

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|-----|
| СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ | 7 |
| ОТ АВТОРА | 8 |
| ПРЕДИСЛОВИЕ | 9 |
| 1 ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ УСИЛИТЕЛИ | 13 |
| 1.1. Особенности предварительных усилителей для электрогитары | 14 |
| 1.2. Предварительные усилители на биполярных транзисторах | 16 |
| 1.3. Предварительные усилители на полевых транзисторах .. | 29 |
| 1.4. Предварительные усилители на операционных усилителях | 36 |
| 2 КОРРЕКТИРУЮЩИЕ ЦЕПИ. ФИЛЬТРЫ | 45 |
| 2.1. Пассивные корректирующие цепи | 46 |
| 2.2. Активные фильтры | 59 |
| 2.3. Корректирующие цепи с гираторами | 70 |
| 3 РЕГУЛЯТОРЫ ТЕМБРА. КОРРЕКТИРУЮЩИЕ УСИЛИТЕЛИ | 77 |
| 3.1. Пассивные регуляторы тембра | 78 |
| 3.2. Активные регуляторы тембра | 88 |
| 3.3. Корректирующие усилители | 93 |
| 4 РЕГУЛЯТОРЫ ГРОМКОСТИ И «VOLUME»-ПЕДАЛИ | 108 |
| 4.1. Пассивные регуляторы громкости | 110 |
| 4.2. Тонкомпенсированные регуляторы громкости | 112 |

| | | |
|------|--|-----|
| 4.3. | «Volume»-педали на полупроводниковых элементах | 124 |
|------|--|-----|

| | | |
|----------|---|------------|
| 5 | ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИГНАЛА | 136 |
| 5.1. | Эквалайзеры | 137 |
| 5.2. | «Wah-wah»-приставки | 155 |
| 5.3. | Приставки «autowah» | 169 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 6 | ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ СПЕКТРА СИГНАЛА | 173 |
| 6.1. | «Fuzz»-приставки | 176 |
| 6.2. | Приставки «distortion» и «overdrive» | 189 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 7 | ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ОГИБАЮЩЕЙ СИГНАЛА | 207 |
| 7.1. | Приставки «tremolo» | 208 |
| 7.2. | Приставки «booster» | 221 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 8 | ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ДИНАМИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИГНАЛА | 241 |
| 8.1. | Приставки «compressor» и «sustainer» | 243 |
| 8.2. | Приставки «limiter» | 266 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 9 | ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЧАСТОТЫ СИГНАЛА | 277 |
| 9.1. | Эффекты «octaver», «pitch shifter», «harmonizer» и «whammy» | 277 |
| 9.2. | Умножители частоты | 284 |
| 9.3. | Делители частоты | 292 |
| 9.4. | Смещение частоты сигнала | 300 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 10 | ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ФАЗЫ СИГНАЛА | 305 |
| 10.1. | Эффекты «phaser», «rotary-sound», «Leslie» и «flanger» | 305 |
| 10.2. | Транзисторные преобразователи фазы | 312 |
| 10.3. | Преобразователи фазы на операционных усилителях | 324 |

| | | |
|------------------------------|--|------------|
| 11 | ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ВРЕМЕННОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИГНАЛА..... | 333 |
| | 11.1. Эффекты «reverberator», «delay», «chorus», «hall» и «echo»..... | 333 |
| | 11.2. Пружинные ревербераторы..... | 342 |
| | 11.3. Аналоговые преобразователи..... | 350 |
| | 11.4. Цифровые преобразователи..... | 355 |
| <hr/> ЗАКЛЮЧЕНИЕ..... | | 367 |

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

| | |
|-----|-------------------------------------|
| АРУ | автоматическая регулировка усиления |
| АС | акустическая система |
| АЦП | аналого-цифровой преобразователь |
| АЧХ | амплитудно-частотная характеристика |
| БП | блок питания |
| ВЧ | высокая частота |
| ЗС | звукосниматель |
| НЧ | низкая частота |
| ООС | отрицательная обратная связь |
| ОС | обратная связь |
| ОУ | операционный усилитель |
| ПЗС | прибор с зарядовой связью |
| ПОС | положительная обратная связь |
| ПУ | предварительный усилитель |
| СЧ | средняя частота |
| УМ | усилитель мощности |
| УПТ | усилитель постоянного тока |
| УНЧ | усилитель низкой частоты |
| ФВЧ | фильтр высоких частот |
| ФНЧ | фильтр низких частот |
| ЦАП | цифро-аналоговый преобразователь |
| ЭДС | электродвижущая сила |
| ЭМИ | электромузыкальный инструмент |

ОТ АВТОРА

Уважаемые читатели!

Прежде чем вы начнете читать данную книгу, считаю необходимым ознакомить вас со следующей информацией.

Любые оценки, мнения, рекомендации, высказанные в этой книге, являются личными оценками, мнениями автора и не могут рассматриваться как реклама или антиреклама.

Автор старался предоставлять точную и проверенную информацию, однако не может гарантировать полную достоверность изложенных в книге материалов, схем, рисунков и таблиц. Предлагаемые описания физических процессов и принципов функционирования, определения и разъяснения не претендуют на академическую точность, поскольку данная книга представляет собой не учебник, а популярное издание, предназначенное для широкого круга читателей, часто не обладающих достаточно глубокими знаниями рассматриваемой тематики.

Ссылки, а также иные сведения даются исключительно в информационных целях.

Вся информация, изложенная в данной книге, приводится «как есть» (as is) с возможными ошибками, без гарантий любого вида, прямо выраженных или подразумеваемых. Поэтому ни автор, ни издательство не несут ответственность за возможные последствия, вызванные использованием приведенных в данной книге материалов, рисунков, схем и иной информации, в том числе за любые прямые или косвенные убытки, возникшие в результате практического или теоретического применения сведений, изложенных в этой книге.

Использование рисунков, таблиц и схем, приводимых в этой книге, а также иной изложенной в ней информации осуществляется читателем на собственный страх и риск с возложением на него ответственности за все возможные последствия, в том числе за возникшие у него или у третьих лиц прямые или косвенные убытки.

*С уважением и наилучшими пожеланиями,
М. В. Адаменко*

ПРЕДИСЛОВИЕ

Наблюдая за выступлениями профессиональных и любительских вокально-инструментальных ансамблей, часто называемых просто группами, внимательные зрители, без сомнения, не раз обращали внимание на одну примечательную особенность: среди современных цифровых синтезаторов и линий эффектов на сцене практически всегда можно увидеть небольшие педали или коробочки довольно невзрачного вида. К этим устройствам, возраст которых, судя по их внешнему виду, иногда явно превышает возраст самих гитаристов, музыканты относятся с величайшим почтением, переходящим в благоговение. Более того, при исполнении некоторых гитарных партий исполнители безоговорочно отдают предпочтение именно таким приставкам, а не современным цифровым устройствам, предназначенным для обработки сигнала электрогитары.

Для посвященных зрителей в рассмотренной ситуации нет ничего загадочного. Дело в том, что таинственные педали и коробочки являются приставками к электрогитаре, которые выпускались во второй половине прошлого века. Подавляющее большинство музыкантов вполне обоснованно считают, что даже с помощью самых совершенных цифровых синтезаторов невозможно добиться того качества обработки сигнала, которого можно достичь с помощью простых аналоговых устройств.

Реагируя на повышенный спрос профессионалов и музыкантов-любителей, многие фирмы, выпускающие аппаратуру для преобразования сигнала электрогитары, в последние годы вновь начали выпускать простые аналоговые приставки. В то же время цены на выпущенные в прошлом веке педали и устройства растут с каждым годом, как и цены, например, на раритетные автомобили и другую ретро-технику.

Со времени появления первой электрогитары многие весьма популярные гитаристы начали интересоваться радиотехникой в связи с развитием электронных приставок, реализующих различные алгоритмы преобразования сигнала инструмента. В результате подавляющее большинство исполнителей в своих композициях практически не используют «чистый» гитарный звук. Для его обработки и формирования оригинальных звуковых эффектов уже с середины прошлого века стали применяться всевозможные преобразователи.

Стремление гитаристов отличаться от других оригинальным звучанием своего инструмента привело к появлению сотен, если не тысяч различных вариантов схемных решений таких устройств. При этом многие из них, например, эффекты «fuzz», «wah-wah» или «tremolo», без каких-либо принципиальных изменений применяются уже не первое десятилетие. Другие же претерпели значительные изменения и теперь представляют собой весьма специфичные устройства, например, всевозможные гитарные синтезаторы, цифровые процессоры и т. п.

Необходимо признать, что, несмотря на огромное количество моделей приставок для электрогитар, а также применяемых при их создании схемотехнических решений, количество реализуемых с их помощью звуковых эффектов, не считая различных комбинаций, вряд ли превысит три десятка. При этом основополагающих принципов, на которых основано функционирование таких устройств, еще меньше.

К сожалению, ограниченный объем предлагаемой книги не позволяет подробно рассмотреть физические процессы, протекающие в узлах, каскадах и отдельных элементах приставок к электрогитаре. Поэтому коротко отметим хотя бы некоторые основные принципы, используемые при их разработке.

В процессе функционирования подавляющего большинства приставок происходит преобразование амплитудной, частотной, фазовой и/или временной характеристик сигнала электрогитары по определенным алгоритмам.

Первые приставки (например, реализующие «fuzz»-эффект) представляли собой обычные усилители-ограничители, в которых использовались нелинейные искажения сигнала. В наше время некоторые весьма популярные эффекты (например, «distortion», «overdrive» и «tubeoverdrive») также основаны на применении различных вариантов нелинейных искажений.

Другую группу приставок составляют устройства, в основе работы которых лежит принцип фильтрации сигнала. К ним относятся, например, графические и параметрические эквалайзеры, а также хорошо всем известный эффект «wah-wah», часто называемый просто «квакушкой».

Также весьма популярны устройства, реализующие эффекты пространственного звучания, эхо и отражение, такие, как, например, «reverberator», «delay» и «attack delay».

Конечно же, нельзя не упомянуть о приставках, с помощью которых меняется уровень сигнала. Это, в первую очередь, эффект

«tremolo», а также регулятор громкости «volume pedal» и шумоподавитель «noise gate».

Отдельное место занимают педали, позволяющие изменять высоту тона и/или частоту сигнала, например, эффекты «vibrato», приставки «whammy» и «harmonizer». Особого внимания заслуживают устройства «octaver» и «pitch shifter», работа которых основана на умножении или делении частоты сигнала.

Помимо упомянутых приставок гитаристы в своих композициях часто применяют устройства типа «compressor» и «sustainer», позволяющие продолжить длительность звучания.

В музыкальной практике широко используются и другие эффекты, например, «flanger», «phaser», «rotary» или «leslie», а также «chorus».

Классификацию всего многообразия производимых в наше время приставок и блоков эффектов для электрогитар также можно проводить с использованием нескольких основополагающих критериев, одним из которых как раз и является лежащий в основе работы того или иного устройства физический процесс. Другим критерием классификации может быть используемая технология, при этом приставки условно подразделяются на аналоговые или цифровые, на транзисторные, ламповые, гибридные и т. п. В зависимости от режима работы эффекты делятся на те, которые включаются и работают в предварительно установленном режиме, а также на те, в которых режим работы может изменяться в реальном времени.

Одним из критериев классификации является и количество эффектов, реализуемых в той или иной приставке. При этом различают простые приставки или педали с одним эффектом, а также педали, позволяющие реализовать несколько звуковых эффектов. Педали, выпущенные одной фирмой, часто приспособлены для последовательного подключения с помощью специальных устройств (так называемые «pedalboard»). В отдельные группы можно объединить классические мультиэффекты 90-х лет прошлого столетия, мультипроцессоры, процессоры сигналов и моделиеры.

В зависимости от конструктивных особенностей приставки к электрогитарах делятся на напольные (педали, размещаемые на полу перед исполнителем), настольные, встраиваемые (например, в комбоусилитель), а также так называемые стоечные («rack») аппараты, устанавливаемые в специальных стойках.

Кропотливая работа по созданию новых приставок и блоков эффектов среди любителей и профессионалов не прекращается ни

на минуту. В наше время огромное количество являющихся поклонниками электрогитары радиолюбителей стремится поделиться результатами своих изысканий в области создания всевозможных педалей, коробок и коробочек. Поэтому, например, в сети Интернет существует бесчисленное количество страничек, посвященных исключительно звуковым эффектам, реализуемым с помощью различных электронных устройств. Там же можно найти описания выпускаемой ведущими мировыми фирмами аппаратуры, используемой популярными исполнителями. Не меньший интерес представляют и предложения, касающиеся различных усовершенствований промышленных устройств, а также оригинальных любительских конструкций.

К сожалению, пока далеко не все начинающие российские радиолюбители и поклонники электронной музыки имеют доступ к необходимым источникам информации в сети Интернет, а в специализированной литературе тематике приставок к электрогитаре, по мнению автора, уделяется незаслуженно мало внимания. Стремление в определенной степени хотя бы частично восполнить этот пробел и явилось главной причиной появления этой книги.

В предлагаемом издании основное внимание уделено простым конструкциям, начиная от преобразователей спектра и заканчивая схемами задержки, повторение которых под силу даже начинающим радиолюбителям. Для большинства приставок помимо принципиальных схем и кратких описаний принципов работы приводятся как рисунок печатной платы, так и рисунок расположения элементов на ней.

При повторении рассмотренных в данной книге приставок к электрогитаре особое внимание следует обратить на то, что наиболее достоверный и оригинальный эффект так называемого «ретро»-звучания достигается в случае применения элементов, которые выпускались во второй половине XX века. Данное замечание в первую очередь касается транзисторов и микросхем. В то же время приведенные далее конструкции рекомендуется рассматривать как основу для последующих самостоятельных экспериментов, что не исключает использование современной элементной базы.

1

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ УСИЛИТЕЛИ

Оконечные усилители звуковоспроизводящих комплексов обычно имеют чувствительность от сотен милливольт до единиц вольт. На выходах многих источников низкочастотного сигнала, работающих совместно с мощными УНЧ, формируются сигналы именно с указанными уровнями сигнала. К таким источникам относятся, например, проигрыватели компакт-дисков, тюнеры, магнитофоны и другая аппаратура.

В то же время существует сравнительно многочисленная группа устройств, используемых в качестве источников звука, выходные сигналы которых имеют значительно меньшие уровни. Среди таких источников в первую очередь следует отметить микрофоны и звукосниматели. Сигналы, формируемые на выходе таких устройств, перед подачей на вход мощного оконечного УНЧ, должны быть предварительно усилены до необходимого уровня. Для выполнения этой задачи и предназначены предварительные усилители.

В специализированной литературе и в сети Интернет при желании можно найти великое множество описаний предварительных усилителей разного назначения. При этом параметры таких усилителей, а также варианты схемотехнических решений весьма разнообразны. Учитывая тот факт, что предлагаемая книга посвящена рассмотрению приставок к электрогитарам, которые начинающий радиолобитель может изготовить в домашних условиях, в разделах данной главы будут рассмотрены простые предварительные усилители, обеспечивающие усиление сигналов, формируемых на выходе звукоснимателей электрогитары.

1.1. Особенности предварительных усилителей для электрогитары

Первые предварительные усилители, предназначенные для работы с электрогитарами, появились практически одновременно с самими электрогитарами, то есть еще в 30-е годы прошлого столетия. Однако в то время ламповый усилитель для электрогитары воспринимался как единое звукоусилительное устройство, в котором каскады, предназначенные для предварительного усиления сигналов звукоинструментов, особо не выделялись в специальный функциональный блок.

С появлением и дальнейшим развитием полупроводниковых приборов началась интенсивная работа по созданию усилителей, предназначенных непосредственно для электрогитар. Уже в конце 50-х лет в специализированной литературе появились описания предварительных усилителей, выполненных на одном, двух или нескольких транзисторах. В начале 60-х лет широкое распространение получили транзисторные предварительные усилители, размещаемые непосредственно в корпусе электрогитары. Часто в состав таких усилителей включались и цепи коррекции, нередко называемые темброблоками. Дальнейшее развитие полупроводниковых технологий привело к появлению предварительных усилителей на микросхемах.

В настоящее время элементная база, используемая при разработке и создании предварительных усилителей для электрогитар, не ограничивается только полупроводниковыми элементами, например, транзисторами и микросхемами. В последнее время не только радиолюбители, но и всемирно известные и весьма авторитетные фирмы в качестве активных элементов предварительных усилителей вновь начали использовать электровакуумные приборы, то есть хорошо знакомые старшему поколению радиолампы.

Предварительные усилители для электрогитар имеют разное конструктивное оформление. Например, первые усилители, которые автор и его друзья увлеченно собирали в середине 60-х лет прошлого столетия, обычно встраивались в корпус гитары вместе с цепями коррекции. При использовании комбинированных усилительных устройств, часто называемых комбоусилителями или комбоаппаратами, предварительный усилитель вместе с оконечным усилителем и цепями коррекции монтируется в корпусе такого устройства.

В звуковоспроизводящей аппаратуре, предназначенной для работы с электромузыкальными инструментами, предварительные усилители могут быть изготовлены в отдельном корпусе, например, в стоечном, напольном или настольном исполнении, или же размещаться в одном корпусе с оконечным усилителем.

Для начинающих музыкантов в качестве вариантов размещения собранного самостоятельно предварительного усилителя можно рекомендовать его установку в корпус гитары или в специальный корпус, который можно разместить на столе или на полу.

Как уже отмечалось, довольно сложно найти конструкцию предварительного усилителя для электрогитары, который выполнял бы только функции усиления сигнала. Например, уже первые транзисторные усилители, разрабатывавшиеся в середине прошлого века, имели в своем составе цепи коррекции. Впоследствии тенденция комплексного использования предварительных усилителей совместно с другими приставками и блоками эффектов привела к тому, что в подавляющем большинстве разрабатываемых и выпускаемых в наше время различными фирмами приставок и блоков эффектов каскады предварительного усиления сигналов звукоснимателей являются неотъемлемой частью таких устройств. При этом сигнал сначала усиливается до уровня, необходимого для корректной работы каскадов, обеспечивающих его обработку и преобразование, как, например, в различных педалях. Нередко уже преобразованный сигнал дополнительно усиливается и лишь после этого подается на выход приставки.

В большинстве приставок и блоков эффектов усилительные каскады обеспечивают усиление сигнала и в те периоды времени, когда сам эффект отключен, то есть в этих случаях та или иная приставка выполняет функции предварительного усилителя. Аналогичная ситуация складывается при работе со звуковыми процессорами и блоками мультиэффектов, поскольку при отключении всех остальных функций эти устройства можно использовать в качестве предварительных усилителей. Однако для начинающих музыкантов это слишком дорогое удовольствие.

Основу первых полупроводниковых предварительных усилителей, предназначенных для работы с электрогитарами, составляли усилительные каскады, выполненные на биполярных транзисторах $p-n-p$ или $n-p-n$ структуры. Впоследствии широкое распространение получили каскады предварительного усиления, выполненные на полевых транзисторах, а также на операционных усилителях. К сожалению,

ограниченный объем данной книги не позволяет рассмотреть даже малую часть заслуживающих внимания конструкций таких усилителей, разработанных на основе самых разнообразных схемотехнических решений. Поэтому в следующих разделах основное внимание уделяется так называемым классическим схемам предварительных усилителей, выполненных на транзисторах и микросхемах.

1.2. Предварительные усилители на биполярных транзисторах

Принципиальная схема простейшего усилительного каскада, выполненного на $n-p-n$ транзисторе, включенном по схеме с общим эмиттером, приведена на рис. 1.1.

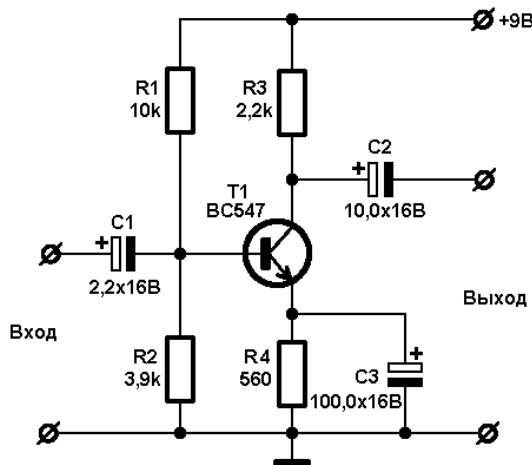


Рис. 1.1. Принципиальная схема простейшего предварительного усилителя на $n-p-n$ транзисторе

В рассматриваемой схеме входной сигнал через разделительный конденсатор $C1$ поступает на базу транзистора $T1$, включенного по классической схеме с общим эмиттером.

Конденсатор $C1$ обеспечивает развязку входной цепи усилителя и выходной цепи источника сигнала (звукосниматели электрогитары) по постоянному току. При отсутствии этого конденсатора сопротивление резистора $R2$ совместно с малым сопротивлением перехода база-эмиттер транзистора $T1$ шунтирует выход источника сигнала.

Помимо этого выходное сопротивление источника сигнала оказало бы неприемлемое влияние на рабочую точку транзистора Т1, изменив режим его работы. Увеличивая или уменьшая емкость конденсатора С1 можно заметно изменять тембровую окраску сигнала, влияя на уровень высокочастотных составляющих в выходном сигнале.

Аналогичные функции выполняет разделительный конденсатор С2, обеспечивая развязку по постоянному току выходной цепи предварительного усилителя и входных цепей подключаемых к его выходу устройств. Этот конденсатор совместно с входным сопротивлением следующего каскада или устройства образует делитель напряжения, поэтому его емкость следует выбирать как можно меньшей.

При выборе величин емкостей разделительных конденсаторов не следует забывать о том, что с уменьшением емкости снижается их пропускная способность относительно составляющих низших частот. Обычно емкость конденсатора С1 выбирается в пределах до нескольких микрофард, а емкость конденсатора С2 – на порядок выше.

При отсутствии входного сигнала на базе транзистора Т1, включенного по схеме с общим эмиттером, напряжение смещения, формируемое делителем R1, R2 из напряжения питания, обеспечивает протекание тока между коллектором и эмиттером транзистора. Величина тока, который обычно называют коллекторным током, зависит от соотношения величин сопротивлений резисторов R1 и R2, поскольку изменение этого соотношения приводит к смещению рабочей точки на характеристике транзистора Т1 и, соответственно, к изменению его режима работы.

При поступлении сигнала на базу транзистора Т1 происходит изменение тока базы, что вызывает соответствующее изменение величины коллекторного тока. В результате по аналогичному закону происходит изменение разности потенциалов на резисторе R3, выполняющем функцию нагрузочного резистора в цепи коллектора транзистора Т1. Необходимо отметить, что при возрастании напряжения на базе транзистора Т1 происходит падение напряжения на его коллекторе, и наоборот, при падении напряжения на базе напряжение на коллекторе увеличивается. Таким образом, выходное напряжение однокаскадного транзисторного усилителя будет находиться в противофазе входному напряжению.

Для того чтобы усилительный каскад работал в нормальном режиме, то есть без переусиления, необходимо выбрать на характе-

ристике транзистора соответствующую рабочую точку, положение которой определяется величиной коллекторного тока при определенном коллекторном напряжении. Обычно в схемах усилительных каскадов с общим эмиттером напряжение на коллекторе транзистора выбирается равным половине напряжения источника питания, поскольку при таком соотношении обеспечивается достижение наибольшей амплитуды неискаженного выходного сигнала.

Величина напряжения, формируемого на коллекторе транзистора Т1 при одном и том же коллекторном токе, зависит от величины сопротивления резистора R3, которая в различных схемах может находиться в пределах от 1 до 100 кОм. Малое сопротивление коллекторного резистора выбирается в том случае, когда транзистор Т1 должен работать в режиме с малым коллекторным током (в каскадах, которые должны обеспечивать низкий уровень собственных шумов). В результате амплитуда выходного тока, и соответственно, напряжения, будет малой при малом уровне шумов. Такие каскады обычно используются в качестве входных. При выборе резистора R3 с большим сопротивлением коэффициент усиления каскада увеличивается.

Величина сопротивления резистора R3 в пределах нескольких килоом выбирается для усилителей напряжения, от которых требуется большой выходной ток при малом выходном сопротивлении. Обычно такой режим работы характерен для выходного каскада предварительного усилителя (перед входным каскадом усилителя мощности). Аналогичные требования предъявляются и к каскаду, к выходу которого подключается темброблок. Обычно коллекторный ток в таких каскадах составляет несколько миллиампер, а во входных каскадах с малым уровнем шумов не превышает 0,5 мА.

Одной из задач, выполняемых резистором R4, является стабилизация рабочей точки транзистора Т1. Как уже отмечалось, при отсутствии входного сигнала ток базы, определяемый соотношением сопротивлений резисторов R1 и R2, инициирует протекание коллекторного тока, который часто называется током покоя.

Под влиянием каких-либо внешних воздействий, например, при нагревании корпуса транзистора ток покоя может измениться, несмотря на то, что напряжение на базе остается неизменным благодаря постоянным параметрам элементов делителя R1, R2. Увеличение коллекторного тока приводит к увеличению падения напряжения на резисторе R3, поэтому напряжение на коллекторе транзистора Т1 уменьшится. В результате уменьшится и напряжение между кол-

лектором и эмиттером. Для большинства применяемых в звукоусилительной аппаратуре маломощных биполярных транзисторов падение напряжения коллектор-эмиттер на несколько десятых долей вольта приводит к переходу в режим насыщения, когда транзистор перестает реагировать на изменения входного напряжения.

Избежать подобных неприятностей помогает резистор R4. При увеличении коллекторного тока падение напряжения на нем также увеличится, что при постоянном напряжении на базе транзистора T1 приведет к уменьшению разности потенциалов между базой и эмиттером. Как следствие, изменится положение рабочей точки транзистора, поскольку уменьшится напряжение, обеспечивающее отпирание транзистора. Транзистор прикроется, а ток базы уменьшится, что приведет к уменьшению коллекторного тока.

Как только ток коллектора уменьшится, температура транзистора понизится, а ток коллектора будет продолжать снижаться. При этом понижается и падение напряжения на резисторе R4 до первоначального значения. Таким образом происходит стабилизация рабочей точки транзистора T1 с помощью включенного в цепь эмиттера резистора R4. Чем больше величина сопротивления резистора R4, тем стабильнее работает каскад при изменении температуры. Однако с увеличением этого сопротивления будет уменьшаться рабочее напряжение между коллектором и эмиттером транзистора T1.

При поступлении на вход каскада переменного сигнала (в процессе работы в режиме усиления) через резистор в цепи эмиттера помимо постоянной составляющей проходит и переменная составляющая коллекторного тока. В результате на резисторе R4 будет формироваться переменное напряжение низкой частоты, которое также будет приложено к базе транзистора T1, то есть через этот резистор замыкается петля отрицательной обратной связи по току. Поскольку фаза этого напряжения противоположна фазе входного напряжения усилителя, результирующее напряжение на базе транзистора T1 окажется уменьшенным, что приведет к понижению коэффициента усиления каскада. В то же время эта ООС обеспечивает снижение вносимых каскадом искажений, хотя и за счет снижения коэффициента усиления сигнала. Помимо этого указанная обратная связь увеличивает входное сопротивление приставки.

Для того чтобы через резистор R4 проходила лишь постоянная составляющая коллекторного тока, параллельно резистору в цепи эмиттера транзистора T1 включен электролитический конденсатор С3 сравнительно большой емкости. При этом его отрицательный

вывод соединен с шиной корпуса, а положительный вывод подключен к эмиттеру транзистора, на котором присутствует низкое положительное напряжение. Через этот конденсатор постоянный ток не проходит, поэтому на рабочую точку транзистора конденсатор СЗ не оказывает никакого влияния. Сопротивление этого конденсатора переменному току невелико, поэтому переменная составляющая коллекторного тока свободно проходит через конденсатор СЗ, не создавая на нем заметного напряжения низкой частоты.

Необходимо отметить, что для достижения максимальной амплитуды выходного сигнала резистор R4 из схемы усилительного каскада часто исключается, а эмиттер транзистора Т1 подключается непосредственно к шине корпуса. В этом случае, естественно, из схемы исключается и конденсатор СЗ.

Особого внимания заслуживает рассмотрение вопроса об изменении величины напряжения питания усилительного каскада вообще и той или иной приставки в частности. Сразу хотелось бы предупредить, что использование источников питания (батареек или сетевых адаптеров), выходное напряжение которых больше установленного для конкретного устройства напряжения питания категорически не допускается.

В то же время в радиолюбительской практике довольно часто возникает ситуация, когда под рукой нет необходимого источника. Поэтому при работе с конструкциями в домашних условиях, если напряжение в цепь питания приставки предполагается подавать повышенное напряжение (например, при использовании блока питания от другого устройства), предварительно следует уточнить по справочнику, соответствует ли величина напряжения коллектор-эмиттер транзистора измененным условиям. Также следует проверить и рабочие напряжения электролитических конденсаторов. При необходимости эти элементы следует заменить.

Помимо этого любое изменение величины питающего напряжения транзисторного каскада приводит к изменению рабочей точки транзистора. Поэтому при изменении напряжения питания следует изменять и величину хотя бы одного из сопротивлений делителя R1, R2. Для резистора R1 действует правило, по которому его сопротивление при увеличении напряжения также следует увеличить, а при уменьшении – соответственно уменьшить. Для резистора R2 действует иное правило, по которому его сопротивление при увеличении питающего напряжения следует уменьшить, а при уменьшении – увеличить.

Довольно часто при проектировании транзисторных усилительных каскадов применяется схемотехническое решение, в котором эмиттерная цепь транзистора состоит не одного, а из двух включенных последовательно резисторов.

Принципиальная схема предварительного усилителя, выполненного на *n-p-n* транзисторе, с разделенным сопротивлением в цепи эмиттера и питающим напряжением 9 В приведена на рис. 1.2.

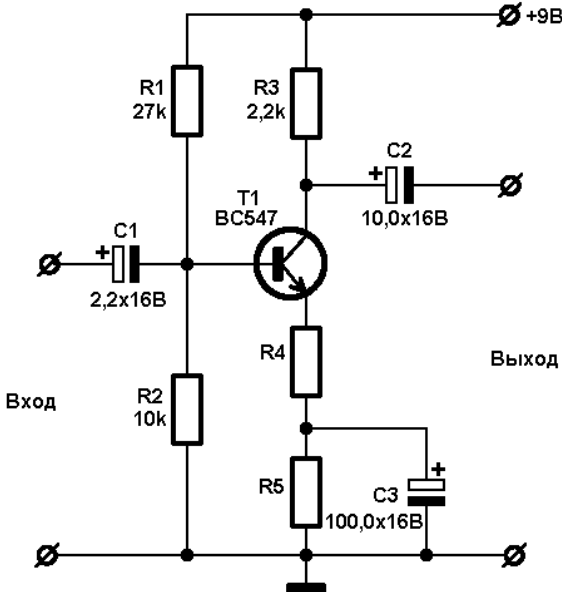


Рис. 1.2. Принципиальная схема предварительного усилителя с напряжением питания 9 В

В рассматриваемой конструкции в цепи эмиттера транзистора Т1 вместо одного резистора используется цепочка, состоящая из двух включенных последовательно резисторов R4 и R5. При этом положительный (верхний по схеме) вывод конденсатора С3 подключается к точке их соединения. В данном случае в работе схемы стабилизации рабочей точки транзистора Т1 участвуют оба указанных резистора. В то же время по высокой частоте блокирован лишь резистор R5, а резистор R4 обеспечивает отрицательную обратную связь по току.

Коэффициент усиления такого каскада зависит от величин сопротивлений резисторов R4 и R5, его значение может изменяться

от 3 до 100. Значения коэффициента усиления, а также входного и выходного сопротивлений данного усилителя при некоторых значениях сопротивлений резисторов R4 и R5 приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1. Параметры предварительного усилителя при различных значениях сопротивлений резисторов R4 и R5

| Параметры | Вариант 1 | Вариант 2 | Вариант 3 | Вариант 4 | Примечания |
|------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| Резистор R4 | 1,5 Ом | 56 Ом | 220 Ом | 680 Ом | |
| Резистор R5 | 1,2 кОм | 1,2 кОм | 1 кОм | 470 Ом | |
| Коэффициент усиления | 100 | 30 | 10 | 3 | |
| Входное сопротивление | 3,5 кОм | 4 кОм | 6 кОм | 7 кОм | |
| Выходное сопротивление | 2 кОм | 2 кОм | 2 кОм | 2 кОм | |

Данный усилительный каскад вполне надежно работает при снижении напряжения питания до 6 В.

Рассмотренные схемы предварительных усилителей для электрогитары представляют собой одноступенчатые усилительные каскады. Однако нередко возникает необходимость получения большого значения коэффициента усиления, для чего требуется использовать два и более каскадов усиления. Применение двухкаскадных транзисторных усилителей с емкостной связью, каждый из каскадов которых выполнен на основе приведенных схем, не всегда приводит к удовлетворительным результатам. Поэтому в радиолюбительской и промышленной аппаратуре довольно часто применяются усилители с непосредственной связью между каскадами. Такие схемы отличаются повышенными требованиями к стабильности режима работы по постоянному току, которая обеспечивается использованием специальных схемотехнических решений.

Принципиальная схема одного из вариантов двухкаскадного транзисторного предварительного усилителя с непосредственной связью между каскадами приведена на рис. 1.3.

В данной конструкции входной сигнал через разделительный конденсатор C1 и резистор R2 проходит на базу транзистора T1, на котором собран первый каскад усиления. Усиленный сигнал с коллектора транзистора T1 подается непосредственно на базу транзистора T2 второго усилительного каскада.