления, аналогичный рассмотренным выше. Это повысит чувствительность со входа до 5—10 *мв*.

10. Практические разновидности схем усилителей с двухтактным выходным каскадом

Кроме распространенной схемы усилителя с двухтактным выходным каскадом на двух согласующих трансформаторах, существуют другие разновидности схем. На рис. 30 показана схема усилителя без согласующих трансформаторов с непосредственным включением высокоомной нагрузки в коллекторные цепи транзисторов выходного каскада. В качестве такой нагрузки можно использовать как электродинамические, так и электромагнитные громкоговорители с активным сопротивлением катушек 50—100 *ом* (для каждого «плеча»).

Таким требованиям могут удовлетворять громко-

ворители, изготовленные на базе микротелефонных капсулей ДЭМШ-1 или ДЭМ-4М. Предоконечный каскад усилителя собран по схеме эмиттерного повторителя, основным недостатком которого является коэффициент усиления меньше единицы. Поэтому схему рис. 30 можно использовать лишь с одним-двумя дополнительными каскадами предварительного усиления.

Подобные усилители используют в простых конструкциях приемников с небольшой, около 50 мвт, выходной мощностью. Для получения наименьших нелинейных

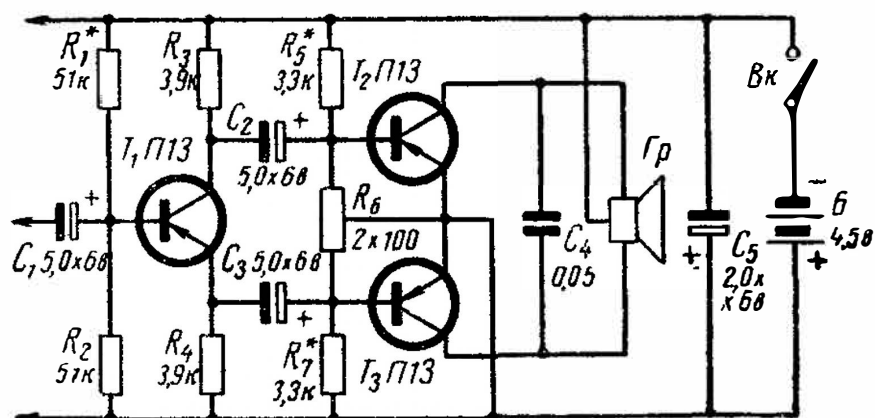


Рис. 30 Схема бестрансформаторного усилителя с двухтактным выходным каскадом и высокоомной нагрузкой

искажений, которые в лучшем случае будут близки к 10—12%, при налаживании усилителя необходимо тщательно выбирать режим работы транзисторов. Коллекторный ток транзистора T_1 может быть 0,5—1,0 ма. Максимальный ток выходного каскада 15—20 ма. В этом каскаде желательно применять низкочастотные транзисторы с коэффициентами усиления, значения которых превышают средние ($\beta > 50$). Коэффициент усиления транзистора предоконечного каскада существенного значения не имеет.

Режимы работы транзисторов подбираются с помощью регулировочных сопротивлений R_1 , R_5 , R_7 . При очень сильных искажениях звука в первую очередь нужно обратить внимание на идентичность отдельных катушек громкоговорителя по сопротивлению. В некоторых случаях устранить этот недостаток удастся тщательным индивидуальным выбором режима каждого из транзисторов T_2 , T_3 или их подбором непосредственно в схеме усилителя.

На рис. 31 приведена схема усилителя с одним согласующим трансформатором и двумя батареями питания. Последовательное включение транзисторов T_2 , T_3 обеспечивает сравнительно низкое выходное сопротивление каскада, что позволяет использовать громкоговоритель с активным сопротивлением звуковой катушки 20—30 ом, включая его в схему без специального согласующего трансформатора.

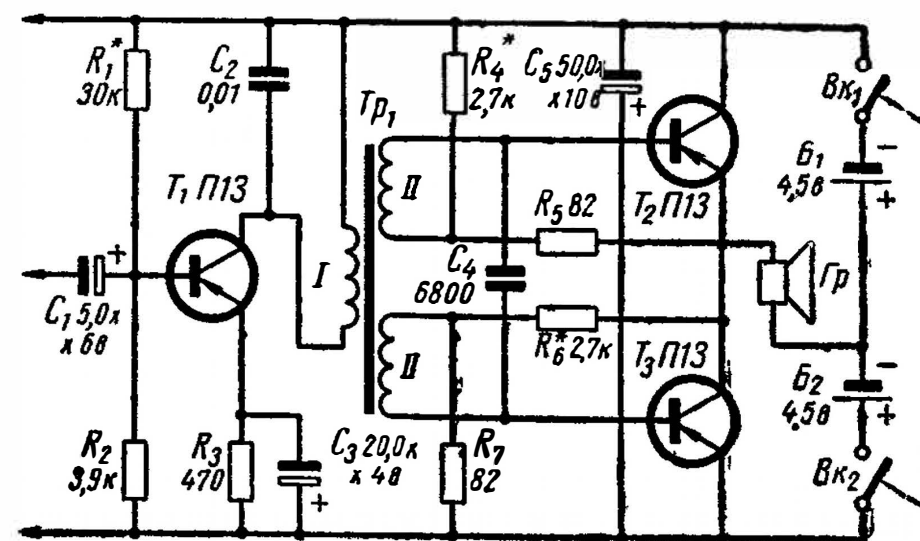


Рис. 31. Схема усилителя с двухтактным выходным каскадом на одном согласующем трансформаторе

Из промышленных такому требованию удовлетворяет электродинамический громкоговоритель, 0,5ГД14 с сопротивлением звуковой катушки 27 ом (постоянному току). Усилитель с сопротивлениями, указанными на схеме, и транзисторами с коэффициентами усиления $\beta = 50 \div 60$ имеет чувствительность со входа 80—100 мв. Его выходная мощность при коэффициенте нелинейных искажений около 10% и максимальном токе потребления 50—60 ма превышает 200 мвт. Рекомендуемый коллекторный ток транзистора предоконечного каскада может быть 1,5—3 ма. Подборочными элементами служат регулировочные сопротивления R_1 , R_4 , R_6 , обеспечивающие режим работы транзисторов T_1 — T_3 . Данные трансформатора Tr_1 можно взять из предыдущих разделов. Схему обычно используют с дополнительным каскадом предварительного усиления.

На рис. 32 приведена схема усилителя с бестрансформаторным выходным каскадом, выполненным на тран-

зисторах различного типа проводимости. Низкое выходное сопротивление усилителя позволяет использовать тот же, что и в предыдущей схеме, громкоговоритель 0,5ГД14. Отсутствие согласующих трансформаторов представляет большой интерес для радиолюбителей, так как изготовление этих деталей сопряжено с известными трудностями.

Усилитель имеет аналогичные электрические показатели. Основным недостатком схемы является необхо-

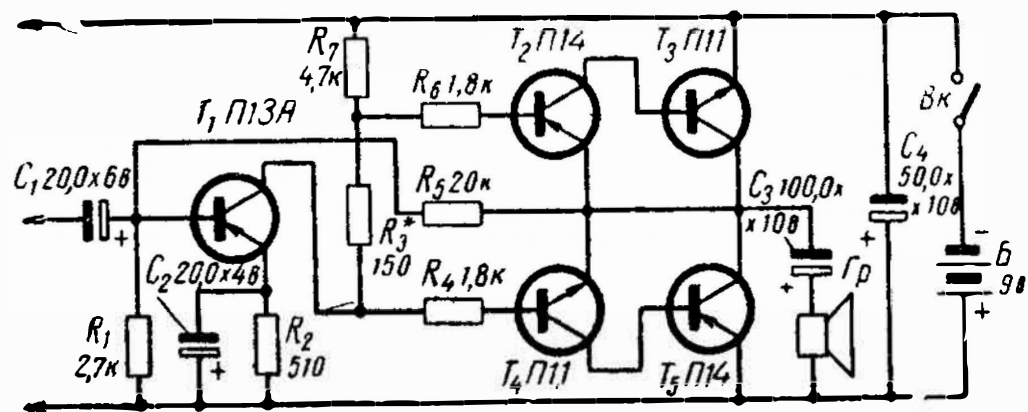


Рис. 32. Схема бестрансформаторного усилителя с двухтактным выходным каскадом на транзисторах с различной проводимостью

димность подборки парных транзисторов с одинаковыми параметрами. В данной схеме парными следует считать T_2 , T_4 и T_3 , T_5 . Кроме указанных на схеме типов транзисторов, можно применять П13, П9 и П15, П10. Рекомендуемые режимы работы транзисторов при отсутствии сигнала на входе следующие. Ток коллектора транзистора T_1 около 1 ма, ток «покоя» выходного каскада около 2,5 ма. Этот каскад работает в режиме АВ. Его режим определяется величиной сопротивления R_3 .

На рис. 33 приведена схема усилителя с двухтактным выходным каскадом, выполненным на составных транзисторах $T_2 + T_3$ и $T_4 + T_5$, которые получают при непосредственном соединении обычных транзисторов друг с другом. Составной транзистор в отличие от обычного имеет значительно больший коэффициент усиления по току, который можно определить из следующего выражения:

$$\beta = \frac{1}{(1 - \alpha_1)(1 - \alpha_2)},$$

где α_1 — коэффициент усиления первого транзистора;
 α_2 — коэффициент усиления второго транзистора.

Благодаря этому обстоятельству выходной каскад можно собрать по схеме с общим коллектором, обладающей большим входным и низким выходным сопротивлением, что позволяет осуществить хорошее согласование с нагрузкой. Недостаток схемы — малое усиление — компенсируется большим усилением составных

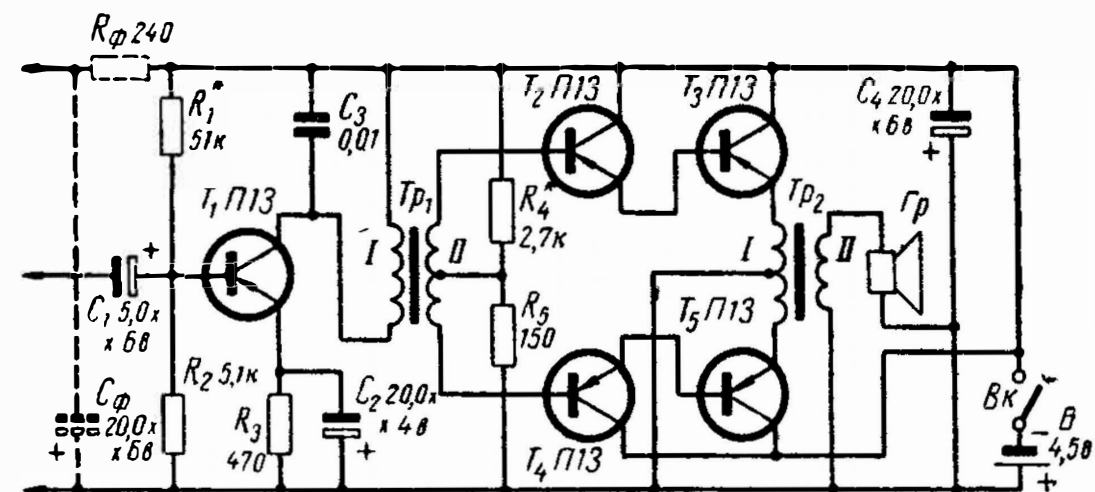


Рис. 33. Схема усилителя с двухтактным выходным каскадом на составных транзисторах

транзисторов. В отличие от ранее рассмотренных, настоящую схему можно питать от батареи с низким напряжением (4,5 в). Несмотря на это, подобный усилитель обладает хорошими электрическими показателями. Коэффициент полезного действия около 70%. Выходная мощность 150 мвт при коэффициенте нелинейных искажений 2—3%. Получить такой коэффициент в обычных двухтактных схемах, исключая режим работы А, практически не удастся. В схеме можно использовать любые низкочастотные транзисторы с коэффициентами усиления $\beta = 20$ и выше. Режим их работы определяется номинальными значениями сопротивлений R_1 и R_4 .

Согласующие трансформаторы могут иметь следующие данные. Их выполняют на пермалловых сердечниках из пластин Ш-6 сечением 0,6—0,8 см². Переходной трансформатор из-за большого входного сопротивления каскада должен быть повышающим. Его первичная обмотка имеет 700 витков провода ПЭЛ или ПЭВ 0,1, а вторичная 2 × 1 500 витков провода тех же марок

диаметром 0,06 мм. Первичная обмотка выходного трансформатора содержит 2×200 витков провода ПЭЛ или ПЭВ 0,15—0,18, а вторичная 35, 45 или 55 витков ПЭЛ 0,35—0,41 для громкоговорителей с сопротивлением звуковых катушек 5, 7 и 10 ом соответственно. Рассмотренный усилитель обычно используют с дополнительным каскадом предварительного усиления.

При соединении рассмотренных схем предоконечных и выходных каскадов с дополнительными и их общим налаживанием радиолюбитель может столкнуться с самовозбуждением усилителя. В этом случае необходимо ввести развязывающий фильтр, состоящий из сопротивления 200—300 ом и конденсатора 10—50 мкф, включить который следует в разрыв общей минусовой цепи питания. Эти элементы показаны на схеме рис. 33 пунктиром.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ДЕТЕКТОРЫ, УСИЛИТЕЛИ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ, ВХОДНЫЕ ЦЕПИ И ИХ НАЛАЖИВАНИЕ

В любых, даже самых простейших транзисторных приемниках необходимо наличие детекторного каскада, в функции которого входит преобразование высокочастотного модулированного сигнала в напряжение звуковой частоты. Детектирование осуществляют либо с помощью полупроводникового диода, либо с помощью транзистора. Другие каскады приемника — высокочастотные усилители, предназначенные для непосредственного усиления сигнала, поступившего на вход приемника, — чаще всего используются в схемах прямого усиления, но иногда вводятся и в схемы супергетеродинов.

Практические схемы и способы налаживания этих каскадов рассматриваются в настоящей главе.

1. Схема детектора на полупроводниковом диоде

В транзисторных приемниках как промышленного, так и любительского изготовления наиболее широкое распространение получил диодный детектор, схема которого приведена на рис. 34. Она содержит минимальное число деталей: диод D_1 , фильтрующий конденсатор C_1 и сопротивление нагрузки детектора R_1 , которое одно-

временно является и регулятором громкости. Основным недостатком подобных схем детекторов является очень низкий коэффициент передачи при слабом сигнале. Если в ламповых схемах, где напряжение сигнала выше, коэффициент передачи составляет 0,7—0,9, то в транзисторных лишь 0,05—0,1. Кроме того, низкое входное сопротивление последующего каскада уменьшает входное сопротивление детектора, коэффициент передачи, а значит и общее усиление приемника. Для частичной компенсации этого недостатка приходится применять

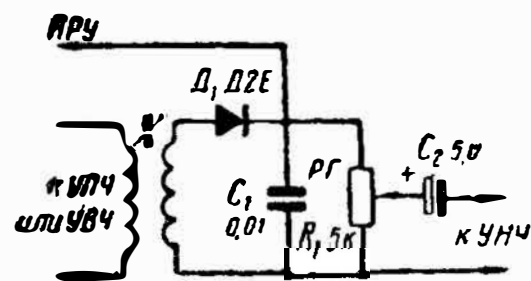


Рис. 34. Схема простейшего диодного детектора

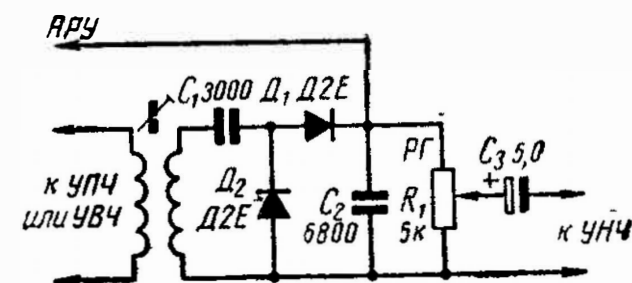


Рис. 35. Схема диодного детектора с удвоением напряжения

низкочастотные усилители с высокой чувствительностью со входа.

Малое входное сопротивление диодного детектора не позволяет непосредственно включать его в колебательный контур, так как это привело бы к резкому ухудшению его добротности и снизило бы усиление каскада. Для устранения шунтирующего действия связь диодного детектора с каскадом усиления высокой или промежуточной частоты делают трансформаторной или автотрансформаторной. Число витков катушки связи или отвод для подключения диода обычно выполняют от $1/5$ — $1/8$ общего числа витков катушки контура.

В схеме можно использовать любые высокочастотные диоды распространенных серий Д1, Д2 и Д9.

В любительских транзисторных приемниках сравнительно часто применяется диодный детектор, собранный по схеме удвоения напряжения, показанной на рис. 35. В отличие от предыдущей она позволяет получить на нагрузке несколько большее напряжение звуковой частоты.

В некоторых случаях в схему детектора вводят дополнительное сопротивление, включая его последова-

тельно с сопротивлением нагрузки (рис. 36). Это сопротивление совместно с конденсаторами C_1 , C_2 образует П-образный фильтр, служащий для фильтрации высокой или промежуточной частоты, просочившейся на выход детектора.

Следует заметить, что значения сопротивлений R_1 и R_2 нельзя выбирать большими, так как различие сопротивлений нагрузки по постоянному и переменному токам приведет к нелинейным искажениям. Кроме этого,

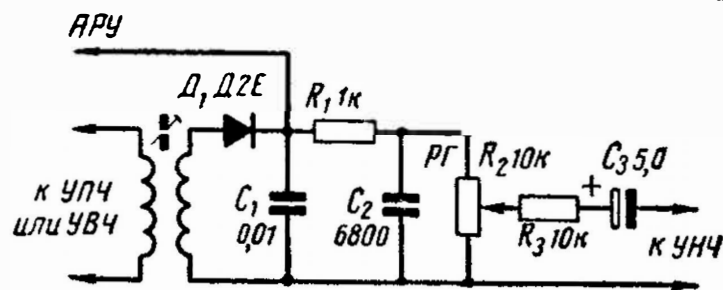


Рис. 36. Схема диодного детектора с элементами, увеличивающими входное сопротивление

с выигрышем во входном сопротивлении снижается коэффициент передачи детектора по напряжению.

В рассмотренных схемах постоянная составляющая протектированного сигнала, выделяющаяся на нагрузке детектора, может быть использована в качестве управляющего напряжения для автоматической регулировки усиления приемника. Диодный детектор не требует практически никакого налаживания. Его лишь проверяют при совместной работе с каскадами усиления высокой или промежуточной частоты.

2. Схема детектора на транзисторе

Кроме простого диодного детектора, в некоторых промышленных и любительских транзисторных приемниках встречается более сложный, но и более эффективный транзисторный детектор, практическая схема которого показана на рис. 37. Каскад выполнен по схеме с общим эмиттером на транзисторе T_1 . Нагрузкой детектора служит переменное сопротивление R_4 , включенное в коллекторную цепь T_1 . Это сопротивление одновременно является и регулятором громкости. Схема содержит элементы стабилизации режима работы транзи-

стора. Сопротивление R_2 в цепи эмиттера обеспечивает обратную связь по постоянному току, а R_1 — по переменному.

Наличие отрицательной обратной связи по переменному току значительно уменьшает частотные и нелинейные искажения детекторного каскада. Детектирование поступающего сигнала происходит из-за нелинейной зависимости тока коллектора транзистора от напряжения на его базе.

Для того чтобы получить наибольший эффект детектирования, рабочая точка должна находиться на участке с максимальной крутизной. С этой целью на базу транзистора желательно подавать небольшое (около 0,1 в) отрицательное смещение относительно эмиттера. Коэффициент передачи транзисторного детектора во много раз больше, чем диодного, так как он не только детектирует, но и усиливает низкочастотный сигнал. Коэффициент усиления каскада может достигать 15—20. В схеме можно использовать низкочастотные транзисторы П14, П15, П16 с коэффициентами усиления по току $\beta \geq 40$. Значительно лучше вместо них применять высокочастотные транзисторы П401 — П403. Собранный на них детекторный каскад имеет большой коэффициент передачи. Выбор режима транзистора можно контролировать по току коллектора, который выбирается в пределах 0,1—0,8 ма.

Уточнить режим можно в процессе совместного налаживания детектора с другими каскадами приемника, если он производится на слух. При наличии измерительной аппаратуры выход высокочастотного генератора через разделительный конденсатор емкостью 0,05—0,1 мкф соединяют со входом детектора.

Подавая на базу транзистора T_1 сигнал напряжением 0,1—0,3 в с нужной высокой или промежуточной

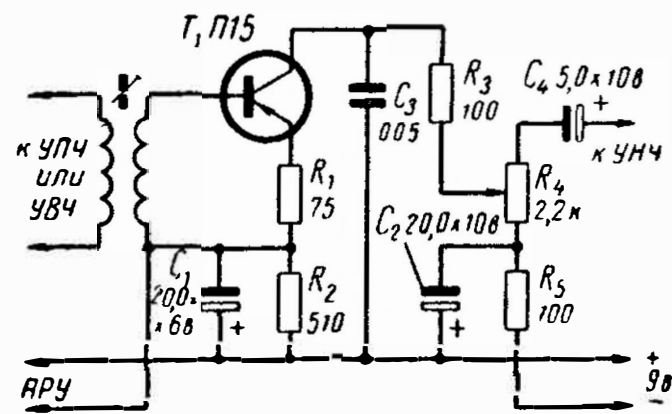


Рис. 37. Схема детектора на транзисторе

частотой и глубиной модуляции 30%, производят установку режима работы детекторного каскада, добиваясь получения на выходе усилителя низкой частоты необходимого напряжения с чистой, неискаженной синусоидальной формой.

Контроль за работой детекторного каскада можно вести не на выходе низкочастотного усилителя, а на его входе, т. е. на нагрузке детектора. Для этого ламповый милливольтметр и электронный осциллограф подключают к нагрузочному сопротивлению R_4 (верхний на схеме вывод). В процессе регулировки с увеличением усиления входное напряжение, подаваемое на транзистор T_1 , необходимо снижать до величины, обеспечивающей нормальную работу усилителя низкой частоты.

3. Схема апериодического усилителя высокой частоты на сопротивлениях

Апериодические высокочастотные усилители на сопротивлениях нашли применение как в приемниках прямого усиления, так и в супергетеродинах. Правда, гораздо чаще их используют в приемниках первого типа, причем наиболее простых, обладающих невысокой чувствительностью. Как правило, такие усилители имеют одно-двухкаскадные реостатно-емкостные схемы с активными сопротивлениями в качестве нагрузок отдельных каскадов и отличаются простотой конструкции и налаживания. По своему построению они аналогичны реостатно-емкостным схемам усилителей низкой частоты и обладают теми же преимуществами и недостатками.

Отсутствие в схеме индуктивностей (в данном случае входные цепи приемника во внимание не принимаются) делает их весьма устойчивыми в работе, не склонными к самовозбуждению, так как выход любого предыдущего каскада нагружен на низкоомное чисто активное сопротивление входа последующего. При этом наряду с повышением устойчивости снижается усиление. Положение усугубляется тем, что усилитель работает в широкой полосе высоких частот, охватывающей частоты рабочего диапазона приемника. Вполне естественно, что эти обстоятельства вынуждают применять высокочастотные транзисторы типа П401—П403 с высокой граничной частотой. Несмотря на это, коэффициент уси-

ления двухкаскадных апериодических высокочастотных усилителей на сопротивлениях при использовании транзисторов со средними значениями коэффициента β составляет, как правило, 15—20 в диапазоне длинных волн. Поэтому подобные усилители находят применение лишь в простых конструкциях.

Иногда, стремясь получить максимально возможное усиление, радиолюбители увеличивают число каскадов

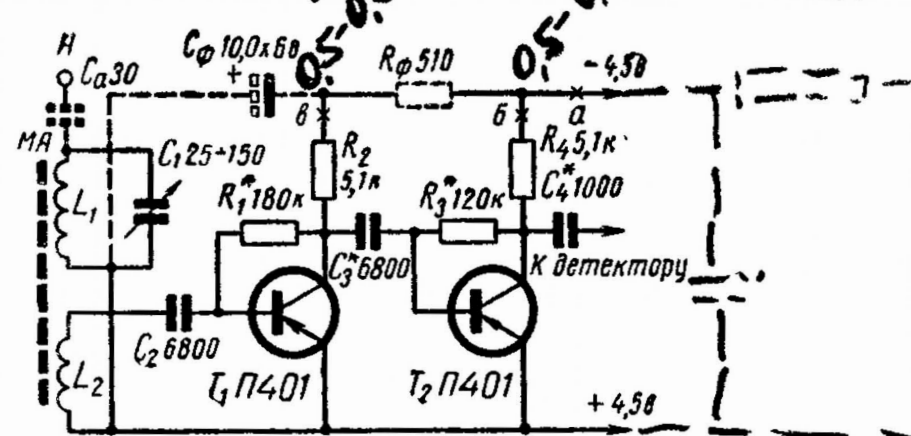


Рис 38. Схема апериодического высокочастотного усилителя на сопротивлениях

усилителя. Это приводит к неустойчивой работе и самовозбуждению усилителя из-за паразитной обратной связи отдельных каскадов. Правда, подобный недостаток легко устраняется введением в схему специальных развязывающих фильтров, но это лишает усилитель простоты и не оправдано с точки зрения себестоимости высокочастотных транзисторов.

Практическая схема распространенного двухкаскадного усилителя, применяемого в приемниках прямого усиления, приведена на рис. 38. Оба каскада собраны по реостатно-емкостной схеме на высокочастотных транзисторах П401. В качестве коллекторных нагрузок используются активные сопротивления R_2 , R_4 . Связь между каскадами осуществляется посредством конденсаторов C_3 , C_4 . Подобные схемы применяются как при работе приемника на длинных, так и на средних волнах. Данные магнитной антенны МА могут быть следующими. Для работы в длинноволновом диапазоне антенная катушка L_1 должна содержать 250—270 витков провода ПЭЛ или ПЭЛШО 0,1—0,12, а катушка связи L_2 —15—20 витков провода тех же марок диаметром 0,12—

0,2 м. Для работы в средневолновом диапазоне катушка L_1 должна иметь 80—110 витков ПЭЛ или ПЭЛШО 0,15—0,2, а L_2 7—10 витков того же провода. Ферритовый сердечник из материала Ф-600-1000 длиной около 100 и диаметром 8—10 мм.

Приведенные данные катушек справедливы при использовании переменного конденсатора емкостью 25—150 пф (керамический подстроечный конденсатор КПК-2).

Практическая схема высокочастотного усилителя на сопротивлениях, применяемая в супергетеродинных приемниках, показана на рис. 39. Такой усилитель служит для некоторого повышения общей чувствительности приемника и удобен особенно в тех случаях, когда прием ведется на небольшую телескопическую антенну. Чтобы не снижать общей стабильности приемника в работе, стабилизируют и высокочастотный каскад.

Практическая схема высокочастотного усилителя на сопротивлениях, применяемая в супергетеродинных приемниках, показана на рис. 39. Такой усилитель служит для некоторого повышения общей чувствительности приемника и удобен особенно в тех случаях, когда прием ведется на небольшую телескопическую антенну. Чтобы не снижать общей стабильности приемника в работе, стабилизируют и высокочастотный каскад.

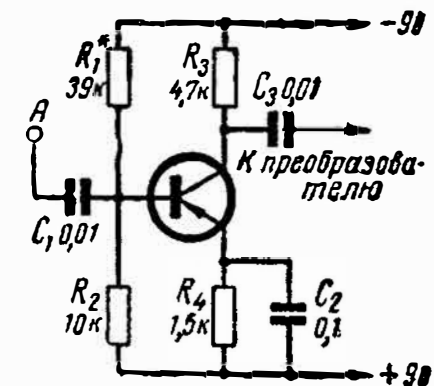


Рис. 39. Схема высокочастотного стабилизированного усилителя на сопротивлениях

4. Последовательность и способы налаживания высокочастотного усилителя на сопротивлениях

Налаживание приведенных выше схем при использовании в них высокочастотных транзисторов типа П401—П403 со средними значениями коэффициентов усиления $\beta = 40 \div 60$ и токами $I_{к0}$ 5—10 мка не составляет большого труда, практически не зависит от компоновки деталей усилителя на монтажной плате и в большинстве случаев сводится лишь к уточнению режимов работы транзисторов и регулировке входных цепей приемника.

Налаживание можно производить на слух при приеме радиостанции или с помощью измерительных приборов. Для этого высокочастотный усилитель соединяют с другими каскадами (детектор, усилитель низкой частоты) и, включив питание, убеждаются в отсутствии самовозбуждения приемника. Если оно имеется, то в первую очередь необходимо «развязать» цепи питания

высокочастотных и низкочастотных каскадов схемы. С этой целью в разрыв минусовой цепи в точке *a* включают развязывающий фильтр, состоящий из сопротивления 500—1000 ом и конденсатора емкостью 5—20 мкф. Если генерация не прекратится, то развязывающий фильтр необходимо перенести в разрыв минусовой цепи питания отдельных высокочастотных каскадов (на схеме рис. 38 он показан пунктиром).

Указанных мер в большинстве случаев бывает вполне достаточно, чтобы устранить неполадку. После этого с помощью подборочных сопротивлений R_1 , R_3 и контрольного миллиамперметра постоянного тока на 3—5 ма устанавливают рекомендуемые в описании (если такое имеется) или ориентировочные коллекторные токи транзисторов T_1 и T_2 , равные 0,5—0,6 ма. Контрольный прибор включают в цепи питания коллекторов, разрывая их в точках *b* и *в*. После этого можно попытаться принять какую-либо местную радиостанцию.

В случае отсутствия приема к антенному контуру через конденсатор емкостью 30—50 пф можно подключить внешнюю антенну. Если и это не помогает, то необходимо проконтролировать выбранный рабочий диапазон с помощью обычного лампового приемника и убедиться в наличии местной работающей радиостанции, удаленной от места приема на расстояние, не превышающее 20—50 км.

Наличие работающей станции будет свидетельствовать о неполадках в налаживаемом приемнике: либо мала чувствительность из-за низкого усиления высокочастотных каскадов, либо сильно смещен рабочий диапазон и частота станции находится за его пределами.

Чтобы убедиться в правильности первого предположения, необходимо на 20—30% изменить коллекторные токи транзисторов T_1 , T_2 или вместо громкоговорителя воспользоваться более чувствительным головным электромагнитным телефоном. Добившись приема, уточняют режимы работы транзисторов, стремясь получить максимальную громкость воспроизведения программы станции. Если она недостаточна для нормальной работы громкоговорителя, то можно в некоторых пределах увеличить число витков катушки связи L_2 , емкости конденсаторов C_3 , C_4 , или заменить транзисторы другими, с большими значениями коэффициента усиления.

Для того чтобы убедиться в смещении рабочего диапазона, можно воспользоваться обычным конденсатором переменной емкости от какого-либо промышленного радиовещательного приемника, подключив его параллельно конденсатору настройки C_1 . При наличии приема желаемой станции вспомогательный конденсатор отпаивают от схемы, ротор конденсатора настройки приемника ставят в положение максимальной емкости и увеличивают число витков катушки L_1 до получения приема. Если вспомогательный конденсатор не дает нужных результатов, то число витков антенной катушки уменьшают.

Соответствующим подбором можно добиться такого положения, когда станция будет приниматься в определенном месте шкалы. Уточнить это можно по шкале контрольного приемника.

При налаживании усилителя с помощью измерительных приборов высокочастотный сигнал можно подавать как на базы транзисторов отдельных каскадов, так и на гнездо А (рис. 38). Подгонку режимов работы транзисторов и укладку частот рабочих диапазонов в нужные границы производят аналогично.

Налаживание усилителя, схема которого приведена на рис. 39, сводится к подбору нужного напряжения смещения на базе транзистора. Подборочным элементом является сопротивление R_1 .

Б. Схема апериодического усилителя высокой частоты с индуктивной нагрузкой

Чаще всего употребляются апериодические высокочастотные усилители с индуктивной нагрузкой, позволяющие получить лучшее согласование отдельных каскадов друг с другом и, естественно, обеспечивающие большее усиление высокочастотного сигнала. Правда, подобные усилители несколько сложнее по конструкции, очень склонны к самовозбуждению, во многом зависящему от общей компоновки деталей высокочастотных каскадов на монтажной плате, и, безусловно, отличаются и большей сложностью в налаживании.

Самовозбуждение может происходить по самым различным причинам. Часто оно возникает из-за паразитной обратной связи через цепи питания (аналогичный

недостаток встречался и в усилителях на сопротивлениях). Кроме этого, в каскадах с индуктивными нагрузками на высоких частотах проявляется внутренняя паразитная проводимость за счет емкости коллектор — база, вызывающей обратную связь между выходом и входом каскада. Нередко причиной, превращающей усилитель в автогенератор, может быть положительная обратная связь, возникающая между коллекторной и базовой цепями транзистора из-за взаимодействия между

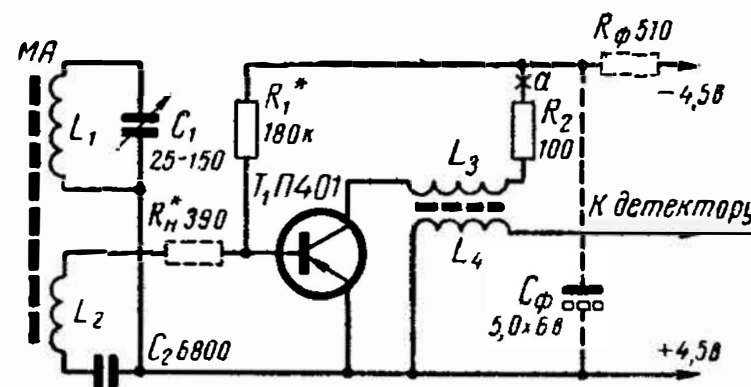


Рис. 40. Схема апериодического высокочастотного усилителя с индуктивной нагрузкой

катушками индуктивной нагрузки и магнитной антенной и связанная с нерациональной (с точки зрения электрической) компоновкой деталей высокочастотной части приемника на его монтажной плате.

Перечисленные недостатки в значительной степени осложняют сборку и налаживание приемников с высокочастотными усилителями с индуктивной нагрузкой, особенно, если имеется не один усилительный каскад, а несколько.

Практическая схема однокаскадного усилителя, наиболее часто применяющаяся в простых приемниках прямого усиления, приведена на рис. 40. Нагрузкой усилительного каскада служит широкополосный высокочастотный трансформатор L_3, L_4 . Нередко вместо трансформатора используют дроссели. Катушки трансформатора должны иметь невысокую, порядка 20, добротность, которая при включении их в схему снизится до нескольких единиц. Подобные трансформаторы выполняют на небольших ферритовых кольцах из материала Ф-600-1000. Катушка L_3 должна содержать 60—70, а L_4 180—200 витков провода ПЭЛ или ПЭВ 0,08—

0,1. Данные катушек магнитной антенны можно взять из предыдущего раздела.

Усилитель можно использовать при работе на длинных и средних волнах. Желательно в обоих случаях применять высокочастотные транзисторы П401 — П403, позволяющие получить большее усиление и устойчивую работу каскада. Но для работы на длинных волнах можно использовать низкочастотные транзисторы типа П14, П15.

Что касается коэффициента усиления β , то его значения могут быть значительно выше среднего и превышать 100—150.

Следует заметить, что при чрезмерно большом усилении каскада снижается его устойчивость в работе и увеличивается склонность к самовозбуждению. Поэтому в схему необходимо вводить специальные элементы, стабилизирующие режим работы транзистора (особенно если его коэффициент усиления превышает 120—150) и предотвращающие возможность возникновения генерации. Такими элементами могут быть делитель напряжения в цепи смещения, сопротивление в цепи эмиттера и развязывающий фильтр в цепи питания.

6. Последовательность и способы налаживания аperiodического усилителя высокой частоты с индуктивной нагрузкой

Как уже указывалось выше, налаживание высокочастотного усилителя с индуктивной нагрузкой неразрывно связано с компоновкой его деталей на монтажной плате, что, естественно, значительно осложняет процесс наладки, так как подчас приходится прибегать не только к электрической регулировке, но и к механической (перемещать некоторые нерационально установленные детали и подбирать им новое место на монтажной плате приемника).

Последовательность налаживания усилителя, схема которого приведена на рис. 40, сводится к следующему. Усилитель соединяют с другими каскадами приемника и включают батарею питания. Если окажется, что он возбуждается, то в первую очередь необходимо принять меры, устраняющие паразитную обратную связь между выходом и входом приемника через цепи питания (этот

вид паразитной связи является наиболее частой неполадкой самых различных усилительных схем).

Чтобы устранить паразитную обратную связь, в разрыв минусовой цепи питания включают развязывающий фильтр, состоящий из сопротивления R_{ϕ} величиной 500—1 000 ом и конденсатора C_{ϕ} емкостью 1—10 мкф. В ряде случаев величина емкости конденсатора может быть снижена до 0,01—0,05 мкф.

Если применение развязывающего фильтра не дает нужных результатов, то может оказаться, что самовозбуждение возникло из-за взаимодействия электромагнитных полей катушек индуктивной нагрузки и магнитной антенны. Иногда достаточно простой перепайки выводов катушек L_2 и L_3 или, если это возможно, вращения ферритового кольца вокруг своей оси. Если этими способами устранить самовозбуждение не удалось, снимают магнитную антенну или высокочастотный трансформатор (что удобнее) и на 5—10 см удаляют от монтажа. В случае исчезновения паразитной связи магнитную антенну ставят на прежнее место, а для высокочастотного трансформатора экспериментальным путем подбирают новое. Проведя эту операцию, не следует окончательно закреплять кольцо на плате, так как в процессе дальнейшего налаживания может оказаться, что еще потребуется некоторая ориентация положения намотанных на нем катушек.

Может случиться так, что и эти меры не позволяют избавиться от самовозбуждения. Паразитная связь между выходом и входом каскада иногда возникает из-за внутренней проводимости самого транзистора, обусловленной наличием емкости коллектор — база. Этот недостаток наиболее ярко проявляется при использовании в усилителе транзисторов с высокими значениями коэффициентов усиления по току.

Для устранения самовозбуждения в цепь базы транзистора T_1 необходимо ввести сопротивление $R_{\text{в}}$ величиной 50—500 ом. Это сопротивление в некоторой степени ослабляет и полезный сигнал, поступающий на вход усилителя из магнитной антенны, поэтому его величину надо уточнить при приеме станции.

Устранив неполадки, связанные с различными видами паразитных обратных связей, переходят к уста-

новке рекомендуемого или ориентировочного значения коллекторного тока транзистора T_1 . Его величина может быть в пределах 0,8—2 ма и зависит от коэффициента β и напряжения питания. Устанавливают ток путем подбора сопротивления R_1 , а контролируют миллиамперметром в разрыве цепи питания в точке a . После этого приемник настраивают на какую-либо радиостанцию и еще раз, конкретно для каждого частного случая, уточняют режим работы транзистора, добиваясь при этом максимальной громкости воспроизведения и хорошего качества звучания.

Дальнейшим этапом работы будет укладка частотного диапазона приемника в нужные границы. Для этого подбирают число витков антенной катушки L_1 . Затем уточняют величину связи антенного контура L_1C_1 с усилителем высокой частоты, учитывая, что с увеличением числа витков катушки L_2 повышается чувствительность приемника, но при этом снижается избирательность входных цепей, так как при слишком большой связи низкое входное сопротивление усилительного каскада сильно шунтирует антенный контур L_1C_1 , снижая добротность.

После этого приемник настраивают на радиостанции, работающие в начале и в конце рабочего диапазона. Если окажется, что какая-либо из них слышна очень слабо, то компенсировать этот недостаток можно смещением средней частоты настройки высокочастотного трансформатора в сторону рабочей частоты станции, прием которой ослаблен. Правда, при этом неравномерность усиления по диапазону будет несколько больше, но это вполне допустимо в данном случае, так как совершенно очевидно, что наиболее важным фактором является не значение неравномерности усиления, а громкость воспроизведения программы принимаемой радиостанции. Сместить частоту (в приемниках подобного типа средняя частота настройки контура нагрузки выбирается равной промежуточной 450—470 кГц) можно подбором числа витков катушки L_3 .

Заключительным этапом налаживания может быть введение искусственной, небольшой по величине положительной обратной связи, способствующей увеличению чувствительности и избирательности приемника. Делают это с помощью высокочастотного трансформатора, ори-

ентируя катушку L_3 относительно катушек магнитной антенны и добиваясь возможно большего усиления при удовлетворительном качестве воспроизведения.

7. Практические разновидности схем усилителей высокой частоты

В различных приемниках прямого усиления, помимо рассмотренных выше схем усилителей, применяется и много других, выполненных на их основе.

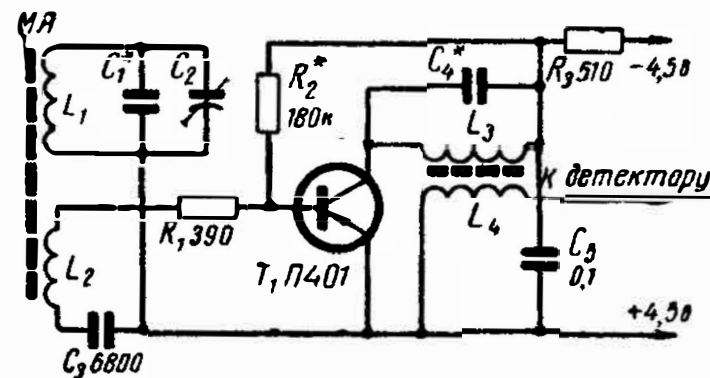


Рис. 41. Схема резонансного усилителя высокой частоты с фиксированной настройкой

На рис. 41 приведена схема резонансного высокочастотного усилителя с фиксированной настройкой на выбранную частоту. Подобный усилитель применяется в том случае, когда приемник предназначается для приема какой-либо одной определенной станции. Высокочастотной нагрузкой усилителя служит резонансный контур L_3C_4 , обладающий высокой добротностью и настраиваемый на частоту принимаемой станции. Наличие резонансного контура позволяет значительно повысить усиление каскада и довести его значение на низшей частоте средневолнового диапазона до 25—30 раз. С целью получения высокой добротности (80—100) катушки контурную L_3 и связи с детектором L_4 выполняют в горшксообразном сердечнике из магнетодиэлектрика (феррит, карбонильное железо). Если приемник предназначается для приема радиостанции, работающей в средневолновом диапазоне, то при использовании сердечника СБ-1а из карбонильного железа катушка L_3 должна содержать 80—90, а L_4 10—15 витков провода ПЭЛ или ПЭВ 0,12—0,15. Если же выбранная станция работает в диапазоне

длинных волн, то L_3 будет иметь 150—160, а L_4 15—20 витков провода тех же марок диаметром 0,1—0,12 мм.

Данные катушек магнитной антенны как для данной схемы, так и для приводимых ниже могут быть взяты из третьего раздела настоящей главы. Налаживание усилителя производят в следующем порядке. Сначала его проверяют на отсутствие самовозбуждения, и если оно имеет место, то устраняют уже известными способами. Правда, если компоновка деталей приемника очень тесная, то не исключена возможность, что для устранения паразитной взаимосвязи между катушками резонансной нагрузки и магнитной антенны придется прибегнуть к экранированию катушек L_3 , L_4 . В качестве такого готового экрана можно использовать алюминиевые или цинковые корпуса малогабаритных электролитических конденсаторов или батарей ФБС-0,2 (1,3-ФМЦ-0,25).

После этого устанавливают нужный режим транзистора T_1 и приступают к настройке антенного и нагрузочного контуров на частоту принимаемой радиостанции. Удобнее всего это выполнять с помощью измерительных приборов. Сначала настраивают контур L_1 . Высокочастотный генератор подключают к базе транзистора T_1 , а контрольный катодный милливольтметр либо к нагрузке детектора, либо к выходу усилителя низкой частоты. Подавая на вход высокочастотного усилителя напряжение порядка нескольких милливольт и изменяя настройку генератора, определяют собственную частоту контура.

После этого подбором емкости конденсатора C_4 производят грубую подстройку на нужную частоту (рабочая частота выбранной радиостанции). Точную настройку в резонанс выполняют с помощью подстроечного сердечника. Закончив ее, уточняют режим работы транзистора и переходят к настройке входного контура. Для этого высокочастотный сигнал подают на катушку L_1 и производят сначала грубую настройку контура с помощью конденсатора C_1 , а точную с помощью подстроечного конденсатора C_2 .

Проверив работу приемника на слух и убедившись, что станция слышна нормально, необходимо закрепить парафином или резиновым клеем положение подстроечного сердечника катушки L_3 и ротор конденсатора C_2 .

Настройку высокочастотных контуров при налаживании на слух удобнее всего выполнять с помощью вспомогательного конденсатора переменной емкости (12—495 пф или ему подобного). Его подключают к антенной катушке L_1 . Подстроечный сердечник катушки L_3 ставят в среднее положение, а емкость конденсатора C_4 выбирают равной 200—250 пф.

Затем, настраивая входной контур, отыскивают нужную радиостанцию. Если сделать этого не удастся, то надо несколько уменьшить или увеличить величину емкости C_4 . Приняв станцию, более тщательно подбирают конденсатор C_4 и уточняют положение подстроечного сердечника, добиваясь при этом максимальной возможной громкости воспроизведения программы радиостанции. Подобную операцию проводят и по подбору конденсаторов C_1 и C_2 . Для этого, определив ориентировочно получившуюся при настройке емкость вспомогательного переменного конденсатора, параллельно к нему подпаивают нужной величины постоянный. Прием пропадет. Уменьшая емкость вспомогательного переменного конденсатора, добиваются возобновления приема. Если сделать это не удастся, значит емкость постоянного конденсатора велика. Его выпаивают из схемы и заменяют полупеременным с максимальной емкостью 20—30 пф.

С помощью полупеременного конденсатора производят окончательную настройку входного контура на частоту нужной станции. В тех случаях, когда конструктивное выполнение катушки L_1 позволяет осуществлять ее передвижение по ферритовому стержню, окончательную настройку можно делать с ее помощью. При этом надо учитывать следующее обстоятельство: при перемещении катушки от края к середине стержня ее индуктивность увеличивается, а следовательно, снижается частота настройки контура, и наоборот.

При постановке монтажной платы в футляр может произойти некоторая расстройка как входного, так и контура нагрузки, поэтому окончательную подстройку желательно производить при полной компоновке приемника.

При слишком сильной расстройке или полном пропадании приема необходимо обратить внимание на расположение громкоговорителя, а точнее, его магнитной

системы относительно антенны приемника. При слишком близком расположении стальных предметов или при воздействии магнитного поля феррит теряет свои свойства, его магнитная проницаемость падает, что, естественно, вызывает расстройку.

Усилитель с резонансным контуром может иметь и плавную настройку в пределах всего рабочего диапазона. Для этого постоянный конденсатор C_4 заменяют

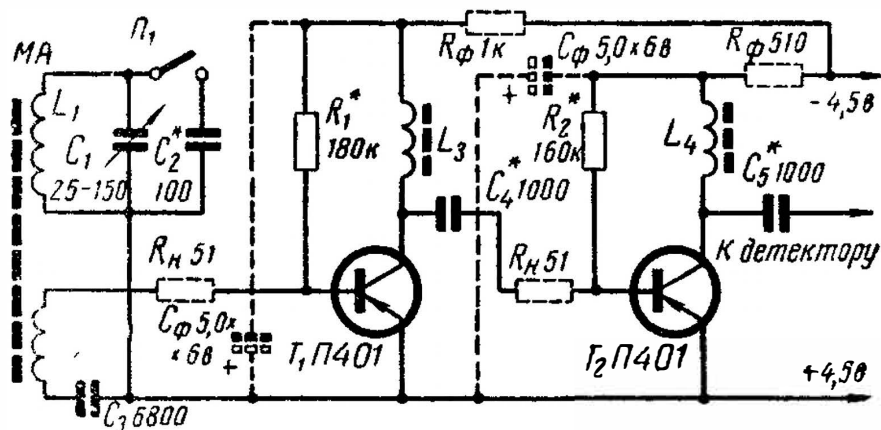


Рис. 42. Схема двухкаскадного усилителя высокой частоты с индуктивными нагрузками

переменным. Практикуют это в приемниках прямого усиления сравнительно редко из-за сложности как в конструктивном отношении, так и в налаживании.

На рис. 42 приведена схема двухкаскадного апериодического усилителя высокой частоты с индуктивной нагрузкой (на схеме показаны дроссели). Наличие индуктивных нагрузок в обоих каскадах (L_3 , L_4) делает усилитель весьма склонным к самовозбуждению.

При налаживании усилителя особое внимание необходимо обратить на компоновку деталей высокочастотной части приемника на монтажной плате. Высокочастотные дроссели L_3 , L_4 должны быть удалены друг от друга и от магнитной антенны на максимально возможное расстояние. Наиболее удачные места расположения этих деталей уточняют экспериментальным путем. Включение развязывающих фильтров, предотвращающих самовозбуждение, показано на схеме пунктиром. При использовании высокочастотных транзисторов П401, П402, П403 с коэффициентами усиления $\beta = 40 \div 80$ и тщательном налаживании коэффициент усиления схемы

на частотах диапазона средних волн может быть достаточно большим, 200—300 раз.

В ряде случаев можно получить и значительно большее усиление, но работа усилителя будет весьма неустойчивой. Усиление отдельных каскадов не должно превышать 15—18 раз. Входные цепи усилителя имеют простую коммутацию. Подобный вариант применяется в том случае, когда желательно в некоторых пределах расширить рабочий диапазон приемника, имеющего переменный конденсатор с небольшой максимальной емкостью.

Например, использование в схеме конденсатора типа КПК-2 емкостью 25—150 пФ не позволяет осуществить перекрытие сразу двух диапазонов (средних и длинных волн) с одной антенной катушкой, так как его перекрытие по емкости очень мало: отношение максимальной и минимальной емкости равно 6, а оно должно быть 40—50 (конденсатор емкостью от 10 до 450—500 пФ). Но иногда перекрытия двух диапазонов и не требуется: желательно только, помимо основного полного средневолнового диапазона, иметь небольшой участок в длинноволновом. С этой целью в антенный контур вводят простейшую коммутацию, с помощью которой к основному конденсатору переменной емкости в нужный момент подключают постоянный. Величину емкости этого конденсатора подбирают экспериментально с тем расчетом, чтобы с помощью переменного конденсатора можно было настроиться на желаемую станцию.

На рис. 43 приведена схема двухкаскадного высокочастотного усилителя с различными видами нагрузок. В первом каскаде в качестве нагрузки используется активное сопротивление R_3 , а во втором индуктивность — высокочастотный дроссель L_3 . Подобные смешанные схемы по сложности конструктивного решения и налаживания занимают среднее положение между схемами с индуктивной нагрузкой и схемами на сопротивлениях. Налаживание такого усилителя ничем не отличается от ранее рассмотренных.

В некоторых случаях может оказаться, что отдельно усилители высокой и низкой частоты работают вполне устойчиво и не склонны к самовозбуждению. Но после их соединения приемник начинает возбуждаться, при-

чем это происходит лишь при приеме станции. Подобная неполадка может возникнуть из-за плохой фильтрации высокочастотной составляющей сигнала на выходе детектора, напряжение которой, попадая в низкочастотные усилительные каскады, и вызывает самовозбуждение. Для его устранения необходимо увеличить емкость конденсатора фильтра C_5 , подбирая ее экспериментальным путем. При этом надо учитывать, что слишком большое значение емкости будет оказывать влияние на сигнал низкой частоты (срезать высокие частоты звукового

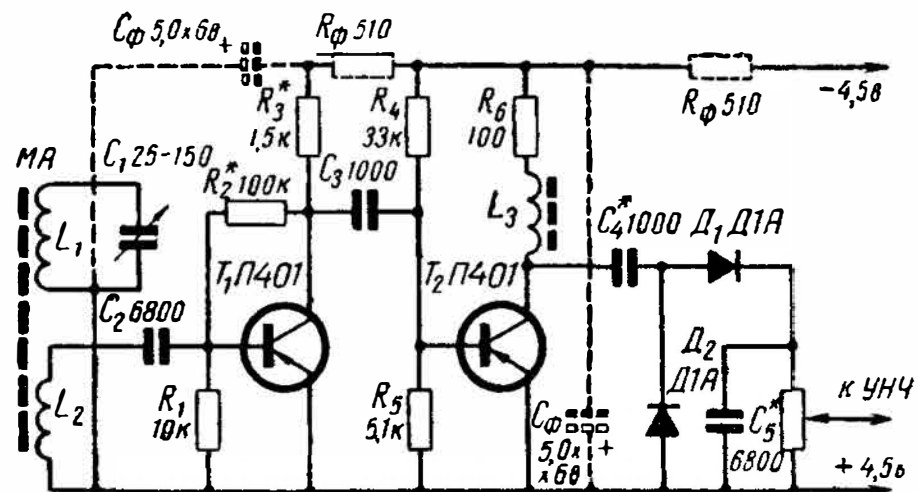


Рис. 43. Смешанная схема двухкаскадного усилителя высокой частоты с различными нагрузками

диапазона). Обычно величина емкости конденсатора фильтра не превышает $0,05 \text{ мкф}$. Если увеличение емкости до указанного значения не дает нужных результатов, то в детекторный каскад надо ввести дополнительный фильтр (см. схему рис. 36) или заменить диод, так как очевидно, что используемый диод имеет низкое обратное сопротивление. Подобная неисправность не является специфичной для схемы рис. 43, она присуща и другим схемам высокочастотных каскадов приемника.

На рис. 44 приведена схема высокочастотного усилителя с регулируемой положительной обратной связью. Подобную схему применяют для повышения чувствительности и избирательности простейших транзисторных приемников прямого усиления. Искусственная цепь обратной связи создается катушкой L_1 , индуктивно связанной с антенной катушкой L_2 и конденсатором пере-

менной емкости C_3 , позволяющим осуществлять соответствующую регулировку величины связи.

Налаживание усилителя выполняют в определенной последовательности. Сначала налаживают усилительный каскад без обратной связи, разорвав ее цепь в любой точке. Получив удовлетворительные результаты, приступают к налаживанию приемника с действующей обратной связью. Для этого восстанавливают разорванную ранее цепь, ротор переменного конденсатора C_3 ставят в положение максимальной емкости и, придвигая катушку L_1 к антенной L_2 , добиваются возникновения генерации. Если сделать этого не удастся, то необходимо поменять местами выводы катушки L_1 или несколько увеличить число витков. Получив генерацию, отодвигают катушку L_1 от антенной до момента срыва автоколебаний, т. е. делают положительную обратную связь меньше критической.

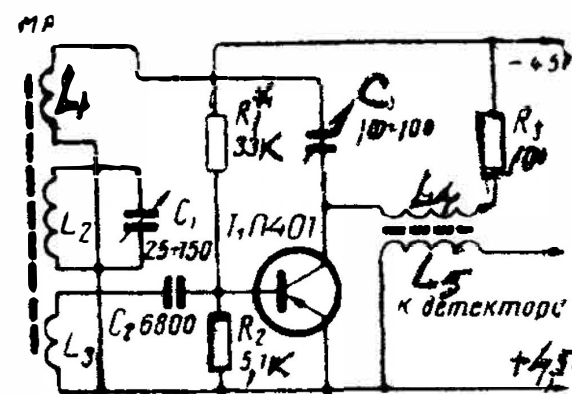


Рис. 44. Схема усилителя высокой частоты с регулируемой обратной связью

На этом налаживание усилителя заканчивают. При приеме слабых дальних станций величина положительной обратной связи может быть близкой к порогу генерации, а при приеме мощных ближних ее уменьшают с помощью регулировочного конденсатора C_3 (уменьшая его емкость).

Регулировку величины обратной связи можно производить не только с помощью переменного конденсатора. Сравнительно часто регулировку осуществляют переменным сопротивлением или изменением положения катушки L_1 относительно L_2 . Переменное сопротивление ($5-10 \text{ ком}$) включают в цепь последовательно с конденсатором, емкость которого подбирают экспериментально с тем расчетом, чтобы при наименьшем значении сопротивления величина положительной обратной связи была близка к порогу генерации. При регулировке наибольшая связь должна быть тогда, когда катушка L_1 приб-

УСИЛИТЕЛИ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ЧАСТОТЫ, ЦЕПИ
АВТОМАТИЧЕСКОЙ РЕГУЛИРОВКИ УСИЛЕНИЯ
И ИХ НАЛАЖИВАНИЕ

лижена вплотную к L_2 . Катушка L_1 обычно имеет небольшое (5—10) число витков провода ПЭЛШО 0,12—0,2.

На рис. 45 приведена схема рефлексного усилителя высокой частоты, выполняющего роль усилителя высокой и низкой частоты. Эти различные функции совмещены в одном каскаде. Процесс работы схемы заключается в следующем. Высокочастотный сигнал из антенной цепи поступает на базу транзистора T_1 , усиливается

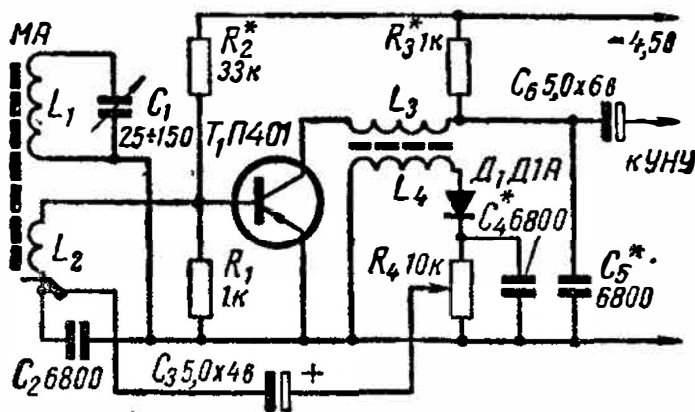


Рис. 45. Схема рефлексного усилителя высокой и низкой частоты

им и поступает на детектор (диод D_1). После детектирования напряжение низкой частоты подводится к базе того же транзистора T_1 и, так же как и высокочастотный сигнал, усиливается. В дальнейшем уже усиленное низкочастотное напряжение поступает на другие каскады приемника. Для выделения того или иного сигнала (низкочастотного или высокочастотного) в коллекторную цепь транзистора введены две нагрузки: катушка L_3 по высокой частоте, а сопротивление R_3 по низкой. Подборочными элементами в схеме рис. 45 являются сопротивления R_2 , R_3 и конденсаторы C_4 , C_5 , которые служат для отфильтровывания высокочастотной составляющей из низкочастотных цепей приемника.

В заключение раздела необходимо заметить, что две последние схемы, несмотря на их сравнительную простоту, требуют тщательного налаживания, особенно если они содержат не одиночные каскады, как это имеет место на рис. 44 и 45, а еще несколько обычных или совмещающих в себе и рефлекс, и обратную связь.

В отличие от усилителей высокой частоты, которые применяются как в приемниках прямого усиления, так и в супергетеродинных, усилители промежуточной частоты используются лишь в приемниках второго типа. В их функции входит обеспечение усиления напряжения промежуточной частоты и получение надлежащей избирательности приемника по соседнему каналу. Обычно это двух-, трехкаскадные схемы, чаще всего с одиночными резонансными контурами, настроенными на фиксированную промежуточную частоту, которая в большинстве радиовещательных приемников выбирается равной 465 кГц. Правда, в последнее время во многих промышленных и любительских конструкциях стали встречаться схемы усилителей промежуточной частоты с фильтрами сосредоточенной селекции, обеспечивающие очень высокую избирательность по соседнему каналу, что выгодно отличает их от обычных. Кроме этих двух основных разновидностей, встречаются и схемы на полосовых фильтрах. Из-за большой сложности налаживания применяются они лишь в некоторых высококачественных приемниках промышленного изготовления. Описание двух первых вариантов, наиболее интересных для радиолюбителя, приводится в настоящей главе.

1. Схема простого резонансного усилителя промежуточной частоты на одиночных контурах

По своему построению усилители промежуточной частоты с одиночными контурами весьма сходны с подобными высокочастотными усилителями. Наиболее часто встречающаяся практическая схема простого усилителя промежуточной частоты приведена на рис. 46. Она содержит два усилительных каскада с одиночными контурами L_3C_3 и L_5C_6 , включенными в коллекторные цепи транзисторов T_1 и T_2 .

Колебательный контур L_1C_1 является нагрузкой смесителя высокой частоты. Катушки L_2 , L_4 , L_6 служат элементами связи отдельных усилительных каскадов друг

с другом и с каскадом смесителя. С целью лучшего согласования выходного и входного сопротивлений каскадов и уменьшения влияния последующего каскада на параметры контура предыдущего катушки связи имеют значительно меньшее число витков, нежели контурные, которое обычно составляет лишь десятую часть последних.

Для обеспечения высокого усиления каскадов и хорошей избирательности контурные катушки должны обла-

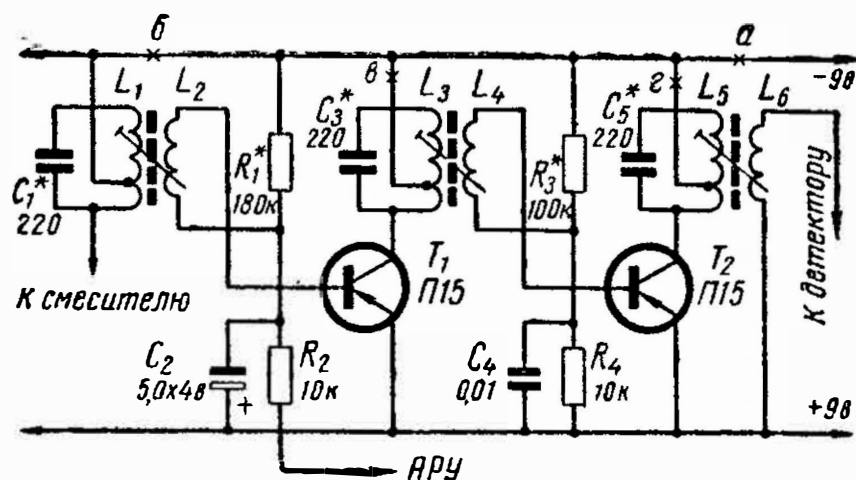


Рис. 46. Схема простого резонансного усилителя промежуточной частоты на одиночных контурах

дать высокой добротностью, значения которой могут быть порядка 100 и более. С этой целью их выполняют на горшкообразных сердечниках из магнитоэлектрика (феррит, карбонильное железо и др.). Нередко в качестве намоточного используют многожильный провод лицендрат.

Практические данные катушек при работе усилителя на стандартной промежуточной частоте 465 кГц и при указанных на схеме рис. 46 значениях конденсаторов C_1, C_3, C_5 будут следующими. Катушки L_1, L_3 и L_5 должны иметь $95 + 55$ витков провода ПЭЛ или ПЭВ 0,1, а L_2, L_4 10—12 витков провода ПЭЛ или ПЭЛШО 0,12—0,15. Катушку связи с детектором наматывают тем же проводом, но число витков увеличивают до 30—40. Все катушки помещают в горшкообразные распространенные сердечники СБ-1а из карбонильного железа. Не следует путать сердечники, изготовленные из указанного материала, с аналогичными по конструкции ферритовыми.

Они обладают различной магнитной проницаемостью и, естественно, имеют другие намоточные данные. Включение колебательных контуров в усилительные каскады может быть полным и неполным. В большинстве случаев пользуются неполным (автотрансформаторное включение), позволяющим уменьшить влияние параметров транзистора на параметры контура, что способствует более устойчивой работе усилительного каскада.

В схеме рис. 46 можно использовать низкочастотные транзисторы типа П14, П15 со сравнительно высокой граничной частотой усиления (1—1,6 мГц). Но значительно лучшие результаты дает применение высокочастотных транзисторов типа П401—П403, позволяющих получить большее усиление с каждого отдельного каскада при достаточно высокой устойчивости в работе даже в случаях, когда схемы не содержат специальных элементов нейтрализации внутренней паразитной проводимости транзисторов. Значения этой проводимости в высокочастотных транзисторах существенно ниже, нежели в низкочастотных. Применяемые в схеме транзисторы могут иметь различные коэффициенты усиления по току, лежащие в пределах 30—150. При использовании низкочастотных транзисторов П14, П15 их коэффициенты усиления не должны быть ниже среднего значения $\beta = 40 \div 60$. В противном случае усиление схемы будет мало. Максимально допустимое усиление каждого отдельного каскада не должно превышать 20—30, иначе усилитель будет работать весьма неустойчиво. Очень большое значение имеет и компоновка деталей усилителя на монтажной плате приемника. Если она выполнена нерационально, то в усилителе могут возникнуть паразитные связи, которые, естественно, приведут к самовозбуждению. Особое внимание на компоновку следует обращать в том случае, когда отсутствует специальная экранировка контурных катушек схемы.

2. Последовательность и способы налаживания простого усилителя промежуточной частоты с одиночными контурами

Налаживание усилителя промежуточной частоты удобнее всего производить с помощью измерительных приборов, но вполне удовлетворительно можно выпол-

нить налаживание и без них, пользуясь различными доступными радиолюбителю способами. Лучше всего это делать при полностью собранном приемнике. Усилитель промежуточной частоты соединяют с преобразователем частоты, детектором и усилителем низкой частоты. Гетеродин преобразователя частоты надо выключить из работы, закоротив его колебательный контур. После соответствующей проверки монтажа к усилителю подключают батарею питания и убеждаются в отсутствии самовозбуждения. Если оно имеет место, то в первую очередь необходимо попробовать развязать цепи питания высокочастотной и низкочастотной частей приемника. Для этого в разрыв минусовой цепи в точке *a* вводят развязывающий фильтр, состоящий из сопротивления величиной 200—300 *ом* и конденсатора емкостью 10—50 *мкф*.

Если общий развязывающий фильтр не помогает, то не исключена возможность, что причиной самовозбуждения является взаимосвязь отдельных каскадов усиления промежуточной частоты друг с другом или с преобразователем частоты. Для устранения такой взаимосвязи надо попытаться применить индивидуальные развязывающие фильтры в каждом из высокочастотных каскадов. В разрыв цепи питания преобразователя в точке *b* можно ввести фильтр из сопротивления указанной ранее величины и конденсатора емкостью 0,05—0,1 *мкф*. Фильтры, вводимые в каскады усиления промежуточной частоты в точках *b* и *г*, могут иметь конденсатор той же емкости и несколько большие сопротивления (500—1 000 *ом*).

Если и индивидуальными развязывающими фильтрами устранить неполадку не удастся, причиной самовозбуждения может оказаться паразитная взаимосвязь между отдельными деталями или проводниками базовых и коллекторных цепей, вызванная нерационально выполненной компоновкой и неудачным монтажом. Наиболее ярко подобная причина может проявляться в том случае, когда отсутствует экранировка колебательных контуров. Поэтому надо применить экранировку и, убедившись в том, что она дает нужные результаты, ввести ее в конструкцию или, если это нежелательно, то пересмотреть компоновку и монтаж.

Причиной самовозбуждения усилителя может быть и транзистор с чрезмерно большим коэффициентом уси-

ления. В этом случае коэффициент усиления каскада может быть выше предельно допустимого значения, что, естественно, приведет к неустойчивой работе схемы. Снизить усиление можно, увеличив значения подборочных сопротивлений R_1 , R_3 в цепях смещения транзисторов T_1 и T_2 . Если и этой меры недостаточно, то транзисторы надо заменить другими.

Устранив неполадки, связанные с самовозбуждением, приступают к настройке колебательных контуров на нужную частоту. Перед проведением этой работы необходимо отключить цепь автоматической регулировки усиления (АРУ) от детектора и соединить ее с плюсовым проводом цепи питания, в противном случае действие АРУ будет маскировать точную настройку в резонанс.

В качестве опорного высокочастотного сигнала с частотой 465 *кГц* можно воспользоваться сигналом промежуточной частоты, снимаемым с обычного лампового приемника промышленного типа. Для этого приемник настраивают на какую-либо местную радиостанцию, к аноду лампы смесителя и усилителя промежуточной частоты присоединяют конденсатор емкостью 500—1 000 *пф* и через него сигнал промежуточной частоты подают на базу транзистора T_2 . Вращением подстроечного сердечника катушки L_5 добиваются максимальной громкости воспроизведения программы принимаемой станции. Если одним сердечником сделать этого не удастся, то необходимо поставить его в среднее положение и подобрать емкость конденсатора C_5 . После его подбора более точно подстраивают контур с помощью регулировочного сердечника. Одновременно с настройкой контура можно уточнить и режим работы транзистора T_2 . Делают это подбором сопротивления R_3 .

В некоторых случаях может оказаться, что величина сигнала, подводимого к налаживаемому каскаду, чрезмерно велика и вызывает перегрузку усилителя. Ослабить, а равно и увеличить высокочастотный сигнал можно переключением разделительного конденсатора либо к каскаду смесителя, либо к каскаду усиления промежуточной частоты вспомогательного приемника, а также уменьшением или увеличением его емкости. Контроль за точной настройкой в резонанс производить на слух сравнительно трудно, поэтому желательно пользоваться

каким-либо индикатором, позволяющим вести визуальный, более точный контроль.

Если усилитель низкой частоты имеет двухтактный выходной каскад, то в качестве индикатора можно использовать миллиамперметр постоянного тока, включая его в цепь питания этого каскада. Точность настройки определяют по его максимальным показаниям.

Если усилитель низкой частоты имеет одноктактный выходной каскад, то в качестве индикатора выхода можно воспользоваться вольтметром переменного тока с невысоким (до 3—5 в) пределом измерения, подключая его к коллектору транзистора выходного каскада через конденсатор емкостью 100—200 мкф.

Индикатором в схемах, где для детектирования используются полупроводниковые диоды, может служить также микроамперметр постоянного тока на 50—200 мка. Включают его последовательно с нагрузкой детектора. Наладив один каскад, приступают к налаживанию другого. Для этого высокочастотный сигнал подают на базу транзистора T_1 , а затем на базу смесителя и производят соответствующие регулировки. В процессе налаживания усилитель может возбудиться, причем при отсутствии высокочастотного сигнала самовозбуждение исчезает. Произойти эта неполадка может из-за большой обратной паразитной проводимости в транзисторе возбуждающегося каскада. Наиболее часто это происходит в схемах, где используются низкочастотные транзисторы типа П14, П15. В ряде промышленных схем с этой паразитной проводимостью ведут борьбу, применяя специальную нейтрализацию. В любительских условиях выполнять эту весьма кропотливую работу, подчас не дающую желаемых результатов, нецелесообразно. Гораздо проще и надежнее подобрать другой транзистор.

Налаживание усилителя с помощью измерительных приборов также производится по каскадам. Сначала промодулированный ($M=30\%$) сигнал с частотой 465 кГц подают на базу транзистора T_2 , затем на базу T_1 и т. д. Контроль за настройкой ведут с помощью лампового милливольтметра и осциллографа; подключая их на выход усилителя низкой частоты, либо присоединяя параллельно нагрузке детектора. С помощью милливольтметра контролируют точность настройки контуров в резонанс и определяют величину напряжения, нужного

для нормальной работы низкочастотных каскадов приемника, а с помощью осциллографа следят за формой низкочастотного сигнала, не допуская его искажения при подборе сопротивлений в цепях смещения транзисторов.

Рассмотренный усилитель при использовании в нем транзисторов типа П14, П15 со средними значениями коэффициентов усиления по току сравнительно легко обеспечивает устойчивое усиление порядка 300—400 раз при полосе пропускания 3—4 кГц. Поднять устойчивое усиление до 500—600 раз можно, применив высокочастотные транзисторы типа П401—П403. Избирательность такого усилителя по соседнему каналу (при расстройке на ± 10 кГц) порядка 12—15 дБ. Расширить полосу пропускания усилителя можно некоторой расстройкой колебательных контуров относительно промежуточной частоты 465 кГц или их шунтированием сопротивлениями 30—50 ком. При этом следует учитывать, что с расширением полосы пропускания усиление будет падать.

3. Практические разновидности схем усилителей промежуточной частоты

На рис. 47 приведена схема резонансного усилителя промежуточной частоты, отличающаяся от предыдущей лишь тем, что в нее введены элементы стабилизации режимов транзисторов и автоматическая регулировка усиления осуществляется не по цепи базы транзистора T_1 , как это имело место в схеме рис. 46, а по цепи эмиттера.

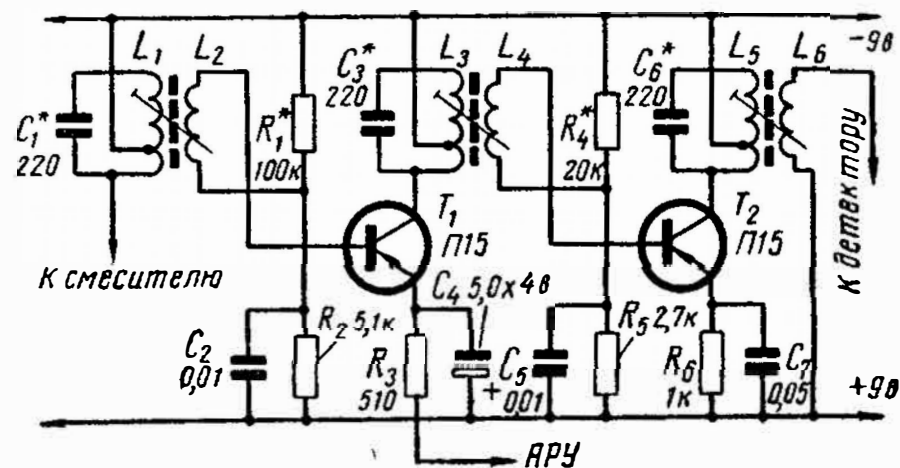


Рис. 47. Схема стабилизированного резонансного усилителя промежуточной частоты на одиночных контурах

Некоторое усложнение схемы вполне окупается высокой стабильностью в работе и меньшей чувствительностью к использованию транзисторов со значительным разбросом параметров. Так, например, при неизменных данных схемы и использовании транзисторов с коэффициентами усиления $\beta = 35 \div 80$ удается получить весьма сходные электрические показатели усилителя, аналогичные данным усилителя, рассмотренного выше. Налаживание стабилизированного усилителя производится в той же последовательности, что и нестабилизированного. Подбо-

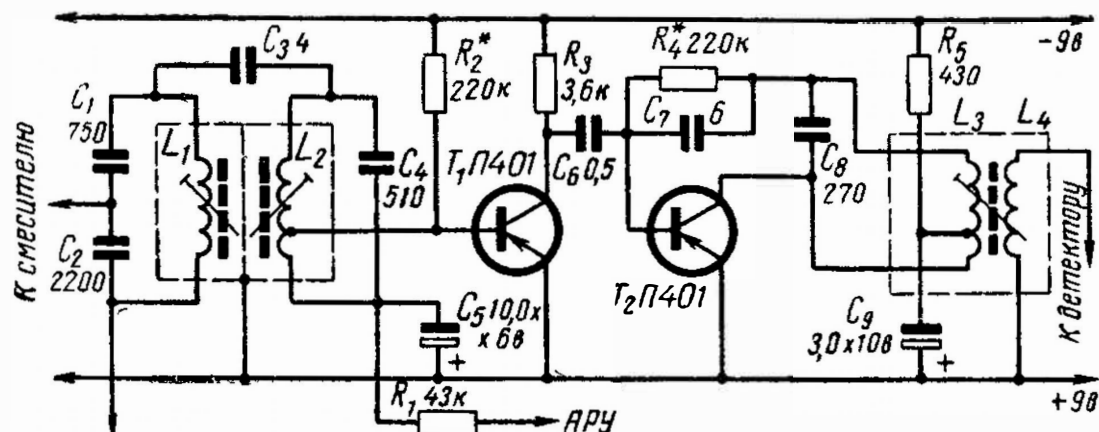


Рис. 48. Схема усилителя промежуточной частоты с фильтром сосредоточенной селекции

рочными элементами служат сопротивления R_1 , R_4 и конденсаторы C_1 , C_3 , C_6 .

На рис. 48 приведена схема усилителя промежуточной частоты с фильтрами сосредоточенной селекции и реостатно-емкостным и резонансным усилительными каскадами, отличающаяся от предыдущих более широкой полосой пропускания 6—9 кГц, избирательностью по соседнему каналу 15—25 дБ и устойчивым усилением, величина которого в ряде подобных схем может превышать 1000—1500 раз.

Избирательность усилителя определяется лишь фильтром сосредоточенной селекции. В рассматриваемой схеме он состоит всего из двух звеньев $L_1C_1C_2$ и L_2C_4 , но существуют схемы и со значительно большим количеством подобных контурных ячеек. Контурные звеньев тщательно экранируют друг от друга, а связь осуществляют посредством конденсатора C_4 , имеющего весьма маленькую емкость. Чисто емкостная

связь значительно упрощает процесс настройки фильтра. Ввиду того что фильтр сосредоточенной селекции определяет общую избирательность усилителя, к его контурам предъявляются весьма жесткие требования по добротности, которая должна быть порядка 100 и выше. С этой целью контурные катушки обычно выполняют на горшкообразных сердечниках из магнитоэлектрика с большой магнитной проницаемостью, из феррита или карбонильного железа. Практические данные катушек схемы следующие. Катушки L_1 , L_2 , L_3 при выполнении на сердечниках СБ-1а из карбонильного железа должны содержать по 94 витка провода ПЭЛ или ПЭВ 0,1. Вместо указанного одножильного провода желательно применять многожильный марки ЛЭ 5 × 0,06 (без шелковой изоляции). Отвод катушки L_2 делают от 10—14-го витка. Катушка связи L_4 содержит 60—80 витков провода ПЭЛ или ПЭВ 0,1.

Усиление напряжения промежуточной частоты осуществляется с помощью двух высокочастотных диффузионных транзисторов П401. Кроме них, в схеме можно применять дающие лучшие результаты транзисторы П402 и П403 с коэффициентами усиления по току не ниже 30—35. Первый каскад усилителя аperiodический, собран на сопротивлениях, второй резонансный. Применение аperiodического каскада повышает устойчивость усилителя в работе, так как отдельные каскады с различными типами нагрузок сильно рассогласованы.

Налаживание усилителя с фильтром сосредоточенной селекции удобнее всего выполнять с помощью измерительных приборов, но можно и на слух при полностью собранном приемнике. Если предполагается, что наладивание будет производиться на слух, то заранее желательно ориентировочно подстроить отдельные контуры схемы любым способом на нужную промежуточную частоту 465 кГц.

Предварительная подстройка колебательных контуров на нужную частоту не займет много времени, но значительно упростит последующее наладивание усилителя промежуточной частоты. При дальнейшем наладивании уточняют настройку контуров и режим работы транзисторов T_1 и T_2 . Делают последнее с помощью подборочных сопротивлений R_2 и R_4 в цепях смещений. При настройке контуров в резонанс сопротивление цепи АРУ

нужно отсоединить от детектора и соединить с плюсовым проводом цепей питания. Налаживание с помощью высокочастотного генератора и других приборов производят в определенной последовательности. Сначала настраивают резонансный усилительный каскад, затем апериодический. Сигнал промежуточной частоты (465 кГц) подают в указанной последовательности к базам транзисторов T_2 и T_1 . Контуры фильтра сосредоточенной селекции настраивают на одну частоту 465 кГц.

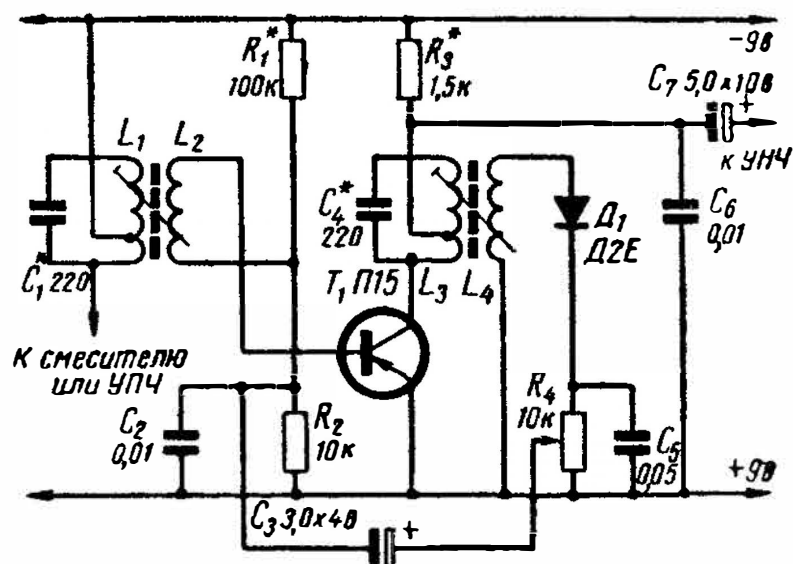


Рис. 49. Схема рефлексного усилителя промежуточной частоты

Сигнал в этом случае подают на базу транзистора смесителя. Ориентировочные коллекторные токи транзисторов T_1 и T_2 могут быть 0,5—0,8 и 1—1,5 ма соответственно.

На рис. 49 приведена схема рефлексного усилительного каскада, применяемого в простых супергетеродинных приемниках с малым количеством транзисторов. Каскад обеспечивает усиление напряжения как промежуточной, так и низкой частоты. Нагрузкой по промежуточной частоте служит контур L_3C_4 , а по низкой сопротивлению R_3 . Налаживание совмещенного усилителя несколько сложнее как с точки зрения выбора режима транзистора, так и устойчивости схемы в работе. Усилитель весьма склонен к самовозбуждению по причинам, изложенным ранее. Помимо указанного на схеме типа транзистора, можно применять высокочастотные

транзисторы П401—П403 со средними значениями коэффициента усиления по току, обеспечивающими большую устойчивость работы при достаточном усилении на промежуточной частоте. Коллекторный ток транзистора должен выбираться в пределах 0,8—1,5 ма.

4. Замечания по налаживанию системы автоматической регулировки усиления

В схемах усилителей промежуточной частоты имеется, как правило, автоматическая регулировка усиления. Наиболее простым и широко применяющимся способом регулировки усиления является изменение режима работы транзистора по постоянному току. Управление осуществляется либо путем непосредственного изменения тока эмиттера транзистора регулируемого каскада, либо посредством тока базы. Непосредственно управлять током эмиттера можно в тех случаях, когда в схеме приемника применяется достаточно мощный детектор на транзисторе. Управление через базовую цепь осуществляют при применении маломощного детектора на полупроводниковом диоде. Цепи АРУ для обоих случаев регулировки показаны на ранее рассмотренных схемах рис. 46—48. В третьей схеме управление усилением каскада осуществляется посредством тока базы, а в первой и во второй — изменением тока эмиттера. Практические схемы цепей АРУ обычно просты и аналогичны приведенным выше. Налаживание подобных систем АРУ сводится к следующему. Если оно выполняется на слух, то удобнее всего это делать при полностью собранном и вполне работоспособном приемнике. Уточняя величину сопротивлений R_1 или R_2 в схемах рис. 46 или 48, соответственно добиваются такого положения, чтобы ни одна из принимаемых приемником радиостанций не вызвала перегрузки каких-либо усилительных каскадов схемы.

При налаживании АРУ с помощью измерительных приборов на вход усилителя подают сигнал частоты 465 кГц с напряжением, нужным для получения номинальной выходной мощности, затем регулятор громкости ставят в такое положение, когда мощность будет равна половине номинальной, и, подбирая указанные сопротивления и увеличивая напряжение на входе уси-

лителя в 5—20 раз, добиваются такого положения, чтобы сигнал на выходе усилителя низкой частоты увеличился не более чем в 1,5—3 раза.

ГЛАВА ПЯТАЯ

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ И ИХ НАЛАЖИВАНИЕ

В супергетеродинных приемниках высокочастотный сигнал принятой радиостанции преобразуется в сигнал промежуточной частоты с помощью специальных каскадов — преобразователей частоты, отличающихся от любых других каскадов приемников большей сложностью как в конструктивном отношении, так и в наладивании.

По принципу работы преобразователя можно разбить на две группы: самовозбуждающиеся (адитивные) и с посторонним возбуждением. Первые имеют совмещенный в одном транзисторе гетеродин и смеситель. Вторые выполняются на двух транзисторах и имеют отдельные гетеродин и смеситель.

Вполне естественно, что совмещенные преобразовательные каскады более просты в конструктивном отношении, нежели отдельные, так как содержат меньшее число деталей, но они сложнее в наладивании. Вызвано это тем, что требования, предъявляемые к смесителю и гетеродину, весьма противоречивы и обеспечить их в одном общем каскаде значительно труднее, чем в двух отдельных, каждый из которых выполняет лишь одну определенную функцию. Положение осложняется еще и тем, что транзисторы, применяемые в преобразователях, как и любые другие, обладают большим разбросом основных параметров, а последние зависят от температуры окружающей среды.

Исходя из сказанного предпочтение следовало бы отдать двухтранзисторным преобразователям, но, как показывает промышленная и радиолюбительская практика, наиболее часто применяются менее сложные по конструкции — одностранзисторные.

1. Схема одностранзисторного преобразователя высокой частоты

На рис. 50 приведена практическая схема одного из наиболее распространенных преобразователей частоты,

применяемых как в промышленных, так и в радиолюбительских конструкциях. Преобразователь имеет совмещенные смеситель и гетеродин, выполненные на транзисторе T_1 . Для осуществления преобразования частоты режим работы транзистора выбирается на нелинейном участке характеристики. Высокочастотный сигнал принятой станции из магнитной антенны подводится к базе транзистора, а сигнал местного гетеродина — к его эмит-

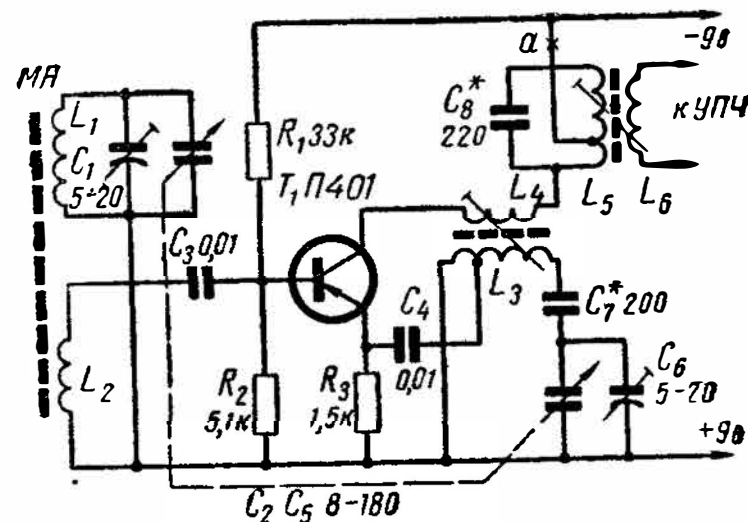


Рис. 50. Схема одностранзисторного преобразователя высокой частоты

теру. Гетеродинная часть преобразователя собрана по схеме с индуктивной обратной связью. Элементом связи служит катушка L_4 , индуктивно связанная с контуром гетеродина $L_3C_5C_6C_7$. Напряжение промежуточной частоты выделяется на фильтре L_5C_8 .

Для устойчивой работы преобразователя в схеме необходимо применять высокочастотные диффузионные транзисторы типа П401—П403 с высокой граничной частотой. Для получения возможно большего усиления преобразовательного каскада (обычно для подобных схем 5—10 раз) необходимо, чтобы они имели небольшой (в пределах 10 дБ) шум-фактор и коэффициенты усиления по току не ниже среднего значения ($\beta = 40 \div 60$).

Чтобы обеспечить устойчивую работу гетеродина, его контурные катушки должны иметь высокую добротность, порядка 80 и более. Аналогичное требование предъявляется и к катушкам магнитной антенны, обеспечивающим избирательность приемника. Практические данные

контурных катушек схемы для указанной емкости секций блока и для работы в средневолновом диапазоне следующие. Сердечник магнитной антенны из феррита марки Ф-600. Его длина около 100 и диаметр 8 мм. Катушка L_1 должна содержать 70—90 витков ЛЭШО $7 \times 0,07$ или ему подобного провода, катушка связи L_2 — 8—9 витков провода ПЭЛ или ПЭЛШО 0,15—0,25. Контурную катушку L_3 и катушку связи гетеродина L_4 выполняют на сердечнике СБ-1а из карбонильного железа. Первая из них должна содержать 4 + 95, а вторая 16 витков провода ПЭЛ или ПЭВ 0,12—0,15. Лучшие результаты можно получить, если для намотки гетеродинных катушек применить лицендрат без шелковой изоляции марки ЛЭ $5 \times 0,06$.

2. Общая проверка преобразователя частоты и устранение самовозбуждения

Соединив преобразователь частоты с другими каскадами приемника, приступают к его проверке под током, которая сводится к устранению самовозбуждения и ориентировочной установке рабочего режима транзистора T_1 . Если после включения батареи питания окажется, что приемник самовозбуждается, то в первую очередь необходимо убедиться в том, что неполадка не ложная. Ложное самовозбуждение может возникнуть при отсутствии надлежащего сопряжения между входными и гетеродинными контурами и случайном совпадении настройки первых на частоту какой-либо радиостанции. В этом случае необходимо попытаться подстроить гетеродинную катушку L_3 , изменяя положение регулировочного сердечника, или изменить общую настройку входных и гетеродинных катушек L_1 , L_3 , повернув на некоторый угол ротор сдвоенного блока конденсаторов переменной емкости C_2 , C_5 . Если самовозбуждение не прекращается, то в цепь питания преобразовательного каскада следует включить развязывающую цепочку. Об этом уже было сказано выше.

Приняв указанные меры и не добившись должных результатов, неполадку следует искать в слишком большом усилении каскада, превышающем предельно допустимое, которое для подобных схем не должно быть более 10. В противном случае каскад работает весьма

неустойчиво и часто при малейших паразитных связях отдельных элементов схемы склонен к самовозбуждению. Чтобы избежать этого, необходимо изменить режим работы транзистора T_1 , несколько снизив напряжение смещения на его базе с помощью подборочного сопротивления R_1 .

Если и это не помогает, то, очевидно, транзистор обладает большой обратной проводимостью и его надо заменить. Что касается взаимосвязи между гетеродинным контуром и магнитной антенной, то она не является причиной возникновения паразитной генерации. Компоновка этих деталей относительно друг друга может быть весьма свободной даже при отсутствии экранировки контура гетеродина. Правда, отсутствие экранировки несколько осложняет настройку, так как при взаимосвязи изменение параметров одного контура вызывает изменение параметров другого, но во многих простых конструкциях это вполне терпимо.

Устранив неполадки, связанные с неустойчивостью работы каскада, уточняют режим работы транзистора. Делают это с помощью миллиамперметра на 2—3 ма, включая его в разрыв цепи питания коллектора в точке a . Показания прибора, не считая каких-либо частных случаев, не должны превышать 1—1,2 ма (обычно ниже 0,4—0,7 ма). Вызвано это тем, что для обеспечения хорошего преобразования необходимо, чтобы рабочая точка находилась на участке характеристики с наибольшей крутизной. Для транзисторов типа П401—П402 это условие можно удовлетворить, как раз устанавливая коллекторный ток в пределах указанных значений. Установив ориентировочный или рекомендуемый режим работы транзистора, переходят к налаживанию гетеродинной части преобразователя частоты.

3. Проверка и способы устранения неполадок гетеродина

Основным требованием, предъявляемым к гетеродинной части преобразователя, является наличие устойчивой генерации в пределах рабочего диапазона при необходимом значении вырабатываемого высокочастотного напряжения.

Убедиться в работоспособности гетеродина можно с помощью высокочастотного лампового милливольтметра,

подключая его параллельно сопротивлению R_3 . При наличии генерации прибор должен зафиксировать напряжение порядка 50—150 мВ, которое при перестройке контура гетеродина $L_3C_5 - C_7$ будет изменяться в некоторых пределах. На низшей частоте диапазона оно будет максимальным, на высшей — минимальным.

Проверить наличие генерации можно и с помощью обычного авометра. Если его вольтметр постоянного тока, имеющий шкалу 2—3 В, обладает достаточно высоким (5—20 ком) входным сопротивлением, то его можно подключать к схеме так же, как и ламповый милливольтметр. Заметив показания прибора, закорачивают контур гетеродина. Показания вольтметра должны несколько измениться в сторону уменьшения напряжения.

Аналогичным образом можно проверить гетеродин и с помощью миллиамперметра постоянного тока на 2—3 мА, включая его в разрыв коллектора транзистора T_1 в ранее указанной точке a . При закорачивании контура ток в цепи будет уменьшаться. Необходимо заметить, что изменения напряжения или тока происходят в незначительных пределах, поэтому подобную проверку необходимо выполнять внимательно, чтобы не впасть в заблуждение.

Определить величину вырабатываемого гетеродином высокочастотного напряжения, пользуясь подобными приборами, невозможно. Уточнить его значение придется экспериментальным путем в процессе дальнейшего налаживания преобразователя на слух. Пользуясь высокочастотным милливольтметром, получить нужное напряжение можно путем подбора числа витков отвода от контурной катушки L_3 . Убедиться в наличии генерации гетеродина можно и еще более простым способом, прослушивая работу громкоговорителя при перестройке приемника в пределах рабочего диапазона частот. Если гетеродин работает, то в громкоговорителе даже при отсутствии надлежащего сопряжения входных и гетеродинных контуров будут прослушиваться характерные, изменяющиеся по громкости и высоте тона свисты, свидетельствующие о наличии принимаемых станций. Иногда удается принять помеху или даже программу станции и при неработающем гетеродине. Такой вариант возможен в случае расстройки контуров фильтров промежуточной частоты и при приеме местных станций, имеющих

рабочие частоты, близкие к промежуточной частоте приемника. Правда, помимо приема какой-либо подобной станции, в рабочем диапазоне приемника больше ничего не слышно.

Отсутствие генерации может происходить по следующим причинам: мала величина положительной обратной связи, неправильно выбрана фаза, низка граничная частота транзистора или недостаточно высоко качество контура, его $Q < 50—60$. Усилить связь можно увеличением числа витков катушки L_4 . Для изменения фазы необходимо поменять местами выводы этой же катушки; если это не даст результата, следует заменить транзистор и как крайняя мера сменить контур. Возможно, что в какой-либо из его катушек имеются короткозамкнутые витки, очень сильно загрязнен провод и т. д. Устранив неполадки, добившись устойчивой генерации, приступают к настройке входных и гетеродинных контуров приемника.

4. Настройка контура гетеродина с помощью сигнал-генератора

Известно, что собственная частота контура гетеродина в любых точках рабочего диапазона должна отличаться от собственной частоты входного контура, настраиваемого на частоту принимаемого сигнала, на одну и ту же строго определенную величину, равную промежуточной частоте приемника. Это обстоятельство заставляет применять входные и гетеродинные контуры с различными перекрытиями по частоте, что в значительной мере осложняет процесс настройки высокочастотной части супергетеродинного приемника. Положение еще усугубляется тем, что любителю не всегда удается приобрести нужные детали и материалы для изготовления колебательных контуров, поэтому неизбежен большой разброс их основных параметров, который из-за отсутствия предварительной подгонки усложняет настройку.

Выполнять ее удобнее всего с помощью измерительных высокочастотных приборов. Работу по настройке высокочастотных контуров при наличии сигнал-генератора начинают с проверки и подгонки рабочих частот контура гетеродина в границы рабочего диапазона. В большинстве радиовещательных приемников рабочая

частота контура гетеродина выбирается выше частоты принимаемого сигнала на промежуточную. Зная крайние частоты стандартных диапазонов длинных (150—415 кГц) и средних (520—1 600 кГц) волн, а также промежуточную (465 кГц), определяют крайние частоты рабочих диапазонов гетеродина приемника, которые будут 614—880 и 985—2 065 кГц для длинных и средних волн соответственно.

Затем приступают к проверке. Для этого ротор блока настройки приемника ставят в положение максимальной емкости, а регулировочный сердечник катушки L_3 и ротор полупеременного конденсатора C_6 — в среднее. На базу транзистора T_1 с выхода сигнал-генератора подают высокочастотное напряжение и настраиваются в резонанс, добиваясь максимальных показаний индикатора на выходе приемника. После этого, суммируя значение частоты, снятое со шкалы высокочастотного генератора и промежуточной частоты, находят низшую частоту настройки контура гетеродина.

Аналогичным способом (только уже при минимальной емкости конденсатора C_5) определяют высшую частоту настройки контура. Если после такой проверки окажется, что гетеродин перекрывает нужные частоты рабочего диапазона, то можно приступить к укладке частот в нужные границы. Если же нет, то необходимо определить причину неполадки. Слишком маленькое перекрытие по частоте может быть вызвано недостаточной величиной индуктивности контурной катушки L_3 или малым перекрытием конденсатора C_5 по емкости. В этом случае необходимо увеличить число витков катушки L_3 или заменить блок конденсаторов, поставив вместо него другой с большим отношением максимальной и начальной емкостей друг к другу. Когда диапазон гетеродина смещен в сторону высших частот, то надо увеличить емкость сопрягающего конденсатора C_7 , а иногда и число витков катушки L_3 . Если же диапазон смещен в сторону низших частот, то число витков катушки уменьшают.

Устранив неполадки, приступают к настройке. Емкость конденсаторов блока C_2C_5 снова делают максимальной, на шкале высокочастотного генератора устанавливают низшую частоту длинноволнового (150 кГц) или средневолнового (520 кГц) диапазонов и, подавая возможно меньший сигнал, подстроечным сердечником

катушки L_3 настраивают гетеродинный контур на частоту 615 или 985 кГц.

После этого ротор блока ставят в положение минимальной емкости, на шкале генератора устанавливают высшую стандартную частоту (415 или 1 600 кГц) нужного из указанных диапазонов и с помощью подстроечного конденсатора C_8 настраивают гетеродинный контур на частоту 880 или 2 065 кГц. Закончив эту операцию, возвращаются к прежней. Снова уточняют настройку контура на низшую частоту до тех пор, пока любое изменение положения подстроечного сердечника контурной катушки и ротора полупеременного конденсатора будет приводить не к увеличению, а к уменьшению сигнала на выходе приемника. После этого приступают к сопряжению входных и гетеродинных контуров друг с другом.

5. Сопряжение входных и гетеродинных контуров с помощью сигнал-генератора

Согласование взаимосвязанных настроек входных и гетеродинных контуров друг с другом или их сопряжение чаще всего выполняется в трех точках рабочего диапазона приемника, а вернее только в двух: в его начале и в конце, сопряжение в середине диапазона получается автоматически. Эти три примечательные точки именуют точками точного сопряжения, при настройке на частоты которых разность между частотами контура гетеродина и входного точно равна промежуточной. Во всех остальных точках рабочего диапазона приемника неизбежно существует некоторая, вполне терпимая как в любительских, так и в промышленных условиях расстройка.

В некоторых конструкциях приемников сопряжение выполняют не в трех, а в большем количестве точек, используя в гетеродинной секции блока пластины специальной конфигурации, но практикуется это сравнительно редко. Кстати, редки и сами блоки, их применение ограничивается лишь узким кругом специальных, обычно однодиапазонных приемников.

Приступая к сопряжению входных и гетеродинных контуров с помощью сигнал-генератора, необходимо знать частоты трех указанных выше точек. Найти эти частоты можно из следующих выражений.

Частота сопряжения в середине диапазона:

$$f_{\text{ор}} = \frac{f_{\text{макс}} + f_{\text{мин}}}{2},$$

где $f_{\text{макс}}$ и $f_{\text{мин}}$ — высшая и низшая частоты диапазона.

Частота сопряжения в начале диапазона (низшая частота):

$$f_1 = f_{\text{ор}} - 0,433 (f_{\text{макс}} - f_{\text{мин}}).$$

Частота сопряжения в конце диапазона (высшая частота):

$$f_2 = f_{\text{ор}} + 0,433 (f_{\text{макс}} - f_{\text{мин}}).$$

Подставив нужные числовые значения, легко найти, что для диапазона средних волн частотами точного сопряжения будут: $f_{\text{ор}} = 1060$ кГц, $f_1 = 592,36$ кГц и $f_2 = 1527,64$ кГц. После этого приступают к сопряжению. Выход сигнал-генератора через разделительный конденсатор емкостью 100—200 пФ соединяют с антенным контуром $L_1C_1C_2$ (верхний по схеме вывод катушки L_1), блок настройки приемника ставят в положение максимальной емкости и, подавая сигнал с частотой порядка 600 кГц, подстраивают входной контур путем изменения индуктивности катушки L_1 .

Обычно антенные катушки магнитной антенны транзисторных приемников выполняются подвижными. Передвигая эту катушку к середине стержня, можно увеличить ее индуктивность и, наоборот, уменьшить, если сдвинуть в сторону края. Если пределов регулировки недостаточно, то необходимо увеличить или уменьшить число витков. После этого емкость конденсаторов блока настройки делают минимальной, на шкале сигнал-генератора устанавливают частоту порядка 1 500 кГц и подстраивают контур полупеременным конденсатором C_1 . После этого необходимо уточнить настройку контура на низшую частоту сопряжения и весь цикл повторить несколько раз. Проверить точность сопряжения можно, настроив генератор и приемник на среднюю частоту сопряжения около 1 000 кГц. Если окажется, что точное сопряжение в середине шкалы приемника отсутствует, то необходимо уточнить индуктивность катушки контура гетеродина и емкость сопрягающего конденсатора. Вполне естественно, что весь процесс настройки придется выполнить снова.

6. Настройка входных и гетеродинных контуров без измерительных приборов

Настройку высокочастотной части супергетеродина можно выполнить и без специальных измерительных приборов, просто на слух при приеме радиостанции. Процесс работы в ряде случаев будет сильно осложняться тем, что в районе, где проживает радиолюбитель, не всегда удается принять нужные станции. Поэтому качество настройки на слух зависит от степени подготовленности радиолюбителя.

Последовательность налаживания преобразователя при работе без приборов сводится к следующему. Сначала надо попытаться принять какую-либо радиостанцию. Для этого к антенному контуру можно подключить наружную антенну. Вращая ротор блока настройки, внимательно прослушивают работу громкоговорителя. Если принять программу станции не удастся, а вместо нее в громкоговорителе прослушивается лишь изменяющийся по громкости и высоте тона звук, то, поставив ротор блока в положение, при котором этот сигнал слышен наиболее громко, надо попытаться несколько изменить настройку входного или гетеродинного контура. В первом случае катушку L_1 передвигают по стержню магнитной антенны, а во втором подстраивают регулировочный сердечник катушки L_3 .

Добившись приема, пользуясь шкалой какого-либо промышленного радиоприемника, определяют рабочую частоту этой станции и, если надо, смещают ее настройку, в нужное место шкалы подстраивая контур гетеродина. Делать это надо постепенно. Слегка сместив настройку станции в нужную сторону шкалы, подстраивают и входной контур на максимум громкости. После этого уточняют настройку фильтров промежуточной частоты, также добиваясь максимально возможного приема. При достаточно большом усилении сигнала станции наружную антенну можно отсоединить от входного контура и продолжать работать с магнитной антенной. Проверку границ рабочего диапазона выполняют, принимая радиостанции, работающие в его начале и в конце.

В наиболее благоприятном положении при выполнении этой работы находятся радиолюбители Москвы и

Московской области. Настройку своих приемников они могут выполнять по станциям центрального вещания.

Укладку частот контура гетеродина и сопряжение входных и гетеродинных контуров друг с другом выполняют теми же способами, что и при наличии измерительных приборов, только сигнал-генератор будет заменять та или иная радиостанция, работающая в начале или в конце соответствующего диапазона. Возможно, что в

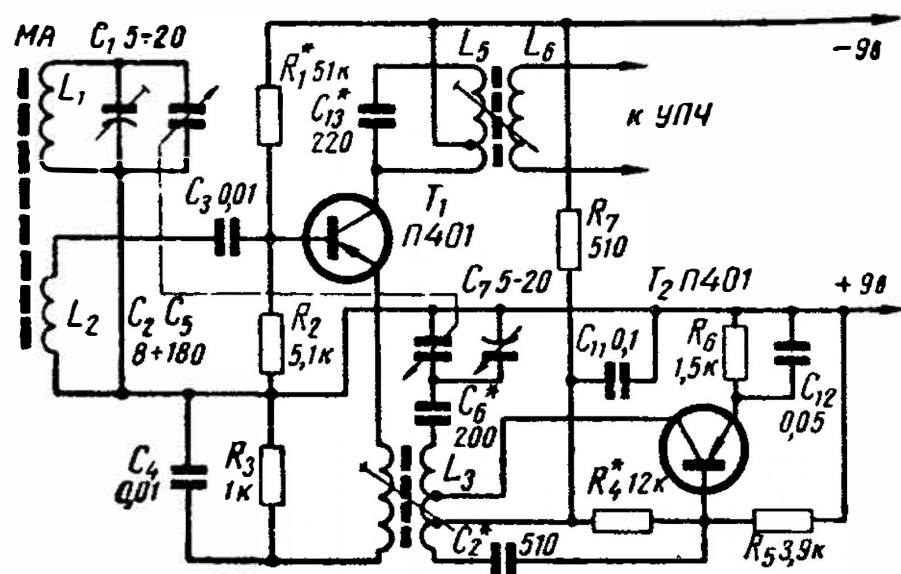


Рис. 51. Схема двухтранзисторного преобразователя высокой частоты

процессе настройки придется подобрать величину обратной связи гетеродина или напряжение, подводимое к смесителю. Делают это подбором числа витков катушки L_4 и отвода от катушки L_3 . Очень удобно подбирать связь, когда конструктивное выполнение катушки L_4 позволяет осуществлять ее перемещение по катушке L_3 . В этом случае часто удается избежать нежелательной перемотки катушки.

Большие удобства в работе создают и лишние отводы у катушек L_3 , L_4 , предназначенные как для подгонки общей индуктивности, так и для подбора напряжения гетеродина, подводимого к смесителю.

Заключительным этапом настройки является градуировка шкалы приемника, которую выполняют либо с помощью сигнал-генератора, либо по станциям. Заканчивая рассмотрение вопроса о налаживании преобразователя частоты, необходимо заметить, что последова-

тельность и способы налаживания одно- и двухтранзисторных схем одинаковы. Практическая схема двухтранзисторного преобразователя частот с отдельными смесителем и гетеродином приведена на рис. 51. Подобные схемы весьма устойчивы в работе и в отличие от однотранзисторных позволяют получить большее усиление смесительного каскада, которое может быть равно 15—20.

7. Способы измерения чувствительности и избирательности приемника по соседнему каналу

Если радиослушатель располагает сигнал-генератором с калиброванным выходом, то можно измерить чувствительность приемника и его избирательность по соседнему каналу. Помимо сигнал-генератора, для измерения

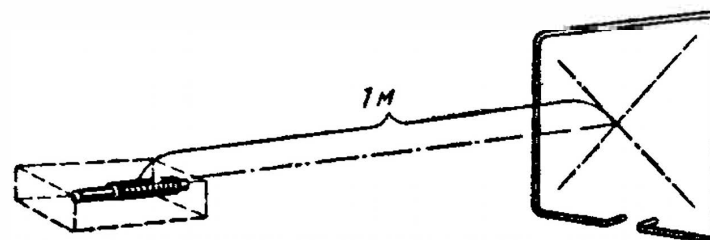


Рис. 52. Расположение рамки и магнитной антенны при измерении чувствительности приемника

этих показателей приемника необходимо еще иметь и специальную измерительную рамку; изготовленную из медного, латунного прутка или трубки диаметром 2—6 мм. Рамка должна представлять собой квадрат размером 380 × 380 мм. Подключают ее к выходу сигнал-генератора через сопротивление 82 Ом.

Порядок измерения чувствительности сводится к следующему. Испытуемый приемник располагают так, чтобы ось его магнитной антенны была перпендикулярна плоскости измерительной рамки, а расстояние между серединой катушки контурной катушки и плоскостью той же рамки составляло 1 м (рис. 52). После этого генератор и приемник настраивают на нужную частоту, осуществляя контроль по индикатору выхода. Затем при выключенной модуляции сигнал-генератора регулятор громкости устанавливают в такое положение, чтобы на-

пряжение шумов на выходе было в десять раз меньше величины напряжения полезного сигнала, при котором выходная мощность приемника была бы равной 5 мвт. Включив модуляцию 400 гц и установив глубину 30%, подбирают величину высокочастотного напряжения в измерительной рамке с тем расчетом, чтобы выходная мощность приемника стала равной указанной выше величине (5 мвт). Чувствительность приемника в этом случае будет равняться отношению высокочастотного напряжения на выходе генератора к расстоянию между рамкой и антенной и выражаться в мв/м или мкв/м.

При измерении избирательности приемника по соседнему каналу сначала определяют его чувствительность рассмотренным выше способом. Затем, не меняя установки регулятора громкости, сигнал-генератор расстраивают на 10 кГц в ту и другую сторону от точной настройки приемника и каждый раз подбирают величину выходного напряжения сигнал-генератора с тем расчетом, чтобы выходная мощность была равна 5 мвт, и определяют чувствительность приемника при расстройке.

Отношение значений чувствительности при расстройке к резонансной и будет выражать избирательность приемника по соседнему каналу и обычно выражается в дб.

После этого можно определить избирательность по зеркальному каналу и другие интересующие любителя параметры приемника.

* * *

В заключение книги необходимо заметить, что было бы ошибочным считать ее полным рецептурным справочником по налаживанию транзисторных приемников.

Приведенный в ней материал охватывает лишь наиболее распространенные практические случаи, с которыми может столкнуться радиолюбитель, налаживая собранный им приемник.

Заканчивая книгу, остается лишь пожелать читателям больших успехов в их радиолюбительской деятельности.

ЛИТЕРАТУРА

- Н. И. Чистяков. Полупроводники и их применение. Трудрезервиздат, 1957.
- И. П. Жеребцов. Раднотехника, гл. II. Связьиздат, 1958.
- В. К. Лабутин. Простейшие конструкции на полупроводниковых триодах. Госэнергоиздат.
- В. Г. Лугвин. Стабилизация режима полупроводниковых триодов. Журнал «Радио» № 6, 1959.
- В. Г. Лугвин. Радиолюбительские конструкции транзисторных приемников. Госэнергоиздат, 1960.
- В. В. Кобзев и В. Н. Шишмаков. Каскады радиоприемников на транзисторах. Госэнергоиздат, 1960.
- Р. Варламов. О выборе емкости конденсатора. Журнал «Радио» № 12, 1960.
- Я. Левин. Новая схема тракта ПЧ. Журнал «Радио» № 3, 1960.
- К. М. Брежнева и другие авторы. Полупроводниковые триоды и диоды. Связьиздат, 1961.
- М. М. Румянцев. Любительские карманные приемники. Изд. ДОСААФ, 1961 и 1964.
- С. М. Герасимов и другие авторы. Расчет полупроводниковых усилителей и генераторов. Изд. техлитературы, УССР, 1961.
- Е. Гумеля. Налаживание транзисторных приемников в любительских условиях. Журнал «Радио» № 9, 1961.
- Э. Борноволокнов и другие авторы. Путь в радиотехнику и электронику, серия статей. Журнал «Радио», 1962—1963.
- И. Николаевский и другие авторы. Сопротивление цепи базы. Журнал «Радио» № 7, 1963.
- И. Василькевич. Усилители НЧ на транзисторах. Журнал «Радио» № 10, 11, 1963.
- И. Василькевич. Амплитудные детекторы на полупроводниковых приборах, Резонансные усилители. Журнал «Радио» № 1, 2, 1964.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Глава первая. Подготовка к налаживанию транзисторного приемника	5
1. Принцип работы транзистора	5
2. Способы измерения основных параметров транзистора	9
3. Схемы включения транзистора	12
4. Схемы питания и стабилизация режима работы транзистора	14
5. Некоторые замечания по проверке деталей приемника	22
6. Различие и общность схем транзисторных приемников	25
7. Последовательность налаживания транзисторных приемников	27
Глава вторая. Усилители низкой частоты и их налаживание	29
1. Схема простого нестабилизированного усилителя с однотактным выходом	29
2. Последовательность и способы налаживания усилителя с однотактным выходным каскадом	32
3. Рекомендации по использованию транзисторов	40
4. Схема простого стабилизированного усилителя с однотактным выходом	42
5. Замечания по выбору элементов схемы стабилизированного усилителя	44
6. Практические разновидности схем простых усилителей низкой частоты	46
7. Схема усилителя с двухтактным выходным каскадом на согласующих трансформаторах	50
8. Последовательность и способы налаживания усилителя с двухтактным выходным каскадом	53
9. Замечания к схеме усилителя на согласующих трансформаторах	57
10. Практические разновидности схем усилителей с двухтактным выходным каскадом	59

Глава третья. Детекторы, усилители высокой частоты, входные цепи и их налаживание	64
1. Схема детектора на полупроводниковом диоде	64
2. Схема детектора на транзисторе	66
3. Схема апернодического усилителя высокой частоты на сопротивлениях	68
4. Последовательность и способы налаживания высоко-частотного усилителя на сопротивлениях	70
5. Схема апернодического усилителя высокой частоты с индуктивной нагрузкой	72
6. Последовательность и способы налаживания апернодического усилителя высокой частоты с индуктивной нагрузкой	74
7. Практические разновидности схем усилителей высокой частоты	77
Глава четвертая. Усилители промежуточной частоты, цепи автоматической регулировки усиления и их налаживание	85
1. Схема простого резонансного усилителя промежуточной частоты на одиночных контурах	85
2. Последовательность и способы налаживания простого усилителя промежуточной частоты с одиночными контурами	87
3. Практические разновидности схем усилителей промежуточной частоты	91
4. Замечания по налаживанию системы автоматической регулировки усиления	95
Глава пятая. Преобразователи высокой частоты и их налаживание	96
1. Схема однотранзисторного преобразователя высокой частоты	96
2. Общая проверка преобразователя частоты и устранение самовозбуждения	98
3. Проверка и способы устранения неполадок гетеродина	99
4. Настройка контура гетеродина с помощью сигнал-генератора	101
5. Сопряжение входных и гетеродинных контуров с помощью сигнал-генератора	103
6. Настройка входных и гетеродинных контуров без измерительных приборов	105
7. Способы измерения чувствительности и избирательности приемника по соседнему каналу	107
Литература	109

Михаил Михайлович Румянцев

**ПРАКТИКА НАЛАЖИВАНИЯ ЛЮБИТЕЛЬСКИХ
КАРМАННЫХ ПРИЕМНИКОВ**

Спец. редактор *В. П. Морозов*

Редактор *Ф. Е. Годинер*

Обложка художника *Е. К. Аргутинского*

Худож. редактор *Г. Л. Ушаков*

Технич. редактор *А. П. Боданова*

Корректор *К. А. Мешкова*

Г-14692 Подписано в печать 15/Х 1964 г. Изд. № 1/2955.

Бумага 84×108^{1/2}. Физ. печ. л. 3,5. Усл. печ. л. 5,740. Уч.-изд. л. 5,245

Тираж 142 000 экз. Цена 25 коп. Т.П. 1964 г. № 23 Зак. 333

Издательство ДОСААФ, Москва, Б-66, Ново-Рязанская, 26

1-я типография

Военного издательства Министерства обороны СССР

Москва, К-6, проезд Скворцова-Степанова, дом 3