БИБЛИОТЕКА ЖУРНАЛА РАДИОЛЮБИТЕЛЬ

АЗБУКА УКВ

КАК ПОСТРОИТЬ ТРАНСИВЕР

Г. ТЯПИЧЕВ

АЗБУКА УКВ

Г. ТЯПИЧЕВ

КАК ПОСТРОИТЬ ТРАНСИВЕР

Издательский дом ДМК Пресс
Москва, 2007

УДК 621.396.61
ББК 32.845

Тяпичев Г.
Как построить трансивер. - М.: ДМК Пресс, 2007. - 432 с.: ил.

ISBN 5-9706-0001-6

Книга предназначена для широкого круга радиолюбителей, интересующихся вопросами радиосвязи на УКВ и начинающих заниматься разработкой аппаратуры для УКВ радиосвязи. Книга будет полезна также радиолюбителям, начинающим интересоваться приемом информации от искусственных спутников Земли (ИСЗ).

Она может представлять интерес и для читателей, увлекающихся изготовлением радиоаппаратов в любительских (домашних) условиях.

Основное внимание уделено подробному описанию различных УКВ радиоприемников и радиопередатчиков и отдельных узлов для них, в том числе и разработанных автором книги. Представлены схемы и данные, необходимые для изготовления и настройки этих аппаратов в домашних условиях, приведены методы доступных начинающим радиолюбителям математических расчетов. Много места уделено описанию самодельных конструкций различных модуляторов и модемов, устройств электронной перестройки частоты и других вспомогательных радиоаппаратов, которые можно использовать при любительской УКВ радиосвязи.

В книге приведены описания радиолюбительских конструкций УКВ антенн, в том числе и разработанной автором книги высокоэффективной антенны. Даны рекомендации по настройке антенн.

Автор книги является радиолюбителем с большим стажем и накопленным опытом в конструировании аппаратуры для любительской радиосвязи, которым стремится поделиться с начинающими радиолюбителями. Это третья книга, написанная специально для начинающих радиолюбителей по различным вопросам любительской радиосвязи.

УДК 621.396.61
ББК 32.845

Все права защищены. Любая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы ни было средствами без письменного разрешения владельца авторских прав.

Материал, изложенный в данной книге, многократно проверен. Но, поскольку вероятность наличия технических ошибок все равно существует, издательство не может гарантировать абсолютную точность и правильность приводимых сведений. В связи с этим издательство не несет ответственности за возможный ущерб любого вида, связанный с применением или неприменимостью любых материалов данной книги.

ISBN 5-9706-0001-6

© Г. Тяпичев
© Издательский дом ДМК Пресс

ВВЕДЕНИЕ 12

ЧАСТЬ 1.
САМОДЕЛЬНЫЕ БЛОКИ ДЛЯ УКВ АППАРАТУРЫ 14

Монтаж УКВ аппаратов 20

Объемный монтаж 20

Монтаж на фольгированном материале 21

Монтаж на металлическом основании 22

Глава 1.
Блоки усилителей низкой частоты 24

Усилители мощности НЧ 25

УНЧ на микросхеме К174УН7 25

УНЧ на транзисторах – вариант 1 26

УНЧ на транзисторах – вариант 2 27

Предварительные усилители НЧ 28

Предварительный усилитель на транзисторах 28

Предварительные УНЧ на микросхемах 29

Вариант комбинированного УНЧ 31

Фильтры НЧ 31

Вместо заключения 33

Глава 2.
Блоки детекторов 34

Частотная модуляция и УКВ ЧМ детекторы 35

Традиционный ЧМ детектор – детектор отношений 37

И еще... 41

Простые ЧМ детекторы из любительской практики 41

Частотный детектор с обратной связью 42

УКВ приемник с ФАПЧ 45

Микросхемы для УКВ и связи с ЧМ 48

Применение микросхемы К174ХА34 (TDA7021)....48
Коротко о детекторах для SSB 50
Демодулятор для цифровой радиосвязи.... 51
Что такое «модем»? 51
Демодулятор – часть модема 53
В качестве дополнения....54
Глава 3.
Блоки усилителей промежуточной частоты....57
Вместо предисловия....58
Фильтры для промежуточной частоты 58
Многоконтурный фильтр сосредоточенной селекции 58
Фильтр с положительной обратной связью 60
Узкополосые усилители промежуточной частоты 62
УПЧ на КП350 62
УПЧ по каскодной схеме.... 63
Широкополосные УПЧ 63
УПЧ – вариант 1.... 63
УПЧ – вариант 2.... 65
УПЧ – вариант 3.... 65
Глава 4.
Смесители высоких частот....67
Требования к смесителям 68
Смесители на транзисторах 70
Простые смесители на транзисторах 70
Смеситель с отдельным гетеродином 70
Смеситель на двухзатворном полевом транзисторе.... 71
Смеситель совмещен с гетеродином 71
Балансные смесители на транзисторах.... 74
Смесители на диодах 76
Балансные смесители 76

Смесители на встречно-параллельных диодах 78
Смеситель на СВЧ диоде..... 81

Смесители на микросхемах..... 82
Микросхема К174ПС4 83
Микросхема К174ПС1 84

Глава 5.
Генераторы для УКВ аппаратуры 86

Общие вопросы построения схем генераторов 87
Генераторы с параметрической стабилизацией частоты 89
Расчет элементов и параметров генератора 94
И еще две схемы генераторов..... 98
Генераторы с кварцевой стабилизацией частоты 99
Пример простейшего расчета дополнительного контура..... 104
Резонатор в цепи обратной связи 107
Нейтрализация емкости резонатора 107

Кварцевый генератор с изменением частоты..... 109
Экспериментальный генератор..... 109

Как еще больше расширить диапазон перестройки КГ 113

Рекомендации по разработке генератора 115

Если нет кварца..... 117

Глава 6.
Усилители высокой частоты и конвертеры 120

Отдельные блоки УВЧ..... 122
УВЧ с низкоомным входом и выходом 123
УВЧ для телевизионных каналов ДМВ 124
УВЧ с умножителем добротности 125
УВЧ для других диапазонов 127
Малошумящий узкополосый УВЧ 132

Конвертеры для УКВ диапазонов 132
Конвертер для приема на диапазоне 29 МГц.....132
Конвертер для диапазона 145 МГц 134
Конвертер 145 МГц на полевых транзисторах 137
Конвертер на двухзатворных полевых транзисторах.....141

Еще один конвертер на 145 МГц 144
Конвертер для диапазона 435 МГц 144
Конвертеры для диапазона 1296 МГц....149
Конвертер 1296/144 МГц 149
Еще один конвертер на диапазон 1296 МГц 150

Телевизионные конвертеры ДМВ 151
Простой конвертер для ДМВ 152
Высокочувствительный конвертер ДМВ....153
Конвертер для диапазона СВЧ....157

Настройка УВЧ 158

Глава 7.
Блоки задающих генераторов 161

Умножители частоты 164
Схемы простых умножителей частоты 166
Схемы двухтактных удвоителей 167

Умножители нечетных гармоник.... 168

Умножитель частоты с ФАПЧ 169

Умножитель частоты на MC12179 176

Синтезатор частоты на LM7001 178

Микросхемы серии LM7001 для синтезатора частот 179

Устройства для управления частотой задающего генератора 182
Схема электронной настройки 182
Модуляторы для микрофонов (динамических и угольных).... 184

Модулятор для цифровой связи 185
Настройка модулятора 188

Модулятор на МС с ФАПЧ 189
Схема модема.... 189
Тональный генератор 190
Настройка модулятора 190
Применяемые варикапы.... 191

Глава 8.
Смесители частот для передатчиков 194
Диапазон 145 МГц 195
Схема с двухтактным смесителем 195
Схема со смесителем на транзисторе 197
Настройка гетеродина и смесителя 145 МГц 200
Диапазон 435 МГц 203
Смеситель на двухзатворном транзисторе 203
Схема с двухтактным смесителем 204
Еще одна схема смесителя 206
Диапазон 1296 МГц 207
Глава 9.
Усилители мощности УКВ передатчиков 211
Диапазон 145 МГц 212
Классическая схема усилителя мощности 212
Настройка УМ 145 МГц 214
Усилитель мощности на КП904А 215
Двухтактный УМ 218
УМ с защитой 219
Диапазон 435 МГц 227
Классическая схема УМ для 435 МГц 227
Еще одна схема УМ для 435 МГц 229
УМ на 432...435 МГц с защитой от перегрузок 231
Настройка усилителя 234
Диапазон 1296 МГц 237
УМ на транзисторах КТ911 238
Настройка УМ 239
Глава 10.
Приборы для настройки УКВ аппаратов 241
Налаживание УКВ аппаратов 242
Высокочастотный вольтметр 242
Высокочастотные пробники 245

Гетеродинный измеритель резонанса – волномер 246
Измерительная линия 249
Двухпроводные измерительные линии 250
Приборы для настройки радиоприемника 254
Точная настройка приемника 255
Простой маяк на 145 МГц 256
Маяк для трех диапазонов 257
Маяк на частоты ДМВ 259
Определение чувствительности приемника 261

Другие приборы и устройства 265
Эквивалент нагрузки 265
Приставка к КВ приемнику 266
Стенд для регулировки электронной настройки 268

ЧАСТЬ 2. РАЗЛИЧНЫЕ УКВ РАДИОАППАРАТЫ 270

Глава 10. УКВ ЧМ радиоприемники 271

Самый простой радиоприемник 273
Пример расчета электронной настройки 277
Другой вариант МС К174ХА34 279
Простой приемник для диапазона 145 МГц 280
Изменяем схему конвертера 285

Приемник с МС К174ПС1 287

УКВ приемник для диапазона 432 МГц 288
Настройка радиоприемника 292
Если нет транзистора... 295
Малошумящие транзисторы 296
О микросхеме К174ХА42 296
Предельно допустимые значения параметров 299
Цоколевка МС К174ХА42А: 302

ГЛАВА 12.
УКВ радиопередатчики 303

Простейший УКВ ЧМ радиопередатчик 304

Передатчик на 145 МГц 309

Передатчик 145 МГц с эффективным смесителем 314

Передатчик с фиксированной частотой 316

Применение МС К174ПС1 319

Модульные усилители мощности 320

Контроль мощности 321

ГЛАВА 13.
УКВ ЧМ радиостанции 323

Простая УКВ ЧМ радиостанция 326

Основной блок радиостанции 328

Кварцевый гетеродин 331

Конвертер 144/64 МГц 332

Передающая приставка 64/144 МГц с УМ 334

Настройка 335

Радиостанция с генератором плавного диапазона 336

Назначение рабочих частот 338

Дополнительный каскад УПЧ 339

Некоторые советы 340

Радиостанция для диапазона 435 МГц 341

Выбор рабочих частот 344

Дополнительные устройства радиостанций 345

Выходные каскады УМ 345

ВЧ разъемы 346

Антенные переключатели 346

Варианты АП для РЛС 346

АП для любительских радиостанций 351

АП с переключающими диодами 352

ЧАСТЬ 3.
АНТЕННЫ ДЛЯ УКВ 354

Глава 14.
Антенны для связи на УКВ 355

Основные особенности 356
Немного о поляризации радиоволн 356
Немного о направленности антенн 357
Эффективность антенны и антенные усилители 358

Специальные антенны 363
Спиральная антенна 363
Спиральная антенна для 1296 МГц 365
Зеркально-параболическая антенна 366
Параболоцилиндрическая антенна 369
Еще один вариант конструкции этой антенны 376
Программа antenna1 377

Антенна ЗИГЗАГ 377
Выполнение полотна зигзагообразной антенны 378
Увеличение эффективности зигзагообразной антенны 381

Антенна DL7KM 385
Способы уменьшения размеров антенны 387

Глава 15.
Немного теории и основы настройки УКВ антенн 388

Очень коротко об основных понятиях 389
Полуволновый вибратор 389
Петлевой вибратор 392
Фидер 393
Диаграмма направленности 395

Настройка УКВ антенн 395
Настройка многоэлементных антенн типа «волновой канал» 397
Настройка длинных антенн «волновой канал» 401

Контроль согласования антенн 402
Специальные приборы 404
Рефлектометр УКВ 404
Применение рефлектометра 404
Пример конструкции рефлектометра 407
Антенноскоп 409
Еще один прибор 413
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 414
ПРИЛОЖЕНИЯ 415
Приложение 1 416
Приложение 2 422
Приложение 3 426
Список использованной литературы 431

ВВЕДЕНИЕ

В течение последних лет среди радиолюбителей еще большей популярностью стала пользоваться различная радиоаппаратура УКВ диапазонов. Это объясняется появлением в больших городах УКВ ретрансляторов, организацией региональных пакетных радиолюбительских сетей, а также возможностью проводить радиосвязи с использованием аппаратуры, установленной на искусственных спутниках Земли (ИСЗ).

Различные фирмы предлагают достаточно большой выбор УКВ радиоприемников и радиостанций, так что купить необходимый аппарат всегда имеется возможность. Но зачастую у радиолюбителя появляется желание самому попробовать свои силы в деле создания подобной радиотехники. Радиолюбитель и отличался всегда от обычного любителя проведения радиосвязей тем, что сам стремился создать необходимую для своих целей аппаратуру. Зачастую самодельная аппаратура, изготовленная достаточно опытным радиолюбителем, не уступает по качеству проведения радиосвязей аппаратуре фирменной, а иногда и превосходит ее по каким-то отдельным параметрам.

Следует учитывать тот факт, что при самостоятельном изготовлении аппаратуры радиолюбитель совершенствует свои знания законов радиотехники и навыки монтажа, знакомится с необходимой литературой, занимается поиском этой литературы и информации по интересующей теме. Короче говоря, такой любитель постепенно достигает уровня профессионала, становится способным самостоятельно решать сложные радиотехнические вопросы. В то же время владелец купленной аппаратуры в своих знаниях дальше освоения возможностей этой приобретенной аппаратуры уже не «прыгнет».

Материал книги предназначен для радиолюбителей, которые хотят самостоятельно изготовить УКВ ЧМ радиостанцию или отдельный УКВ радиоприемник (или передатчик) различной степени сложности. Длительный опыт самостоятельного изготовления различных радиолюбительских аппаратов приучил меня создавать свои конструкции из отдельных блоков – как это делается в детских конструкторах. Достаточно иметь определенный набор нужных «кубиков», и изготовление задуманной конструкции гарантировано. Материал книги состоит из следующих трех основных частей:

- В десяти главах первой части книги приведены описания конструкций различных блоков, из которых впоследствии можно собрать и наладить необходимый радиоаппарат. При этом следует учитывать, что все блоки неоднократно повторялись автором в составе

конструкций различных аппаратов, то есть прошли многократную проверку.

- В трех главах второй части книги приводятся описания различных электронных аппаратов, которые можно самостоятельно в домашних условиях собрать из описанных выше блоков. Приведены подробные описания методов, которые позволяют изготовить и произвести наладку любительской УКВ радиостанции с частотной модуляцией сигнала (ЧМ) для любительских диапазонов 144...146 и 432...436 МГц, а также много другой УКВ аппаратуры. При этом степень сложности изготавливаемой аппаратуры может быть любой, в зависимости от опыта изготовителя или от наличия тех или иных радиодеталей. Конструкция блоков позволяет использовать одни и те же блоки как для изготовления простых радиоаппаратов, так и для более сложных вариантов этих же аппаратов. Конструкция блоков позволяет использовать их также для изготовления радиоаппаратов на другие УКВ диапазоны.
- В третьей части книги приведены описания некоторых антенных УКВ устройств, в том числе и разработанных автором этой книги. Приведена методика настройки многодиректорной антенны типа «волновой канал». Эффективность работы любого УКВ радиоаппарата для любительской радиосвязи непременно зависит от используемого антенного устройства.

В книге также приведены схемы и описания различных самодельных измерительных приборов, необходимых для настройки УКВ радиоаппаратуры в домашних условиях. Это особенно важно для радиолюбителей, которые не имеют возможности пользоваться сложной «фирменной» измерительной аппаратурой.

Принцип построения радиоаппаратуры в виде отдельных блоков позволяет безболезненно выполнить модернизацию как отдельного блока, так и всего аппарата в целом. Это очень удобно для начинающих радиолюбителей, которые должны не хвататься сразу за изготовление какого-то сложнейшего аппарата, а начинать изготовление своих аппаратов постепенно, начиная с самого простого. Только в этом случае гарантирован успех и отсутствие разочарований от неработающего аппарата.

Итак, начинайте с самого простого!

Желаю читателю успехов в расширении кругозора!

Геннадий А. Тяпичев – RA3XB
http://ra3xb.narod.ru

ЧАСТЬ 1.

САМОДЕЛЬНЫЕ БЛОКИ ДЛЯ УКВ АППАРАТУРЫ

Блоки усилителей низкой частоты 24

Блоки детекторов 34

Блоки усилителей промежуточной частоты 57

Смесители высоких частот 67

Генераторы для УКВ аппаратуры 86

Усилители высокой частоты и конвертеры 120

Блоки задающих генераторов 161

Смесители частот для передатчиков 194

Усилители мощности УКВ передатчиков 211

Приборы для настройки УКВ аппаратов 241

Желание иметь приличную радиоаппаратуру присутствует у каждого из радиолюбителей. Только одни из них реализуют свои желания путем приобретения уже готовой, кем-то изготовленной, аппаратуры, а другие начинают претворять свои желания в жизнь собственными руками. В итоге, после накопления достаточного опыта, многим удается создать своими руками такую аппаратуру, которая позволяет им на равных работать в эфире с владельцами покупной фирменной аппаратуры. Для радиолюбителей, желающих сделать своими руками УКВ радиоаппаратуру, как раз и предназначена эта книга.

В радиолюбительской литературе можно найти большое количество описаний конструкций радиолюбительской аппаратуры. Особо хочу обратить ваше внимание на описания в журналах и другой литературе радиолюбительских конструкций, созданных Яковом Семеновичем Лаповком (UA1FA). Это один из самых опытных и высококвалифицированных создателей радиоаппаратуры, причем не только радиолюбительской. Созданная Г. Джунковским (UA1AB) и Я. Лаповком (UA1FA) в 1966 году конструкция радиостанции первой категории, известной среди радиолюбителей как «трансивер ДЛ-66», была первой в СССР радиостанцией, отлично работающей в режиме передачи и приема однополосной модуляции.

Мною трансивер ДЛ-66 был изготовлен в 1969 году и прослужил много лет.

Широкую известность приобрела созданная Я. С. Лаповком радиостанция первой категории, описанная в книге «Я строю КВ радиостанцию» (1983 год).

Как показал многолетний опыт, при создании собственной аппаратуры часто случаются такие ситуации, когда какой-то из каскадов, расположенных где-то в середине схемы, работает не так, как этого хотелось бы. Особенно неприятно бывает в тех случаях, когда весь аппарат изготовлен на одной плате и в подготовительном периоде были затрачены многие часы на изготовление этой хитроумной платы с несколькими сотнями отверстий. В итоге все приходится начинать заново.

Чтобы избежать подобных стрессовых ситуаций, лучшим вариантом при создании собственных конструкций является так называемый блочный (модульный) метод изготовления радиоаппаратуры, при котором аппарат конструктивно состоит из нескольких отдельных блоков, изготовленных на своих собственных платах. При этом

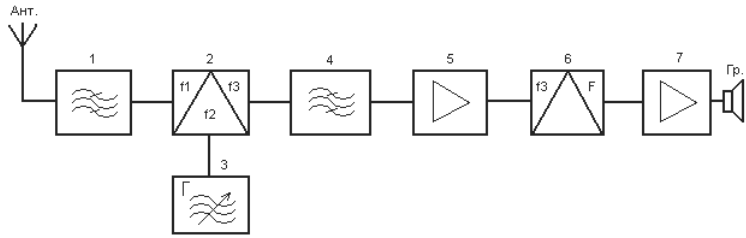


Рис. 1.1. Блок-схема супергетеродинного приемника

в любой момент можно будет без особого труда заменить неугодный блок.

Кстати, описанная в книге Я. С. Лаповка «Я строю КВ радиостанцию» конструкция состоит из еще «более мелких» элементов-модулей.

Для начала давайте рассмотрим блок-схемы основных радиолюбительских связных аппаратов – радиоприемника и радиопередатчика.

На рис. 1.1 изображена блок-схема простого супергетеродинного приемника. Надеюсь, что значение слова «супергетеродин» понятно для читателя. Если это не так, то следует обратиться к любому радиолюбительскому справочнику.

Рассмотрим функциональное назначение каждого из пронумерованных на схеме отдельных блоков.

1. Сигнал от антенны поступает на блок под номером 1. Назначение этого блока в том, чтобы не допускать к другим блокам присутствующие в антенне сигналы помех и усиливать поступающие от антенны полезные сигналы. Будем называть этот блок **Усилителем Высокой Частоты (УВЧ)**, не забывая о том, что одновременно с усилением полезного сигнала он обязан выполнять для него роль фильтра, то есть не пропускать сигналы помех.
2. Под номером 2 находится блок, исполняющий роль смесителя двух поступающих на входы этого блока радиосигналов. Одним из сигналов является сигнал от блока 1, второй сигнал поступает от блока 3, который является маломощным генератором электромагнитных колебаний. Наличие вспомогательного генератора и смесителя является обязательным для любого радиоприемника, построенного по супергетеродинной схеме.

3. Маломощный генератор, обозначенный номером 3, с давних пор принято называть словом «гетеродин». Смысл супергетеродинной схемы приемника заключается в том, что поступающий от антенны радиосигнал складывается с сигналом гетеродина, в результате чего на выходе смесителя будут присутствовать сразу четыре сигнала:
   - сигнал от блока 1;
   - сигнал от гетеродина;
   - сигнал, представляющий собой сумму двух предыдущих сигналов;
   - сигнал, представляющий собой разность между сигналом от блока 1 и сигналом гетеродина.
4. Из присутствующих на выходе смесителя четырех сигналов нас должен интересовать только сигнал, равный разности частот сигнала от блока 1 (полезный принимаемый сигнал) и частоты сигнала гетеродина. Поэтому следующим после смесителя блоком под номером 4 непременно должен быть фильтр, пропускающий к последующим каскадам только частоту полезного (разностного) сигнала. Частота этого полезного сигнала называется **Промежуточной Частотой (ПЧ)** и содержит в себе всю полезную информацию, которую мы должны принять из эфира. Вся дальнейшая работа в последующих каскадах выполняется уже с ПЧ.
5. Следующий блок 5 называется **Усилителем Промежуточной Частоты (УПЧ).** УПЧ может состоять из нескольких усилительных каскадов. Все зависит от величины коэффициента усиления, которая предназначена этому усилителю.
6. Блок 6 является детектором и служит для выделения из состава ПЧ полезной информации в том виде, в котором эта информация может восприниматься нашими органами слуха или какими-то иными вспомогательными аппаратами, например, модемами. Как правило, полезная информация выдается в форме **Низких (или Звуковых) Частот (НЧ или ЗЧ).**
7. Блок 7 является **Усилителем Низких Частот (УНЧ)** и необходим для усиления полезного сигнала до такой величины мощности, которая может обеспечить нормальную дальнейшую обработку полезного сигнала. В данном случае мощность выходного

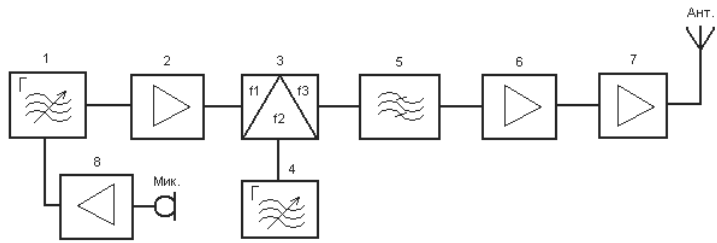


Рис. 1.2. Блок-схема радиопередатчика

сигнала должна обеспечить нормальную работу изображенного на схеме громкоговорителя Гр1.

Теперь рассмотрим блок-схему передатчика, изображенную на рис. 1.2.

1. Блок 1 называется **Задающим Генератором (ЗГ)** и представляет собой маломощный генератор электромагнитных колебаний определенной частоты. Как правило, задающий генератор должен иметь возможность изменять излучаемую им частоту в пределах заданного диапазона.
2. Блок 2 должен исполнять роль усилителя электромагнитных колебаний задающего генератора (блока 1) и одновременно оградить задающий генератор от негативного воздействия последующих блоков на частоту излучаемых ЗГ электромагнитных колебаний. Обычно этот блок состоит из нескольких каскадов. Первым каскадом (со стороны ЗГ) зачастую бывает эмиттерный (или истоковый) повторитель, который как раз и защищает ЗГ от воздействия последующих за повторителем каскадов и блоков. Такой каскад носит название *буферного каскада*. Следующим после буфера каскадом должен быть каскад усилительный (если это необходимо).
3. Блок 3 является **смесителем** частот двух электромагнитных колебаний. Первая частота – это частота электромагнитных колебаний ЗГ, вторая частота – частота вспомогательного генератора, представленного в блоке 4. Смесители могут быть самых разнообразных конструктивных исполнений. При этом обязательно следует учитывать тот факт, что выходы всех блоков, от которых сигналы подаются на смеситель, должны быть

согласованы с величинами входных сопротивлений данной конструкции смесителя.

4. Блок 5 – это вспомогательный маломощный генератор. Зачастую это бывает многокаскадный **генератор с кварцевой стабилизацией частоты**.
5. Как известно, на выходе любого смесителя присутствуют одновременно четыре сигнала. Следовательно, блок 5 должен быть **фильтром**, который должен обеспечить пропуск к следующим блокам только сигналов заданной частоты. Как правило, в передатчиках этой заданной частотой является частота, представляющая собой сумму частот ЗГ и вспомогательного генератора.
6. Блок 6 служит усилителем по напряжению поступающих от блока 5 сигналов заданной частоты. Коэффициент усиления этого блока должен иметь такую величину, чтобы переменное напряжение на выходе этого блока могло обеспечить нормальную работу следующего блока.
7. Блок 7 является **Усилителем Мощности (УМ)** передатчика. Это очень ответственный блок, который должен обеспечить необходимую мощность сигнала в антенне. Сразу нужно усвоить важность согласования выходного каскада этого блока с антенной и **не допускать включения передатчика в работу с неподключенной антенной.**
8. Блок 8 служит для того, чтобы нагрузить излучаемую ЗГ частоту полезной нагрузкой. В данном случае под «полезной нагрузкой» следует понимать либо сигналы от микрофона, либо сигналы от цифровой (компьютерной) системы. Такой блок называется **модулятором**. Кстати, модулятор не обязательно должен подключаться к ЗГ и воздействовать на излучаемую им частоту. Существует такой вид связи, как *амплитудная модуляция*, при которой модулятор подключается к усилителю мощности.

Итак, я очень коротко охарактеризовал все основные блоки, из которых состоит и может быть изготовлен и радиоприемник и радиопередатчик. На практике делается так, что приемник и передатчик размещают в одном корпусе. Такая конструкция носит название **радиостанции**. При этом появляется возможность одни и те же блоки использовать и во время передачи и во время приема. В этом случае радиолюбители называют подобную радиостанцию **трансивер**.

Далее в этой части книги я приведу описания конструкций и схемы различных блоков, из которых можно собрать различные по

сложности и радиоприемники, и радиопередатчики, и радиостанции-трансиверы. Для каждого из блоков будут приведены конструкции различной степени сложности. Начинать всегда следует с изготовления самых простых вариантов. Таким образом вы накопите больший опыт и избавите себя от неприятных волнений и разочарований.

Изготовление радиоприемника следует начинать с изготовления и проверки работоспособности блока усиления низкой частоты, затем следует изготовить детектор, усилитель промежуточной частоты, смеситель с фильтром ПЧ, гетеродин и усилитель высокой частоты. Получается так, что радиоприемник изготавливается «начиная с конца». Изготовление радиопередатчика всегда начинается с изготовления и проверки работоспособности задающего генератора, то есть «с начала».

Дальнейшее описание конструкций различных блоков будет проводиться как раз в соответствии с приведенным выше порядком изготовления блоков для радиоприемника и радиопередатчика.

МОНТАЖ УКВ АППАРАТОВ

Монтаж радиоаппарата подразумевает соединение, в соответствии с принципиальной электрической схемой, отдельных радиодеталей в готовое изделие. Существуют специальные правила монтажа каждого типа радиодеталей, с которыми можно познакомиться либо в технических условиях на этот тип деталей, либо в радиолюбительской справочной литературе. В этой книге я не буду касаться правил монтажа различных радиокомпонентов, а только очень коротко сообщу об общих моментах и способах монтажа радиодеталей в любительских условиях.

Объемный монтаж

Самым первым из освоенных людьми видов монтажа радиоаппаратов был так называемый объемный монтаж. При этом способе монтажа основой конструкции является металлический корпус, разделенный многочисленными экранными перегородками. Экранные перегородки отделяют (экранируют) электрически один каскад от другого с целью предотвращения взаимных наводок.

При объемном монтаже детали крепятся методом пайки к специальным, изолированным от корпуса, стойкам. Зачастую в качестве таких стоек может употребляться и резистор и конденсатор, один из выводов которого припаян к корпусу.

Связь между каскадами осуществляется изолированными проводами через специальные отверстия в экранных перегородках. Подвод питания к каскадам всегда выполняется через так называемые проходные конденсаторы, которые вставляются в отверстия перегородок и крепятся винтовыми соединениями.

Среди радиолюбителей иногда применяется способ выполнения объемного монтажа на пластинках из органического стекла (плексигласа). В этом случае для всех каскадов, расположенных в одном из отсеков корпуса, вырезается одна общая пластинка из оргстекла. На эту пластинку методом горячего вдавливания крепятся стойки из проволоки. Делается это так. Берется отрезок медного луженого провода и горячим жалом паяльника конец этого отрезка вдавливается на 2-2,5 мм в пластину. После остывания получается приличная стойка с двумя концами, подготовленная для припаивания к ней радиодеталей.

Несмотря на то, что сейчас мода на такой вид монтажа давно прошла, знать и применять его в обоснованных случаях даже необходимо.

Монтаж на фольгированном материале

Основной метод применяющегося в настоящее время монтажа радиоаппаратов связан с применением фольгированного материала. Бывают фольгированный гетинакс, текстолит, стеклотекстолит и прочие материалы, включая керамику. Фольгирование бывает и односторонним, и двухсторонним. В промышленности на пластинку из фольгированного материала фотографическим методом или штампом наносится специальный состав, который укрывает токоведущие дорожки на этой плате (пластине). Поэтому такие пластины называются печатными платами. Пример такой печатной платы вы можете увидеть на рис. 9.6 и 9.12.

После высыхания краски пластины опускаются в раствор кислоты, где происходит вытравливание незащищенных краской участков фольги. Затем плата промывается от кислоты, удаляется специальная краска с токоведущих участков платы и выполняется лужение всех токоведущих участков платы.

Мною упущен еще один важный момент. Дело в том, что радиодетали в прежних конструкциях плат располагались с противоположной от токоведущих дорожек стороны. Для выводов этих всех радиодеталей в плате просверливались сотни отверстий малого диаметра. Все эти отверстия проходили процесс металлизации, то есть на по-

верхности стенок отверстий наносился слой меди. Потом вся плата подвергалась лужению, в том числе и стенки всей массы отверстий.

Если в производственных условиях на автоматических линиях весь этот процесс был оправдан, то в радиолюбительских условиях копировать производственный цикл было бессмысленно. Несмотря на это, и сейчас еще имеются радиолюбители, которые травят платы, сверлят вручную сотни отверстий, превращая себя из радиолюбителей-конструкторов в радиоремесленников.

Платы должны изготавливаться радиолюбителем таким образом, чтобы радиодетали крепились к платам со стороны фольги. При этом нельзя допускать никакого процесса вытравливания платы кислотой! Токоведущие участки платы должны отделяться один от другого узкими дорожками, прорезанными ножом-резаком. При таком методе на изготовление платы уходит гораздо меньше времени, монтаж получается с хорошим качеством припаивания деталей непосредственно к токоведущим частям платы.

Многие радиолюбители уже с 70-х годов прошлого столетия работают с такими платами. С. Г. Жутяев [1] в эти годы разработал систему монтажа деталей на «пятачках». Смысл этого способа монтажа заключается в том, что в фольге, покрывающей плату, специальным циркулем-резаком делается кольцевая канавка, отделяющая маленький «пятачок» от остальной фольги. К этому пятачку затем, как при объемном монтаже к стойкам, крепятся радиодетали. Кроме того, Сергей Георгиевич применил в разработанных им радиостанциях вместо цилиндрических катушек специальные индуктивные контуры, расположенные параллельно плате на расстоянии 2-3 мм от нее. Применение этих контуров позволило избавиться от экранирующих перегородок.

Монтаж на металлическом основании

Очень часто радиолюбителю приходится изготавливать различные аппараты только для того, чтобы проверить какую-то возникшую вдруг идею или если нет под руками нужного куска фольгированного материала. Мною в таких случаях применяется «монтаж на квадратиках». Для этого вида монтажа берется кусок белой жести (например, от банки из-под сгущенного молока), тщательно выпрямляется, обрезается под нужный размер и обезжиривается ацетоном. Затем из старых плат вырезаются маленькие квадратики размером примерно 5×5 мм. Иногда чуть больше, иногда – чуть меньше. Фольгированная

сторона такого квадратика подвергается лужению, а обратная сторона слегка обрабатывается наждачной шкуркой для придания шероховатости. Это нужно для надежного приклеивания.

Предварительно на листе бумаги делается рисунок расположения деталей на плате. В соответствии с этим рисунком в местах крепления деталей на плату приклеиваются заготовленные квадратики. Для приклеивания квадратиков следует использовать клей марки БФ. Подойдет и БФ-2, и БФ-4, и БФ-6. Этот клей хорош тем, что сразу же после приклеивания квадратика к нему можно припаивать выводы деталей.

Метод монтажа радиокомпонентов на основании из белой жести очень удобен при работе с цифровыми микросхемами. Микросхема (например, типа К561) кладется на основание выводами вверх. Возле подлежащих заземлению выводов микросхемы к основанию припаиваются небольшие отрезки медной луженой проволоки диаметром 0,4-0,6 мм, и требующие заземления выводы микросхемы припаиваются к этим отрезкам проводов. Получается очень надежное крепление микросхемы к основанию. Возле вывода микросхемы, к которому подводится питание, приклеивается квадратик или полоска из фольгированного материала. В дальнейшем эта полоска будет являться шиной подвода питания к нескольким микросхемам. Выводы микросхем между собой соединяются (в соответствии со схемой) небольшими (15-30 мм) отрезками тонкого изолированного провода типа ПЭЛ 0,3 или аналогичного. Концы этих отрезков на длине примерно 5 мм очищаются от эмали и подвергаются лужению. Впоследствии такой конец отрезка обматывается один или два раза вокруг ножки вывода микросхемы и припаивается легким касанием жала нагретого паяльника. Все получается и удобно, и красиво, и компактно. Не было ни одного случая замыкания в таких соединительных и изолированных эмалью проводниках.

Только не забывайте перед такого рода монтажом возле вывода №1 микросхемы поставить опознавательный знак в виде точки. Такой знак можно сделать клеем или лаком (например, лаком для маникюра).

Как говорится в народе, «голь на выдумки хитра». Что поделаешь, если нет фольгированного материала в достаточном количестве?

ГЛАВА 1.
БЛОКИ УСИЛИТЕЛЕЙ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

Усилители мощности НЧ 25
УНЧ на микросхеме К174УН7 25
УНЧ на транзисторах – вариант 1 26
УНЧ на транзисторах – вариант 2 27
Предварительные усилители НЧ 28
Предварительный усилитель на транзисторах 28
Предварительные УНЧ на микросхемах 29
Вариант комбинированного УНЧ 31
Фильтры НЧ 31
Вместо заключения 33

УСИЛИТЕЛИ МОЩНОСТИ НЧ

Любительские конструкции различнейших вариантов усилителей мощности НЧ можно найти в любом радиолюбительском справочнике и различных радиолюбительских журналах, таких, как журналы «Радио», «Радиомир. КВ и УКВ», «Радиолюбитель» и многих других. Так что у радиолюбителя имеется огромный выбор различных вариантов УНЧ, на любой вкус.

В этой книге я приведу описания тех конструкций, которые сам опробовал и использовал в своей радиолюбительской практике.

Начинающим радиолюбителям следует помнить, что для любительских радиостанций нет необходимости использовать в качестве УНЧ высококачественные блоки с огромной полосой пропускания для звуковых частот. Для связного приемника необходимая полоса пропускания сигналов НЧ составляет 300-3000 Гц. Этой полосы пропускания вполне достаточно и для качественного приема сигналов человеческими органами слуха, и для работы аппаратов цифровой связи. Все частоты, находящиеся выше или ниже указанного диапазона, принесут только вред.

УНЧ на микросхеме К174УН7

Микросхемы серии К174 предоставляют радиолюбителю большой выбор различных радиоконструкций. К174УН7 представляет собой усилитель НЧ со следующими параметрами:

- напряжение питания – 15 В;
- номинальная выходная мощность – 4,5 Вт;
- Коэффициент гармоник для выходной мощности 0,05 Вт составляет 2%, для 4,5 Вт – 10%;
- полоса частот – от 40 до 20 000 Гц;
- входное сопротивление – 50 кОм;
- сопротивление нагрузки – 4 Ома;
- коэффициент усиления – 40 дБ;
- максимальное амплитудное значение тока в нагрузке – 1,75 А;
- максимальное амплитудное значение выходного напряжения – 2 В;
- допустимое постоянное напряжение на выводе – 7-15 В;

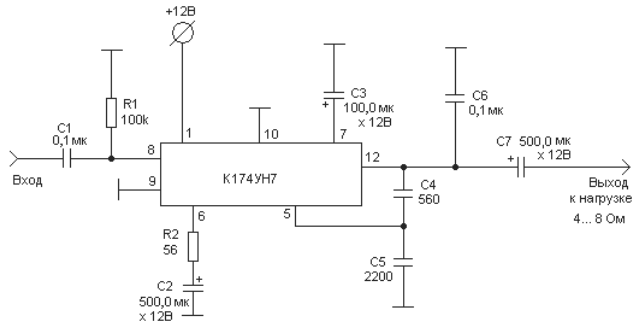


Рис. 1.3. УНЧ на микросхеме К174УН7

- допустимое постоянное напряжение на выводе 8 – от -0,3 до 2 В;
- недопустимо подавать внешнее постоянное напряжение на выводы 5, 6, 12.

Микросхему необходимо ставить на теплоотвод-охладитель.

На рис. 1.3. приведена принципиальная электрическая схема УНЧ, выполненного на микросхеме К174УН7.

Следует учитывать, что усилитель имеет широкую полосу пропускания звуковых частот. Поэтому на входе усилителя непременно должен быть установлен фильтр нижних частот. Кроме того, погасить усиление высоких частот можно подбором корректирующих конденсаторов и резисторов. Можно значительно увеличить чувствительность УНЧ, если увеличить резистор R2 до величины 120 Ом.

Усилитель практически не требует никакой наладки. Впоследствии, после полного изготовления всего радиоприемника с этим УНЧ, можно будет попробовать изменить выходную частотную характеристику подбором величин корректирующих конденсаторов и резисторов (если это будет необходимо!).

Следует помнить, что в серии К174 имеются и другие микросхемы усилителей НЧ.

УНЧ на транзисторах – вариант 1

Для любителей работать с транзисторами старых марок привожу испытанную схему простого УНЧ на транзисторах, изображенную на рис. 1.4.

Чувствительность усилителя по входу составляет примерно 0,25 В, так что для нормальной работы этого усилителя в составе радиопри-

емника требуется между детектором и этим усилителем установить еще один усилитель НЧ, так называемый предварительный УНЧ. Предварительный УНЧ должен усиливать сигналы, полученные от детектора, до величины 0,25 В.

Выходная мощность усилителя примерно 2 Вт, коэффициент гармоник не более 3%, на выход должен подключаться громкоговоритель с сопротивлением 5-8 Ом.

Стабилизация режима выходного каскада осуществляется с помощью диода VD1. Диод следует подбирать по критерию получения как можно меньших искажений при малом сигнале на входе. Можно пробовать диоды Д18, Д310 и другие, при этом следует помнить непременное требование: *замену диода можно проводить только при выключенном питании*.

Усилитель может работать и при более низком напряжении питания. При напряжении питания 9 В и сопротивлении катушки громкоговорителя 8 Ом выходная мощность составит примерно 1 Вт, при напряжении питания 6 В – примерно 0,5 Вт.

Настройка осуществляется подбором резисторов R1 и R9 таким образом, чтобы величина напряжения на положительном электроде конденсатора С4 была равна половине напряжения питания. При этом величина тока в режиме молчания через транзисторы VT4 и VT5 должна быть в переделах 2-3 мА.

Точно по этой же схеме можно сделать УНЧ и на современных транзисторах.

УНЧ на транзисторах – вариант 2

На рис. 1.5 приведена принципиальная электрическая схема еще одного варианта транзисторного УНЧ. Эта схема аналогична схеме

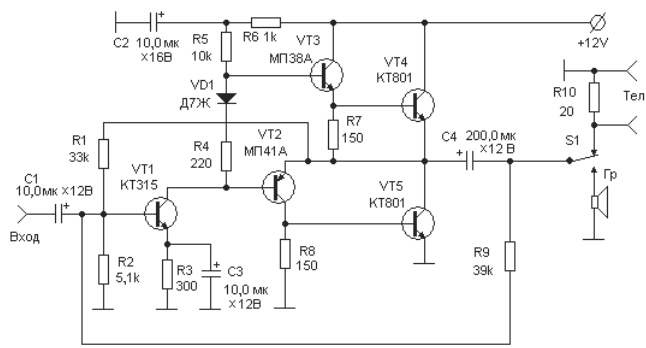


Рис. 1.4. Возможный вариант УНЧ на транзисторах

УНЧ в разработанной Я. С. Лаповком конструкции базового приемника КВ радиостанции. В данной схеме, по сравнению с аналогом, применены другие транзисторы.

Настройка УНЧ заключается в подборе резистора R1 до такой величины, чтобы на положительном электроде транзистора С4 (в общей точке для транзисторов VT3 и VT4) величина напряжения составляла половину от напряжения питания.

Так же, как и предыдущий УНЧ, этот усилитель нуждается в дополнительном (предварительном) усилителе.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ УСИЛИТЕЛИ НЧ

Предварительный усилитель на транзисторах

В бытовых радиоприемниках предварительные НЧ усилители обычно дополняют функциями корректирования звуковых частот. В радиоприемниках для связи необходимости в таком корректировании нет, т.к. диапазон воспроизводимых УНЧ связного приемника не должен выходить за пределы диапазона 300-3000 Гц. Поэтому схемы предварительных усилителей могут быть очень простыми. На рис. 1.6 изображена принципиальная схема простого, но достаточно эффективного в работе транзисторного предварительного усилителя НЧ. Схема представлена в двух исполнениях, которые различаются только примененными транзисторами.

Настройка УНЧ заключается в подборе величины резистора R2 до такой величины, при которой в режиме молчания величина падения напряжения на резисторе R4 составит ровно половину от величины напряжения питания. Иными словами, напряжение на коллекторе

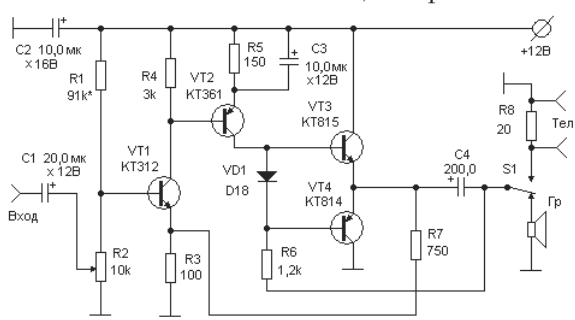


Рис. 1.5. УНЧ на транзисторах

транзистора VT2 должно быть равно половине напряжения питания.

Предварительные УНЧ на микросхемах

Как правило, разработчик нового радиоприемника стремится так распределить суммарное усиление между каскадами радиоприемника, чтобы наибольшая доля усиления приходилась на усилители ПЧ и УНЧ. Поэтому оправдано стремление радиоконструктора создать УНЧ с максимально возможным усилением. Решить подобную задачу можно с помощью предусилителей НЧ, выполненных на операционных усилителях. На рис. 1.7 изображена одна из возможных схем предусилителя НЧ на операционном усилителе типа К140УД6. Можно использовать также К140УД7, К140УД12 и др.

Коэффициент усиления изображенного на рис. 1.7 усилителя равен отношению суммы величин (R5+R6) к величине сопротивления резистора R1. Например, если суммарная величина сопротивлений R5 и R6 будет составлять 50 Ом, а величина сопротивления резистора R1 будет равна 10 Ом, то коэффициент усиления будет равен 10.

Настройка усилителя заключается в подборе наиболее удобной величины сопротивления переменного резистора R5. Собственно говоря, переменный резистор здесь не нужен. Подбор можно осуществлять различными резисторами с постоянной величиной сопротивления.

На рис. 1.8 изображена схема предварительного усилителя на микросхеме К548УН1. Эта микросхема представляет собой два одинаковых малошумящих УНЧ.

На рис. 1.8 представлена схема предварительного усилителя на ИС типа К548УН1. Параметры усилителя зависят от глубины ООС,

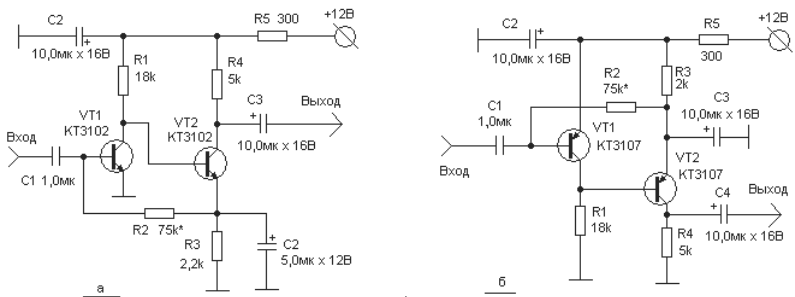


Рис. 1.6. Один из вариантов предварительного УНЧ

которая определяется соотношением сопротивлений резисторов R1 и R3. При значениях сопротивлений, указанных на схеме, усилитель характеризуется следующими параметрами:

- коэффициент усиления напряжения 100 (равен отношению сопротивлений R1/R3);
- входное сопротивление равно 300 кОм;
- выходное – не более 1 Ом;
- наивысшая рабочая частота – не менее 100 кГц;
- коэффициент гармоник на частоте 1 кГц при сопротивлении нагрузки 10 кОм – не более 0,05 %;
- коэффициент шума (измеренный в полосе частот до 23 кГц при сопротивлении источника сигнала 10 кОм) – не более 2.

Если повысить коэффициент усиления напряжения до 1000, наивысшая рабочая частота уменьшается примерно до 20 кГц, а коэффи-

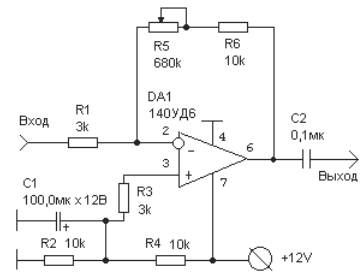


Рис. 1.7. Предусилитель на К140УД6

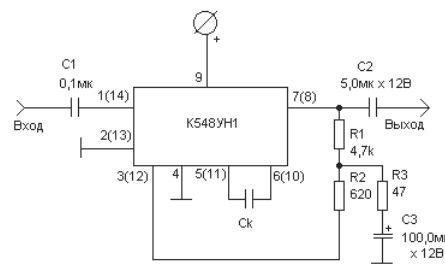


Рис. 1.8. Усилитель на микросхеме К548УН1

циент гармоник повышается до 0,1%. Корректирующий конденсатор $C_к$ включают, если необходимо ограничить диапазон рабочих частот. Показанные в круглых скобках выводы микросхемы относятся к второму усилителю, расположенному в этом же корпусе.

Вариант комбинированного УНЧ

На рис. 1.9 изображена принципиальная электрическая схема усилителя НЧ, который включает в себя предварительный усилитель на операционном усилителе К140УД6 и усилитель мощности на 5 транзисторах.

Особенностью транзисторного усилителя мощности является то, что этот усилитель предназначен для работы в режиме класса АВ, который характеризуется малыми линейными искажениями. При указанных на схеме величинах радиодеталей, УНЧ обеспечивает выходную мощность порядка 1 Вт и имеет КПД около 60%. Входное сопротивление – около 300 Ом, выходное – 10-20 Ом. Настройка транзисторного усилителя мощности осуществляется подбором величины резистора R8 до такой величины, при которой напряжение в точке соединения коллекторов транзисторов VT4 и VT5 станет равным (в режиме молчания) точно половине напряжения питания.

Каскад на операционном усилителе особенностей не имеет.

Фильтры НЧ

Как уже было сказано при рассмотрении блок-схемы приемника, после выполнения процесса детектирования нужно очистить полученный сигнал от присутствующих в нем побочных частот, то есть необходима фильтрация сигнала. После детектирования в сигнале непременно присутствуют как высокие (выше 3000 Гц), так и низкие

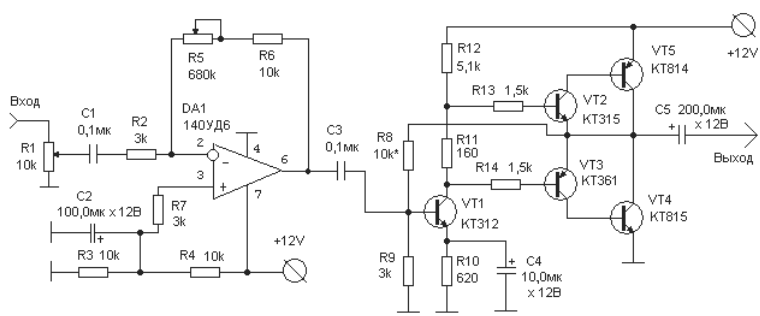


Рис. 1.9. Схема комбинированного УНЧ

(ниже 300 Гц) побочные результаты детектирования и различные наводки, например сигналы с частотой 50 Гц от источника питания. Кстати, от источника питания при плохой фильтрации могут наводиться частоты и 100 Гц и 200 Гц – это более высокие гармоники от частоты электрической сети 50 Гц.

Фильтровать сигнал по ходу его преобразования в приемнике приходится несколько раз, но в этой главе рассматриваются конструкции низкочастотных каскадов и полосовых НЧ фильтров.

Основная фильтрация сигнала после детектирования должна осуществляться фильтрами нижних частот (ФНЧ). Международный стандарт устанавливает верхнюю граничную частоту телефонного канала 3400 Гц, что обеспечивает хорошую разборчивость речи. Улучшая помехоустойчивость и селективность приемников, любители довольствуются более узкой полосой с верхней граничной частотой 2700-3000 Гц.

Простейший ФНЧ, устанавливаемый на выходе детектора или последнего (телеграфного) смесителя приемника или трансивера, целесообразно выполнить на LC элементах по так называемой П-образной схеме (рис. 1.10).

По моему мнению, это самый эффективный из подобных фильтров, и может с успехом применяться даже в приемниках прямого преобразования.

Потери, вносимые фильтром, пренебрежимо малы, селективность его составляет 23 дБ на удвоенной частоте сигнала среза и 32 дБ на утроенной частоте этого сигнала. Для больших расстроек она равна 60 дБ на декаду (десятикратное увеличение частоты). Соотношения между элементами фильтра определяются формулами:

$C1 = C2 = 1/2\pi f_c R$, $L1 = R/\pi f_c$,

где f_c – частота среза. Сопротивлением R1 обычно служит входное сопротивление УНЧ. Значения L и C достаточно выдержать с точностью 10%, поэтому настройки фильтр не требует.

В.Т. Поляков в [5] рекомендует создавать небольшой подъем в области верхних частот звукового спектра. Он считает, что такой подъем полезен для улучшения разборчивости, поэтому целесообразно рассчитывать фильтр на сопротивление в 1,5-2 раза меньше реального нагрузочного. Типовые значения элементов для f_c = 3 кГц таковы: C1 = C2 = 0,05 мкФ, L1= 0,1Гн, R = 1-2 кОм. Катушка наматывается на кольцевом магнитопроводе К16×8×4 из феррита 2000НМ и содержит 260 витков любого подходящего изолированного провода. Торо-

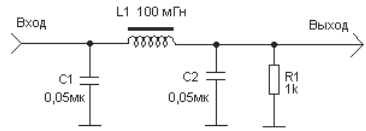


Рис. 1.10. Простейший ФНЧ

идальные катушки хороши тем, что мало подвержены посторонним магнитным наводкам и чаще всего не требуют экранировки.

Выполнить расчет любых элементов колебательного контура поможет вам программа INDUKTIW, которую вы можете получить в Интернете на сайте по адресу:

http://ra3xb.narod.ru/ .

Индуктивностью фильтра может служить и одна из обмоток миниатюрного трансформатора от портативных приемников, лучше всего подходит первичная обмотка выходного трансформатора.

Фильтровать частоты ниже 300-400 Гц обычно нет необходимости – эту роль выполняют разделительные конденсаторы в УНЧ, емкость которых выбирается из условия $C = 1/2\pi f_н R$, где $f_н$ – нижняя частота звукового спектра, R – входное сопротивление следующего за разделительным конденсатором каскада.

Если у вас в данный момент нет подходящего размера катушки индуктивности для изготовления фильтра, то отчаиваться не следует. Вместо катушки L1 (рис. 1.10) впаяйте резистор на 300-800 Ом. При этой замене фильтрация будет несколько хуже, но работоспособность приемника не пострадает. В некоторых случаях величину этого резистора можно увеличить до 3 кОм.

ВМЕСТО ЗАКЛЮЧЕНИЯ

В радиолюбительской практике применяется огромное количество самых разнообразных схем. Каждый из нас использует в своей практике те схемы, которые для него являются более удобными по имеющемуся набору деталей, или по каким-то иным, только ему понятным принципам. В этой книге я буду приводить те схемы, которые использую в своей практике. Кому-то они понравятся, кому-то нет. Мне совсем не думается, что выбранные мною схемы являются лучшими. Наверняка есть и более удобные схемы на современных радиокомпонентах. Ищите то, что вам будет по душе.

ГЛАВА 2.
БЛОКИ ДЕТЕКТОРОВ

Частотная модуляция и УКВ ЧМ детекторы 35

Традиционный ЧМ детектор – детектор отношений 37

И еще... 41

Простые ЧМ детекторы из любительской практики 41

Частотный детектор с обратной связью..... 42

УКВ приемник с ФАПЧ 45

Микросхемы для УКВ и связи с ЧМ 48

Применение микросхемы К174ХА34 (TDA7021) 48

Коротко о детекторах для SSB 50

Демодулятор для цифровой радиосвязи... 51

Что такое «модем»? 51

Демодулятор – часть модема 53

В качестве дополнения... 54

ЧАСТОТНАЯ МОДУЛЯЦИЯ И УКВ ЧМ ДЕТЕКТОРЫ

В последние годы, в связи с появлением во всем мире большого числа УКВ ретрансляторов и возможностью проводить на УКВ радиосвязь с использованием установленной на искусственных спутниках Земли (ИСЗ) УКВ аппаратуры, радиолюбителями очень большое внимание стало уделяться УКВ радиосвязи с использованием частотной модуляции (ЧМ).

Кратко рассмотрим некоторые из основных особенностей этого вида связи.

Радиолюбители всегда стремились к достижению высокого качества приема радиосигналов, которое позволяет полностью использовать возможности современной звуковоспроизводящей аппаратуры. Высокое качество необходимо в первую очередь для безошибочной и четкой работы цифровой приемной аппаратуры.

Радиоприемник на диапазонах длинных (ДВ), средних (СВ) и коротких (КВ) волн уже не может служить источником высококачественных сигналов. Действительно, частотный интервал между несущими различных радиостанций в диапазонах ДВ и СВ составляет 9 кГц, а на КВ – 5 кГц. Полоса воспроизводимых приемником звуковых частот не превосходит в этих условиях 3-4 кГц. Далее, прием в диапазонах с амплитудной модуляцией (АМ) в сильной степени подвержен влиянию помех естественного и искусственного происхождения и создает помехи соседним станциям. Даже при оптимальных условиях приема уровень шума, сопровождающего передачу, редко опускается ниже 40 дБ. Все это привело к тому, что для проведения высококачественных радиосвязей диапазоны ДВ, СВ и КВ в настоящее время практически не используются. Исключение составляет лишь проведение местных связей при ограниченной полосе звуковых частот. Исходя из приведенных соображений, наилучшие условия для радиосвязи могут обеспечить УКВ диапазоны.

Техника радиовещания на УКВ с частотной модуляцией (ЧМ) начала развиваться еще в 30-е годы прошлого столетия. При этом были обнаружены высокая помехоустойчивость и высокое качество сигнала при радиосвязях на УКВ с частотной модуляцией (ЧМ). Частотная модуляция относится к широкополосным видам модуляции, при которых излучаемая передатчиком полоса частот намного превышает полосу частот модулирующего, звукового сигнала. Происходит как бы «обмен» полосы на отношение сигнал—шум, которое может достигать на выходе ЧМ детектора от 70 до 80 дБ. В связи с этим максимальную девиацию частоты радиовещательных передатчиков устанавливают

равной 50 кГц (в Российской Федерации) или 75 кГц (в США). Полоса частот, занимаемая станцией в эфире, получается более 100 кГц, поэтому вещание и радиосвязь с ЧМ ведется только на УКВ. Ширина первого радиовещательного УКВ диапазона в РФ (65,8-73 МГц) втрое превосходит суммарную ширину участков, отведенных для радиовещания в диапазонах ДВ, СВ и КВ.

Радиус действия УКВ ЧМ передатчиков обычно не превосходит 70-100 км, так как ультракороткие волны слабо огибают земную поверхность, а также препятствия, встречающиеся на пути их распространения. Даже в зоне «радиовидимости» встречаются области глубокой «тени» со слабой напряженностью поля. Тем не менее УКВ радиовещание и радиосвязь полностью оправданы в городах и густонаселенных местностях, где построена густая сеть УКВ радиостанций или ретрансляторов. Эпизодически возможен и дальний прием УКВ станций, обусловленный отражением радиоволн в тропосфере от ионизированных слоев или другими причинами.

Одновременно с количественным развитием сети УКВ вещания и радиосвязи исторически происходил и качественный процесс – непрерывное совершенствование техники УКВ приема. Классическая структурная схема современного супергетеродинного приемника, включающая УВЧ, преобразователь частоты, УПЧ с большим коэффициентом усиления, ограничитель, частотный детектор (ЧД) и УНЧ, существует без заметных изменений и сегодня. Очень большие изменения произошли в элементной базе – лампы уступили место транзисторам, а затем и интегральным микросхемам.

Работающие в области УКВ связи промышленные фирмы и радиолюбители постоянно ведут работу по улучшению качества трансляции и помехоустойчивости приемников с ЧМ. Были значительно улучшены и усовершенствованы практически все из перечисленных элементов структурной схемы приемника. Были созданы малошумящие высокочастотные каскады с большим динамическим диапазоном, тракты ПЧ с монолитными пьезокерамическими фильтрами, УНЧ с большой выходной мощностью и пренебрежимо малыми частотными и нелинейными искажениями. В наименьшей степени этот процесс затронул «классический» частотный дискриминатор (ЧД) или детектор отношений.

Открытие принципа фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) явилось главным усовершенствованием техники УКВ ЧМ связи в последние годы. ФАПЧ позволила реализовать на практике большие

возможности техники синхронного приема, что стало обеспечивать надежную синхронизацию гетеродина приемника.

Система ФАПЧ включает фазовый детектор, фильтр нижних частот, усилитель и управляемый напряжением гетеродин. В процессе работы фазовый детектор вырабатывает сигнал ошибки слежения. Этот сигнал, пройдя через фильтр и усилитель, подстраивает частоту гетеродина под частоту сигнала до точного их совпадения. Если частота входного сигнала модулирована, то управляющее напряжение изменяется в такт с модуляцией, то есть является продетектированным сигналом.

В настоящее время системы ФАПЧ нашли применение в самых разных областях техники: в синтезаторах частоты для выделения нужной гармоники из сложного спектра, в различных следящих системах, в цепях синхронизации телевизионных приемников. Что касается систем связи, то выделение несущих, тактовых и синхронизирующих частот осуществляется чаще всего системами ФАПЧ.

Еще одним важным моментом в развитии любительской УКВ ЧМ радиосвязи стало применение синхронно-фазовых детекторов (СФД). Теоретическими работами было показано, что СФД в случае сравнительно узкополосных (типа радиовещательных) ЧМ сигналов практически реализуют потенциальную, то есть предельно возможную помехоустойчивость ЧМ приемника.

В радиолюбительских УКВ приемниках СФД, обладая высокой чувствительностью и селективностью, позволяет значительно упростить тракт ПЧ, а, как известно, многоконтурный тракт ПЧ является также источником заметных искажений сигнала. В ряде случае можно вообще отказаться от супергетеродинной схемы приемника и перейти к очень простой схеме приемника прямого преобразования. Принципы построения УКВ радиоприемников прямого преобразования подробно рассмотрены В. Т. Поляковым в его замечательной книге «Трансиверы прямого преобразования» [5]. Данная книга не ставит своей целью рассматривать принципы приемников прямого преобразования.

В этой книге очень кратко будет сказано и о других видах модуляции.

Традиционный ЧМ детектор – детектор отношений

Детектор ЧМ сигналов должен обладать высокой линейностью характеристики. На рис. 2.1 показана идеальная (штриховая линия) и реальная характеристики обычного детектора ЧМ сигналов. Характеристика представляет собой зависимость выходного напряжения от частоты входного сигнала.

Основными внешними факторами, ухудшающими качество принимаемых ЧМ сигналов, являются импульсные помехи от промышленных источников и сигналы с амплитудной модуляцией. Поэтому одним из основных требований детектирования ЧМ сигналов является обязательное наличие перед ЧМ детектором специального ограничителя амплитуды принимаемого сигнала.

Первым из наиболее удачных ЧМ детекторов был (и пока еще используется) так называемый *детектор отношений*. В некоторых источниках можно встретить для этого же детектора такие названия, как *дискриминатор* или *дробный детектор*.

Работа большинства детекторов ЧМ сигнала основана на преобразовании изменений частоты в изменения фазового сдвига. Детектор отношений, принципиальная электрическая схема которого представлена на рис. 2.2, как раз и работает по этому принципу. Схеме этого детектора уже много лет подряд отдают предпочтение из-за свойства подавлять в значительной степени амплитудную модуляцию (АМ) входного сигнала, а это значит, что использовать детектор отношений можно без установки предварительного ограничителя амплитуды. Кроме того, детектор отношений позволяет без особых затруднений получить напряжение АРУ.

Сигнал промежуточной частоты (ПЧ), усиленный каскадом усиления на транзисторе VT1, в детекторе отношений подается на двухконтурный полосовой фильтр L1C4 и L3C5, настроенный на среднюю частоту полосы пропускания тракта ПЧ. Благодаря индуктивной связи контуров напряжения на них сдвинуты по фазе на 90°. Катушка L2 сильно связана с первым контуром полосового фильтра, поэтому напряжение на ней находится в фазе с напряжением на контуре L1C4. Напряжения на катушках задействованных контуров (или, как их иногда называют, фазосдвигающем трансформаторе детектора) находятся

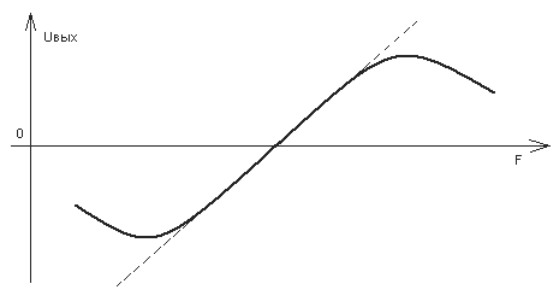


Рис. 2.1. Характеристика реального ЧМ детектора

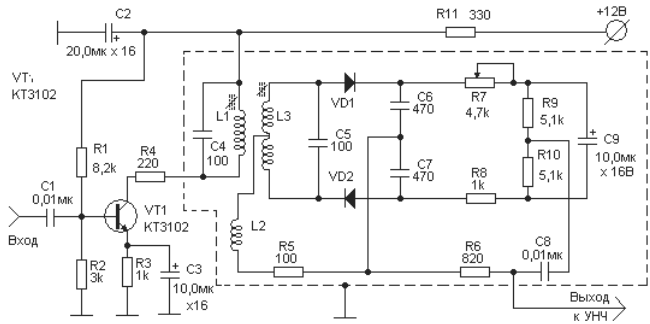


Рис. 2.2. Схема детектора отношений

в сложной зависимости друг от друга. При изменении частоты входного сигнала от среднего значения резонансной частоты сдвиг фаз между напряжениями на контурах L1C4 и L3C5 изменяется в соответствии с фазовой характеристикой вторичного контура L3C4.

К диодам детектора VD1 и VD2 подводятся высокочастотные напряжения, изменяющиеся при изменениях входной частоты. Поскольку диоды по отношению к выходу детектора включены навстречу друг другу, суммарное продетектированное напряжение оказывается пропорциональным разности высокочастотных напряжений, приложенных к диодам. В результате при равенстве частоты сигнала средней резонансной частоте контура L3C5 напряжение на выходе детектора равно нулю, а при отклонениях частоты появляется выходное напряжение той или другой полярности.

Сложная конструкция из резисторов R7 и R8, а также и конденсатора C9 создает цепочку автоматического смещения, поддерживающую на диодах VD1 и VD2 постоянное запирающее напряжение, пропорциональное амплитуде сигнала. При быстрых ее изменениях изменяется и шунтирующее действие диодов на контур L3C5, поскольку напряжение смещения из-за большой постоянной времени R7C6R8 не успевает следить за изменениями амплитуды сигнала. Таким образом достигается подавление амплитудной модуляции (АМ) на 20-25 дБ.

Детектор отношений может быть легко изготовлен и настроен в домашних условиях. На рис. 2.3 схематически показана конструкция контурных катушек фазовращающего трансформатора, применяющаяся в телевизионных приемниках для детектирования звуковых сигналов.

Катушка L1 наматывается виток к витку на пластмассовом каркасе, имеющем два подстроечных сердечника (деталь 1) с резьбой М4х0,75. Расстояние между этими катушками должно быть порядка 8-12мм. Катушка L3 имеет отвод ровно от середины. Катушка L2 наматывается сверху, на витки катушки L1. Изоляцией может служить полоска из бумаги. Для частоты 6,5МГц катушка L1 имеет 36 витков, катушка L3 – (18+18) витков, катушка L2 – 12 витков. Для намотки катушек можно использовать провод в эмалевой изоляции диаметром 0,15-0,2 мм. Намотка катушки L3 выполняется следующим образом.

1. Отмеряется кусок провода (с некоторым запасом), достаточный для намотки 18 витков на заданном каркасе. Отрезаются два таких куска.
2. Эти два одинаковых куска провода следует свить в жгутик и этот жгутик намотать на каркас виток к витку. Это будет катушка L3.
3. Омметром определить начало и конец провода №1 и провода №2.
4. Конец провода №1 соединить с началом провода №2 – это соединение будет представлять собой среднюю точку катушки L3. К началу провода №1 и концу провода №2 затем подсоединяется конденсатор С5 и диоды VD1 и VD2.

Концы каждой из катушек крепятся к каркасу несколькими витками капроновых ниток, после чего катушки следует покрыть лаком или клеем.

Чтобы подобный детектор использовать на другой частоте, количество витков следует пересчитать, используя принцип обратной про-

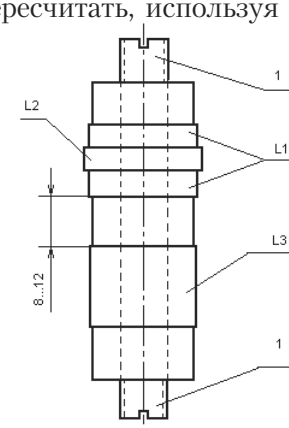


Рис. 2.3. Схематическое изображение конструкции катушек

порциональности. Но лучшим вариантом для определения параметров контурных катушек для любых диапазонов может служить компьютерная программа INDUKTIV. Эту программу можно загрузить в Интернете с моего сайта, расположенного по адресу: http://ra3xb.narod.ru .

И еще…

Работу детектора отношений (см. рис. 2.2) можно пояснить и несколько по-другому. Диоды детектора VD1 и VD2 совместно с симметричной контурной катушкой L3 образуют балансный смеситель, или фазовый детектор (ФД), на один диод которого подано напряжение с одной фазой, а на другой – с фазой противоположной. Как известно, балансный смеситель выполняет операцию перемножения входных сигналов, и его выходное напряжение оказывается зависящим от изменений частоты входящего сигнала. Если учесть, что при больших девиациях частоты выходное напряжение уменьшается в соответствии с амплитудно-частотной характеристикой контура, то получим характеристику детектора, линейную лишь при малых девиациях частоты.

ПРОСТЫЕ ЧМ ДЕТЕКТОРЫ ИЗ ЛЮБИТЕЛЬСКОЙ ПРАКТИКИ

Из приведенного выше описания принципа работы детектора отношений видно, что контур L1C4 (см. рис. 2.2) непосредственного участия в работе детектора не принимает и служит лишь источником входного сигнала. Это действительно так, и существует большое число схем детекторов ЧМ сигналов лишь с одним контуром, питаемых от низкоомного источника сигнала, например, апериодического усилителя или эмиттерного повторителя.

Преобразователем сигналов в частотном детекторе не обязательно должен быть фазовый детектор, выполненный на диодах. Хорошие результаты получаются и при использовании других элементов, например полевого транзистора. В двух схемах частотного детектора, показанных на рис. 2.4, входной сигнал подводится к стоку транзистора, а фазосдвигающий контур соединен с затвором. Контур L2C2 в первой схеме возбуждается через паразитную емкость сток-затвор, которая является междуэлектродной емкостью транзистора. В контуре L2C2 будут возникать колебания, сдвинутые по фазе на 90° по отношению к сигналу на входе. Коэффициент включения контура L1C1 на рис. 2.4а составляет примерно 0,2-0,3.

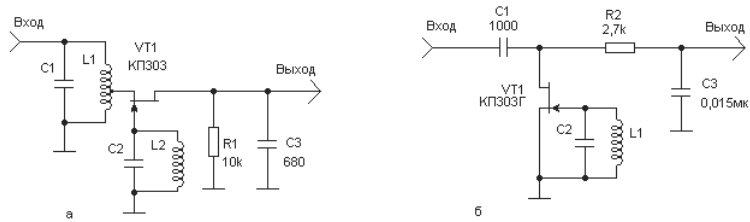


Рис. 2.4. ЧД на полевом транзисторе

В схеме на рис. 2.4б показан аналогичный детектор, но без контура L1C1 на входе. Коэффициент передачи этого варианта детектора будет несколько меньше из-за включения нагрузочного резистора R1. Если тот или иной из детекторов, схемы которых изображены на рис. 2.4, должен будет работать на низкой частоте, то емкости сток-затвор для нормальной работы детектора может быть недостаточно. При этом следует сток и затвор соединить конденсатором с емкостью 25-100 пФ.

Представленные на рис. 2.4 схемы обязательно должны иметь на входе ограничение сигнала.

Частотный детектор с обратной связью

Успешно решить вопрос уменьшения нелинейных искажений при частотном детектировании с одновременным некоторым увеличением помехоустойчивости можно путем применения обратной связи (ОС) по частоте в самом частотном детекторе. Частотно модулированный сигнал (ЧМ), проходя через тракт ПЧ, почти неизбежно приобретает сопутствующую амплитудную модуляцию.

Частотный детектор с ОС обладает рядом интересных особенностей. По сравнению с обычным ЧД увеличивается ширина дискриминационной характеристики и возрастает подавление АМ. На рис. 2.5 представлена принципиальная электрическая схема частотного детектора с обратной связью для частоты 10,7 МГц, подробно описанная в [6].

Управляющим элементом в детекторе служит полевой транзистор VT1. Через конденсатор C1 входное напряжение поступает к стоку транзистора VT1, а через конденсатор C2 – на фазосдвигающий контур L1VD2D3. Сдвинутое по фазе напряжение с контура поступает на затвор транзистора VT1 и изменяет его проводимость. Продетектированный сигнал после фильтрации элементами R1 и C3 подается на вход выходного усилителя на транзисторе VT2. Этот транзистор усиливает низкочастотный сигнал, часть которого через резистор R4 поступает на

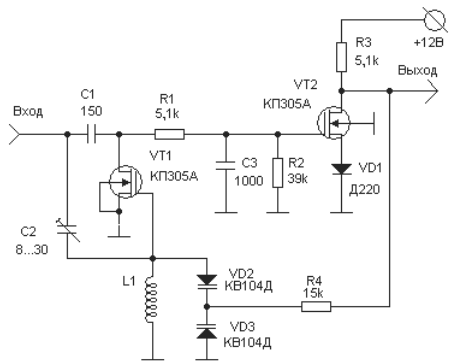


Рис. 2.5. Принципиальная схема ЧД с обратной связью

варикапы VD2 и VD3. Когда частота настройки контура равна частоте входного сигнала, то напряжения на стоке и затворе транзистора VT1 сдвинуты по фазе точно на 90°, и напряжение на выходе равно нулю. При отклонении частоты входного сигнала от частоты настройки контура сдвиг фазы меняется, и на выходе детектора появляется модулирующее напряжение.

При отсутствии ОС детектор имеет частотную характеристику, показанную на рис. 2.6а, а с ОС – на рис. 2.6б. В первом случае линейный участок амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) имеет протяженность 500 кГц, а во втором – 1,5 МГц.

У этого детектора есть одна особенность. При перемене полярности управляющего напряжения на варикапе ОС по частоте в детекторе из отрицательной превращается в положительную. Дискриминационная характеристика становится круче, а ширина ее уменьшается. Таким способом можно сконструировать ЧД на частоту, например 10,7 МГц с шириной дискриминационной характеристики 20 кГц. Это может найти применение в приемниках для связи с узкополосной ЧМ.

В детекторе желательно применить полевой транзистор с напряжением отсечки, близким к нулю. Этому условию удовлетворяют полевые транзисторы с изолированным затвором типа КП305Ж и КП305Д. В противном случае на затвор надо подать постоянное смещение и подобрать его так, чтобы сопротивление канала транзистора при отсутствии входного сигнала составляло не менее нескольких кОм. Практически смещение подбирается при работе детектора по максимуму его коэффициента передачи.

Продетектированный сигнал усиливается однокаскадным усилителем постоянного тока (УПТ), выполненным на транзисторе VD2.

Кремниевый диод VD1, установленный в цепи истока, служит для получения начального смещения рабочей точки транзистора около 0,3 В. Усиленный сигнал НЧ управляет емкостью варикапов фазосдвигающего контура, уменьшая расстройку последнего относительно мгновенной частоты сигнала. Одновременно управляющий сигнал является и выходным сигналом всего детектора.

Настройка детектора начинается с настройки контура L1VD2VD3 на частоту ПЧ 10,7 МГц. Это можно сделать, регулируя положение сердечника катушки L1 или изменяя в некоторых пределах напряжение питания транзистора VT2 или, наконец, изменяя сопротивление резистора R4. В двух последних случаях изменяется напряжение смещения на варикапах, а следовательно, и их емкость. Катушка намотана проводом ПЭЛШО 0,35 на каркасе без сердечника диаметром 8 мм и содержит 23 витка. Сначала, разорвав цепь между конденсатором С3 и резистором R2, присоединяют вольтметр (желательно с «нулем» в середине шкалы) параллельно конденсатору С3. Регулируя емкость подстроечного конденсатора С2 добиваются максимальной ширины и линейности характеристики собственно ЧД (без ОС), подавая на вход модулированный ЧМ сигнал. Затем восстанавливают соединение цепи и снимают характеристики детектора с ОС, тоже путем подачи на вход модулированного ЧМ сигнала.

Мною включено в книгу описание этого детектора в расчете на то, что эта схема заинтересует любителей экспериментов. Дело в том, что схема таит в себе большие возможности: используя ее, можно создать приемник с очень высокими параметрами. С аналогичными целями в следующем разделе привожу схему еще одного очень интересного варианта ЧМ детектора.

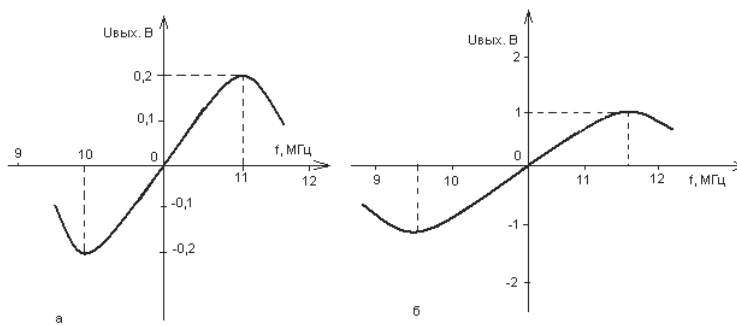


Рис. 2.6. Характеристики ЧМ детектора с ОС

УКВ приемник с ФАПЧ

Ниже приведено описание схемы простого УКВ ЧМ приемника, детектор которого построен на принципе Фазовой Автоподстройки Частоты (ФАПЧ). Применение методов ФАПЧ позволяет создать высокочувствительные ЧМ детекторы с очень хорошим качеством сигнала.

Данный приемник предлагается использовать в качестве высококачественного ЧМ детектора в самодельных супергетеродинных приемниках, а также его можно использовать как простой приемник для высококачественного приема местных УКВ вещательных радиостанций. Приемник можно оформить в виде приставки к имеющемуся УНЧ, проигрывателю или смонтировать его вместе с УНЧ и блоком питания в корпусе громкоговорителя. Приемник может работать с любым УНЧ, имеющим чувствительность не хуже 30 мВ, и входным сопротивлением не ниже 30 кОм. Чувствительность приемника с антенного входа достигает 100 мкВ, допустимый диапазон входных сигналов – 43 дБ. Потребляемый ток при напряжении питания 12В не превосходит 6 мА.

Принципиальная схема приемника, для варианта применения его в качестве домашней радиоточки, приведена на рис. 2.7. Сигнал, принимаемый антенной, выделяется входным контуром L1C3, настроенным на среднюю частоту диапазона 65,8-73 МГц, и усиливается апериодическим УВЧ, выполненным на транзисторе VT1.

Если схему использовать в качестве ЧМ детектора более сложного радиоприемника, то транзисторный каскад на VT1 должен быть последним каскадом усилителя ПЧ.

Идея создания этой схемы почерпнута мною из книги [6]. Из-за отсутствия примененных в первоисточнике микросхем пришлось попробовать применение самых доступных транзисторов. В итоге все получилось нормально, приемник даже на самых простых радиокомпонентах принимал местные УКВ станции с очень хорошим качеством.

Некоторые особенности схемы.

Применение в схеме приемника УВЧ уменьшает наводки гетеродинного напряжения на входную цепь и препятствует излучению сигнала гетеродина антенной. Это устраняет помехи другим радиовещательным или телевизионным приемникам. Усиленный в УВЧ входной сигнал поступает на базу токозадающего транзистора VT2. На дифференциальной паре транзисторов VT3 и VT4 собран двухтактный гетеродин, причем контур гетеродина включен между базами транзисторов, а ОС подается с коллекторов через конденсаторы небольшой

емкости С7 и С8. Гетеродин перестраивается в диапазоне 65,8-73 МГц варикапами VD1 и VD2. Функции органа настройки выполняет переменный резистор R14, который работает в цепи, состоящей из диодов VD3 и VD4, а также резистора R13 и конденсатора С12.

Дифференциальная пара транзисторов VT3 и VT4 является также одновременно балансным смесителем и усилителем постоянного тока (УПТ). Управляющий сигнал снимается с коллектора транзистора VT4 и через резистор R12 поступает на управляющий вход пары варикапов, замыкая таким образом петлю ФАПЧ.

В данном приемнике применена система ФАПЧ с интегрирующим фильтром, образованным резистором R12 и емкостью пары варикапов, включенных для постоянного тока параллельно. Частота среза этого фильтра достаточно высока (более 60 кГц), поэтому никаких проблем с устойчивостью петли не возникает. Более того, при сильных сигналах происходит непосредственный захват колебаний гетеродина сигналом, что уменьшает фазовый сдвиг в петле на высоких частотах и делает систему стабильной. Для облегчения прямого захвата сопротивления коллекторных нагрузок (R8 и R10) дифференциальной пары транзисторов выбраны разными. Поэтому оказываются разными коллекторные напряжения транзисторов и емкости их коллекторных переходов. Благодаря емкостной асимметрии входной сигнал попадает в контур гетеродина сдвинутым по фазе на 90°. При этом действие прямого захвата складывается с действием петли ФАПЧ, облегчая синхронизацию гетеродина.

Использованные в схеме радиодетали:

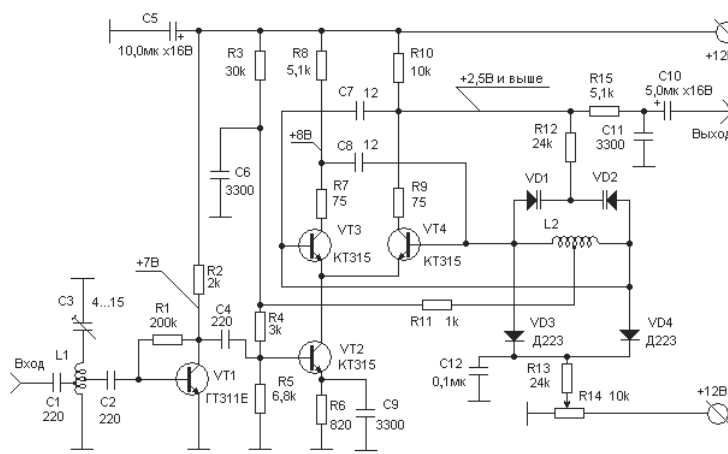


Рис. 2.7. Принципиальная схема УКВ приемника с ФАПЧ

- катушка L1 – содержит 7 витков провода ПЭЛ-0,6, намотана без каркаса на оправке диаметром 5 мм, длина намотки 15 мм;
- катушка L2 – содержит 10 витков провода ПЭЛ-0,8, намотана на каркасе диаметром 7 мм, без подстроечного сердечника, отвод от середины, длина катушки 18 мм;
- варикап КВС 111Б.

Все остальные детали – детали общего применения, без особенностей.

Налаживание приемника начинается с проверки режимов транзистора. На схеме указаны в трех местах величины напряжений, которые следует проверить. Если измененные значения напряжений отличаются от указанных на схеме более чем на 10-15 %, следует подобрать резисторы R1и R3. Затем, присоединив антенну, следует принять радиостанции УКВ диапазона и настроить контур гетеродина так, чтобы в диапазон настройки приемника попали все интересующие вас станции. Входной контур подстраивают конденсатором С3 (типа КПК-М) по наибольшей полосе удержания при приеме какой-либо станции. Уровень сигнала на входе при настройке должен быть малым, что достигается уменьшением связи с антенной.

Для того чтобы приемник хорошо и качественно работал, следует подобрать уровень сигналов на его входе. Это можно сделать, изменяя положение отвода катушки L1. При слабом сигнале на входе приемника полоса удержания получается недостаточной, а на пиках модуляции сигнала прослушиваются искажения в виде хрипов. Они вызваны перескоками фазы при срывах слежения во время максимальных отклонений частоты сигнала. При чрезмерно сильном сигнале на входе приемника возрастает уровень шума, а в промежутках между станциями эфир кажется «забитым» шумами и помехами. При входном сигнале свыше 15 мВ появляются искажения, вызванные прямым детектированием сигнала.

Транзисторы VT3 и VT4 по своим основным параметрам не должны отличаться один от другого более чем на 10 %. Коэффициенты передачи тока этих транзисторов могут быть в пределах 50-80, а транзистора VT2 – 80-120.

Опыт показал, что в качестве варикапов вполне можно использовать Д901Г или Д901Д, включенных точно так же, как показано на схеме.

Микросхемы для УКВ и связи с ЧМ

Фирмы, производящие радиокомпоненты, постоянно работают над обновлением состава и улучшением качества микросхем, предназначенных для УКВ радиосвязи, в том числе и с использованием частотной модуляции. Приведу только очень короткий перечень микросхем серии К174 и их аналогов, которые уже длительное время перестали быть дефицитом:

- К174УР3 (аналог ТВА 120) – имеет в своем составе усилитель-ограничитель, ЧМ-детектор, предварительный УНЧ, напряжение питания ($E_п$) равно 6 В;
- К174ХА5 (6) (TDA1047) – многофункциональная ИС для ЧМ тракта радиоприемника;
- К174ХА12 (NE561) – ИС фазовой автоподстройки частоты до 30 МГц;
- К174ХА20 (TDA200-2) – смеситель и гетеродин метрового диапазона волн с предусилителем сигнала ПЧ для селектора каналов;
- К174ХА26 (MC3359) – преобразователь частоты, УПЧ, ЧМ детектор, предварительный УНЧ и система бесшумной настройки;
- К174ХА34 (TDA7021) – радиоприемник для приема и обработки ЧМ сигналов, предварительный УНЧ, $E_п$ = 3 В.

Кроме этого незначительного перечня, существует огромное количество микросхем других производителей с подобными назначениями, масса микросхем для выполнения различного рода синтезаторов частот и много, много иных...

Далее я приведу описание приемного устройства, выполненного на микросхеме К174ХА34 (TDA7021).

Применение микросхемы К174ХА34 (TDA7021)

На этой микросхеме можно собрать УКВ ЧМ радиоприемник с отличным качеством сигнала, на который можно будет принимать не только местные, но и достаточно удаленные радиостанции. Но сначала я приведу пример того, как эту микросхему можно применить для создания не простейшего, а довольно сложного связного радиоприемника.

Принципиальная электрическая схема устройства, представляющего собой усилитель ПЧ, частотный детектор с ФАПЧ и предварительный усилитель НЧ, представлена на рис. 2.8.

Питание микросхемы осуществляется с помощью простого стабилизатора, выполненного на транзисторе VT1. В данном варианте применен стабилитрон из числа тех, что имелись на тот момент у автора. Главное заключается в том, чтобы подобрать резистор R2 такой величины, чтобы на этом резисторе был погашен весь избыток напряжения и чтобы на микросхему было подано не более +3,5 В.

Контур гетеродина включается между источником питания и выводом 5 микросхемы. К выводам 12 и 13 микросхемы через конденсаторы С8 и С9 подключается контур входного сигнала L2C5. На этот контур через катушку связи подается сигнал от предварительного усилителя промежуточной частоты.

Выход сигнала к усилителю низкой частоты производится от вывода 14 микросхемы через конденсатор С11 и переменный резистор R1.

В этом варианте катушка L1 имеет 8 витков провода ПЭЛ-0,5, намотана на каркасе диаметром 3 мм и имеет длину 9 мм. Катушка L2 имеет 8 витков провода ПЭЛ-0,5, намотана на каркасе диаметром 4 мм, длина катушки 10 мм. Катушка связи L3 имеет 3 витка провода ПЭЛ-0,3, намотана виток к витку поверх катушки L3 у заземленного конца.

Настройка устройства может быть выполнена следующим образом. Контур L2C5 отсоединить от конденсаторов С8 и С9. Свободный вывод конденсатора С9 соединить с корпусом, а через конденсатор С8 подать на вывод 12 микросхемы ЧМ сигнал необходимой частоты. Под-

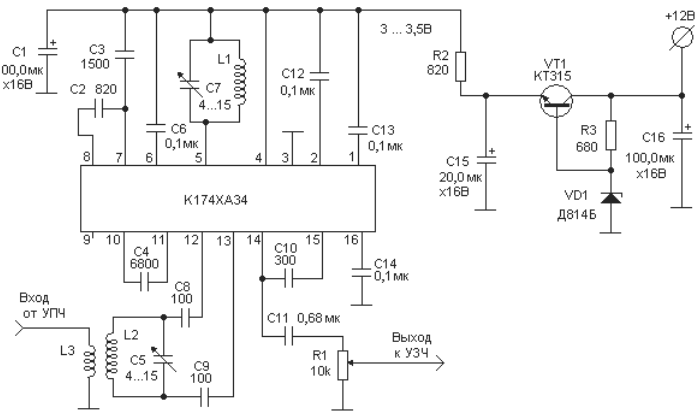


Рис. 2.8. Приемник на К174ХА34

стройкой конденсатором С7 следует добиться появления отдетектированного НЧ сигнала на выходе резистора R1. В случае необходимости нужно установить параллельно R1 дополнительный конденсатор или изменить число витков катушки L1.

После настройки контура гетеродина подключается входной контур L2C5 и настраивается по максимуму сигнала на выходе. При этом сигнал с нужной частотой подается на катушку L3 через конденсатор очень малой емкости.

Если рассматривать это устройство как полноценный УКВ радиоприемник, то этот приемник будет иметь следующие параметры:

- ❑ Напряжение питания, В.....3-3,5 стаб.;
- ❑ Чувствительность (не хуже), мкВ/м 5;
- ❑ Ток потребления при $U_{пит}$=9 В (не более), мА.....6;
- ❑ Возможные частоты КВ, МГц 60-120;
- ❑ Сопротивление нагрузки (не менее), Ом.....8;
- ❑ Напряжение на выходе, мВ 500;
- ❑ Отношение сигнал/шум (не менее), дБ ..... 40.

Коротко о детекторах для SSB

Однополосная радиосвязь (SSB) является уже длительное время основным видом любительской телефонной радиосвязи на коротких волнах (КВ). На УКВ однополосная связь применяется в тех случаях, когда нужно организовать канал безошибочной высокоскоростной цифровой связи.

Декодирование и прием сигналов SSB осуществляется специальными детекторами смесительного типа, в состав которых непременно должен входить так называемый «телеграфный гетеродин». Этот гетеродин представляет собой генератор электромагнитных колебаний, частота которых равна промежуточной частоте данного приемника.

На рис. 2.9 приведена одна из возможных схем линейного смесительного SSB детектора, выполненного на диодах по мостовой схеме.

На вход 1 детектора поступают сигналы с частотой ПЧ (например, 500 кГц), а на вход 2 подаются сигналы от гетеродина. На выходе получаем сигнал звуковой частоты отличного качества. Переменный резистор R4 служит для подавления остатков нежелательных продуктов смешивания сигналов, что способствует значительному улучшению качества сигнала. Конденсаторы С1 и С2 совместно с дросселем низ-

кой частоты Др1 составляют фильтр низких частот, что избавляет сигнал от нежелательных высоких частот.

На рис. 2.10 представлена еще одна из возможных схем детектора SSB сигнала. Смеситель выполнен на полевом транзисторе, а гетеродин – на цифровых микросхемах.

Усиленный транзистором VT1 сигнал промежуточной частоты выделяется в контуре L1C3. Далее через конденсатор C5 сигнал ПЧ попадает на сток транзистора VT2, к затвору которого поступают импульсы от кварцевого генератора, выполненного на цифровой микросхеме DD1. Прямоугольные импульсы положительной полярности, поступающие через конденсатор C7, открывают транзистор VT2, и происходит процесс детектирования сигналов ПЧ. Подобная схема применена в одном из вариантов трансивера В. В. Дроздова.

Существует большое количество различных схем для детекторов SSB, которые можно найти в литературе по любительской радиосвязи.

ДЕМОДУЛЯТОР ДЛЯ ЦИФРОВОЙ РАДИОСВЯЗИ

Что такое «модем»?

В течение последних двух десятилетий среди радиолюбителей большой популярностью стали пользоваться различные цифровые виды связи, в которых для получения из поступающего в приемник высокочастотного сигнала так же, как и в других видах связи, нужно выделить полезную информацию. Этот процесс выделения полезной информации в цифровых видах связи подобен детектированию, но происходит несколько иначе. Дело в том, что в цифровых видах связи сигнал промодулирован сразу двумя (или более) звуковыми частотами в опреде-

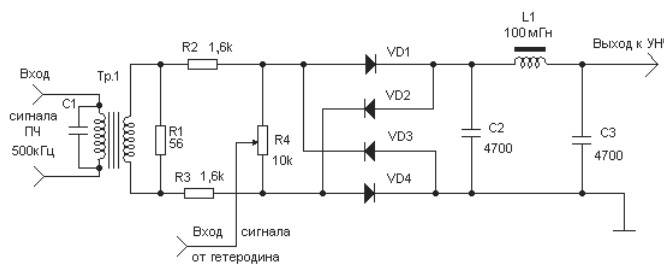


Рис. 2.9. Схема детектора для SSB

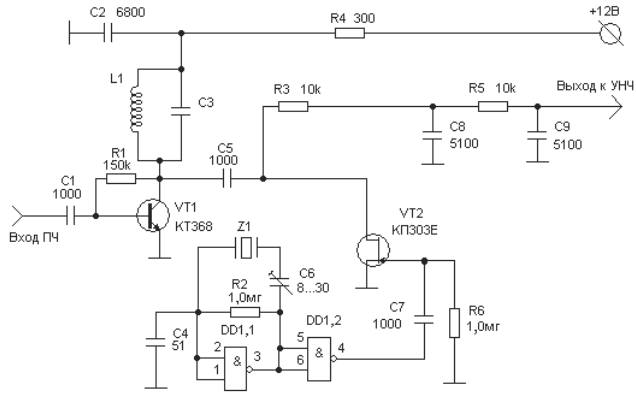


Рис. 2.10. Схема детектора на полевом транзисторе

ленной временной последовательности. Процесс выделения полезной информации в цифровых видах связи носит название *демодуляция*.

Некоторые виды цифровой радиосвязи используют для получения необходимой информации НЧ сигналы с выхода радиоприемника. В этих случаях на выход УНЧ радиоприемника подключается специальное устройство, называемое **модемом**. Слово «модем» по своему составу является сложным словом и состоит из двух составляющих – слова «модулятор» и «демодулятор».

В данном случае на выход радиоприемника подключается устройство, называемое *демодулятором*, который служит для преобразования звуковых (аналоговых) сигналов с выхода радиоприемника в цифровые сигналы, которые проходят дальнейшую обработку в компьютере, в результате чего превращаются либо в текстовую информацию в виде строк текста, либо в информацию графическую – картинки.

Описание конструкции и схемы модема MODEM22 можно найти в моей книге «Компьютер на любительской радиостанции» [7] или в Интернет на сайте http://ra3xb.narod.ru .

Многочисленные тесты модема MODEM22 и его аналогов показали, что этот модем является на сегодняшний день ЛУЧШИМ среди других любительских разработок, превосходит во много раз известные мне любительские модемы, выполненные с применением детекторов на микросхемах 564ГГ1 и 155АГ1, по качеству приема сигналов и по простоте настройки.

Чтобы уяснить роль демодулятора в работе системы цифровой связи, рассмотрим рис. 2.11.

На рис. 2.11 представлена блок-схема модема, все детали различных узлов модема рассчитаны на его работу со средней частотой около 1100 Гц. Модем работает на звуковых (аудио) частотах и совмещает в себе две основные составные части — передающую часть (модулятор) и приемную часть (демодулятор). Модулятор, в свою очередь, включает в себя устройство для включения и выключения передатчика и собственно модулятор – устройство для подачи на варикап задающего генератора радиопередатчика с частотной модуляцией (либо на микрофонный вход SSB передатчика) посылок от тонального генератора (U1). Демодулятор включает в себя полосовой фильтр на операционных усилителях (U2), специальный частотный детектор (U3) и выходной узел (U4). Предполагается изготовление каждого из узлов модема на отдельной плате, что позволит в дальнейшем безболезненно заменять неудачно выполненные узлы.

Демодулятор – часть модема

Поскольку в этой главе книги мы рассматриваем блоки детектора, то есть устройства декодирующие, то ограничимся пока очень кратким обзором работы демодулятора. Принципы работы модулятора будут рассмотрены в главе 7 при знакомстве с устройствами, управляющими частотой задающего генератора.

Итак, на вход демодулятора (напоминаю, что мы рассматриваем работу демодулятора, входящего в состав модема MODEM22) подается сигнал с выхода УНЧ радиоприемника. Внутри демодулятора сигнал разветвляется на два фильтра, каждый из которых носит название «канал А» и «канал Б» и выделяет одну из необходимых звуковых частот. Для вида цифровой связи, который называется «телетайпом» (радиолюбительское обозначение RTTY), нужны две рабочие звуковые частоты, отличающиеся одна от другой на величину 170 Гц. Предположим, что в нашем случае один из фильтров настроен на частоту 1200 Гц, а второй – на частоту 1030 Гц. Сами величины частот могут быть и другими, но разница между ними должна составлять ровно 170 Гц.

На рис. 2.12 показана схема разделения сигнала на два отдельных канала (фильтра).

На рис. 2.13 показана принципиальная электрическая схема одного из фильтров. Каждый из фильтров состоит из двух каскадов на операционных усилителях К140УД6.

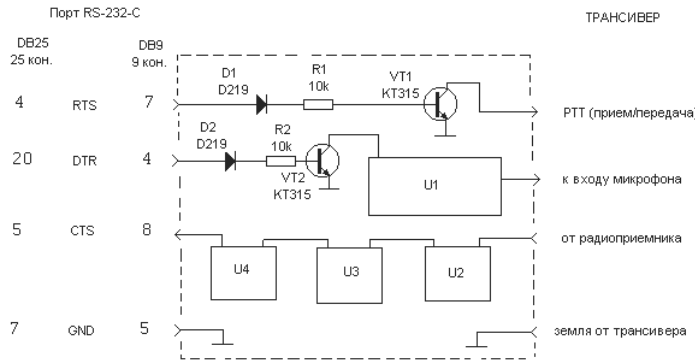


Рис. 2.11. Блок-схема модема

С выхода каждого из фильтров сигнал поступает на соответствующие входы детекторного каскада, схема которого изображена на рис. 2.14. Детектирование сигналов выполняется диодными мостиками, каскады на транзисторах управляют свечением индикаторов. Назначение детектора – превратить аналоговый (звуковой) сигнал в сигнал *цифровой*.

Детектор имеет два выхода, сигналы с которых поступают на соответствующие входы выходного устройства, схема которого изображена на рис. 2.15.

Устройство, схема которого изображена на рис. 2.15, усиливает продетектированный сигнал и подает его на последовательный порт RS-232 компьютера. Всю дальнейшую работу с цифровым сигналом выполняет компьютер.

Подробнее о всех видах любительской цифровой радиосвязи смотрите в книге [7] или в Интернет на сайте http://ra3xb.narod.ru .

В качестве дополнения…

В этой главе неоднократно упоминалось о том, что частотный детектор (ЧМ) очень часто требует ограничения по амплитуде поступающего на этот детектор сигнала ПЧ. Я специально не стал уделять много внимания теме ограничителей амплитуды, потому что современные микросхемы, в составе которых имеется ЧМ детектор, уже имеют встроенные ограничители.

Но могут возникнуть ситуации, когда ограничение амплитуды может потребоваться малоопытному читателю. Ведь для демодулятора

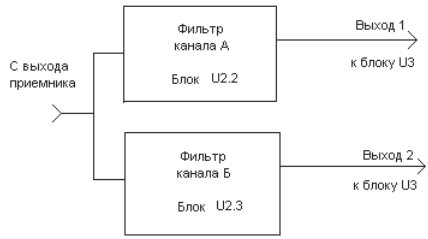


Рис. 2.12. Схема разделения сигнала на два канала

цифровой связи тоже зачастую бывает нужен ограничитель амплитуды сигнала. Поэтому далее предлагаю две простейшие схемы амплитудных ограничителей, которые изображены на рис. 2.16 и 2.17.

Простейший ограничитель можно использовать на выходе УНЧ радиоприемника, перед модемом для цифровой связи. В некоторых случаях, при большом уровне помех импульсного характера, это подключение может дать хорошие результаты.

Динамический ограничитель амплитуды можно подключать на входе перед ЧМ детектором или между отдельными (последними) каскадами усиления ПЧ.

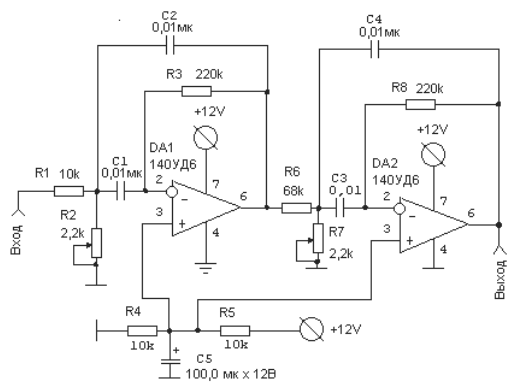


Рис. 2.13. Принципиальная электрическая схема полосового фильтра одного из каналов

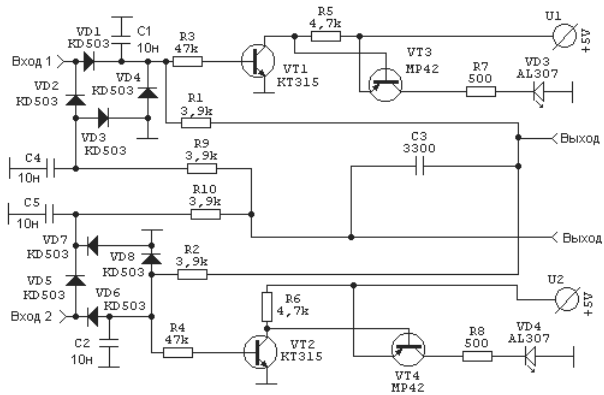


Рис. 2.14. Схема детектора

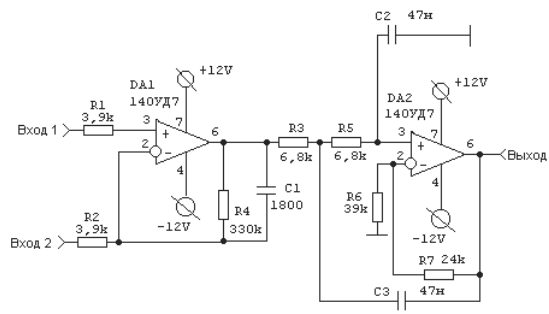


Рис. 2.15. Принципиальная схема выходного согласующего устройства

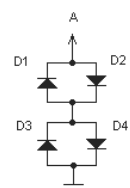


Рис. 2.16. Простейший ограничитель амплитуды

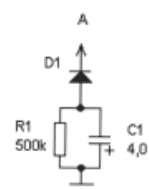


Рис. 2.17. Динамический ограничитель

ГЛАВА 3.
БЛОКИ УСИЛИТЕЛЕЙ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ЧАСТОТЫ

Вместо предисловия 58

Фильтры для промежуточной частоты 58

Многоконтурный фильтр сосредоточенной селекции 58

Фильтр с положительной обратной связью 60

Узкополосые усилители промежуточной частоты 62

УПЧ на КП350 62

УПЧ по каскодной схеме 63

Широкополосные УПЧ 63

УПЧ – вариант 1 63

УПЧ – вариант 2 65

УПЧ – вариант 3 65

ВМЕСТО ПРЕДИСЛОВИЯ

В этой главе будут рассмотрены некоторые из часто употребляемых радиолюбителями схем Усилителей Промежуточной Частоты (УПЧ). УПЧ и усилители высокой частоты бытовых радиовещательных приемников обязательно снабжены системой Автоматической Регулировки Усиления (АРУ). В связных приемниках АРУ также имеется, но операторы довольно часто предпочитают работать с выключенной АРУ. Например, при приеме сигналов цифровых видов связи мною АРУ всегда отключается . Так бывает меньше сбоев.

Цепи АРУ частично усложняют схему усилителя, что может создавать трудности малоопытному читателю. После приобретения читателем определенного опыта в создании простых конструкций радиоприемников ввести в эту аппаратуру цепочки АРУ никакого труда не составит.

Исходя из этих рассуждений, я не буду в приводимых схемах УПЧ и УВЧ показывать цепочки АРУ.

Да простит меня многоопытный читатель!

ФИЛЬТРЫ ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ЧАСТОТЫ

Промежуточная частота (ПЧ), об усилении которой пойдет речь в этой главе, создается в результате смешивания двух высокочастотных сигналов. Как известно, на выходе смесителя любого типа присутствуют сразу четыре сигнала, одним из которых является необходимый для нашей дальнейшей обработки сигнал ПЧ. Чтобы выделить этот полезный сигнал и ослабить остальные три сигнала, необходимо специальное устройство, называемое фильтром. В данном случае речь идет о фильтрации сигналов ПЧ.

Многоконтурный фильтр сосредоточенной селекции

Существует большое разнообразие фильтров, используемых в качестве фильтров ПЧ. В однополосных связных приемниках для фильтрации сигналов ПЧ применяют или Электромеханические Фильтры (ЭМФ), или различной степени сложности кварцевые фильтры. В более простых конструкциях, где не требуется очень узкая полоса пропускания такого фильтра, используются фильтры из обычных LC контуров. Такие фильтры могут быть *одноконтурными* либо *многоконтурными*. Из этих названий понятно, что одноконтурный фильтр состоит из *одного* LC колебательного контура, настроенного на заданную частоту ПЧ, что двухконтурный фильтр состоит из двух LC кон-

туров, связанных между собой либо индуктивной, либо емкостной связью. И так далее. Фильтры, состоящие из нескольких связанных между собой контуров, носят названия Фильтров Сосредоточенной Селекции (ФСС).

На рис. 3.1 изображена принципиальная электрическая схема, в которой имеется смеситель и трехконтурный ФСС.

Смеситель выполнен на полевом транзисторе VT1. На затвор транзистора через конденсатор С1 поступает принятый антенной и усиленный сигнал, а на исток подается сигнал от гетеродина. На резисторе R2, находящемся в стоке транзистора, присутствуют все четыре, полученные в результате смешения, сигнала.

Детали этой схемы могут иметь следующие значения.

Катушка L1 имеет параметры, соответствующие частоте примененного гетеродина. Контурные катушки L2, L3 и L4 одинаковые, намотаны на оправке диаметром 8 мм. Каждая из катушек имеет 7 витков провода ПЭЛ-0,9, длина катушки – 20 мм.

Конденсаторы С6, С8 и С10 – подстроечные, типа КПК, емкостью 8-30 пФ.

Расстояние между экранирующими перегородками – 18 мм.

С такими параметрами элементов фильтр может перестраиваться в полосе частот примерно 60-130 МГц.

Многоконтурные ФСС позволяют создать нужную для работы аппарата ширину полосы пропускания фильтра. Заданная ширина полосы достигается путем взаимной расстройки контуров фильтра и изменением величин емкостных связей между контурами. В радиолюбительских журналах бывает много статей на тему настройки ФСС, поэтому я не буду останавливаться на этом процессе.

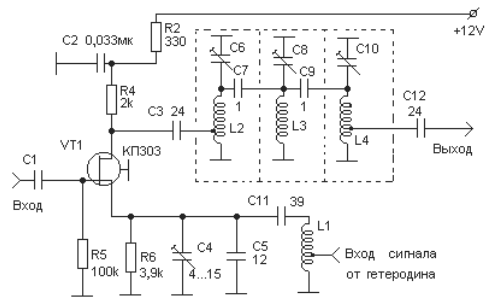


Рис. 3.1. ВЧ смеситель и ФСС

Фильтр с положительной обратной связью

Фильтр с положительной обратной связью (ОС) может обеспечить довольно узкую полосу пропускания без применения кварцевых резонаторов и ЭМФ. При этом такой фильтр может перестраиваться по частоте, подстраиваться исходя из условия наилучшего приема сигналов. Это исключительно важно при приеме слабых сигналов в условиях помех. На рис. 3.2 изображена принципиальная схема одного из вариантов такого фильтра.

В основе фильтра (рис. 3.2) лежит разработанная мною несколько лет тому назад схема усилителя высокой частоты с положительной обратной связью (так называемый Q-умножитель), предназначенная для работы в качестве преселектора связных радиоприемников старого типа. Преселектор оказался исключительно удачной конструкцией и широко применяется радиолюбителями.

Принцип работы устройства следующий.

Транзистор VT1 выполняет роль смесителя (аналогично предыдущей схеме), в стоке которого на резисторе R4 выделяются все четыре частоты, образовавшиеся при смешении входного сигнала и сигнала гетеродина. Через конденсатор С3 очень маленькой емкости (величина емкости подбирается при настройке) сигналы с R4 поступают на контур L2C6, настроенный на необходимую нам ПЧ. Через переменный резистор R6 катушка контура L2 связана *положительной* обратной связью с истоком транзистора VT2. Величина этой положительной связи регулируется резистором R6. Таким образом, контур L2C6

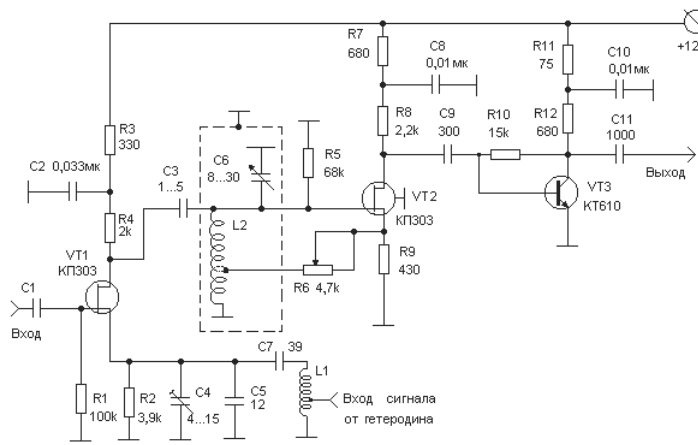


Рис. 3.2. Фильтр ПЧ с положительной ОС

совместно с транзистором VT2 является усилителем с Положительной Обратной Связью (ПОС). При увеличении ПОС усиление каскада увеличивается и одновременно значительно увеличивается *добротность* контура L2C6. Если величина положительной обратной связи превысит определенную «пороговую» величину, то усилитель превратится в генератор и станет генерировать частоту, на которую настроен в данный момент контур L2C6.

При максимальной величине сопротивления R6 величина обратной связи малая и увеличивается при уменьшении сопротивления резистора R6.

Непременное условие – *резистор R6 должен быть безындукционным*, то есть непроволочным.

Отвод в катушке L2 должен быть примерно от 1/3 числа витков, считая от заземленного конца. Но при применении этого фильтра на частотах порядка 100 МГц точку подключения отвода придется приближать к середине катушки.

Число витков L2 выбирается исходя из заданной величины ПЧ и может быть определено с помощью программы INDUKTIW или по таблицам, имеющимся в [7] и [8].

Транзистор VT3 играет роль обыкновенного апериодического усилителя, в образовании ПОС не участвует и может быть заменен любым, более для вас удобным.

Настройка фильтра очень простая и начинается с того, что контур L2C6 настраивается на заданную частоту ПЧ. При этом движок резистора R6 должен находиться в крайнем правом (по схеме) положении, то есть этот резистор должен иметь максимально возможную для него величину сопротивления. Затем на входы смесителя следует подать исходный сигнал и сигнал от гетеродина, после чего конденсатором C6 подстроить контур L2C6 на максимальное значение ПЧ. При перемещении движка резистора R6 влево должно наблюдаться усиление сигнала до определенной (максимальной) величины, после чего сигнал резко пропадает и вместо него слышны довольно сильные шумы. Это говорит о том, что увеличивающаяся положительная обратная связь перешла порог генерации и усилитель на VT2 стал работать генератором. Следует заметить положение движка резистора R6, соответствующее порогу начала генерации, и не переходить его.

Если при перемещении движка резистора R6 генерация не возникает даже при нулевой емкости R6, то следует:

1. попробовать перенести отвод на катушке L2 выше (по схеме), то есть ближе к середине катушки;

2. отсоединить резистор R9 от земли и в точку разрыва включить высокочастотный дроссель, который может представлять из себя катушку из провода ПЭЛ-0,3 длиной 150 мм, навитую на каркасе 3-4мм;
3. если при перемещении движка резистора R6 нет никакого изменения сигнала, то следует заменить транзистор VT2.

УЗКОПОЛОСЫЕ УСИЛИТЕЛИ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ЧАСТОТЫ

УПЧ на КП350

В коротковолновых любительских радиоприемниках уже давно принято последний УПЧ (после ЭМФ или кварцевого фильтра) выполнять на двухзатворных полевых транзисторах типа КП350. Считается, что один каскад на таком транзисторе может создать усиление, которое получается при двух каскадах усиления на биполярных транзисторах. На рис. 3.3 показана схема двухкаскадного УПЧ, выполненная на двухзатворных полевых транзисторах.

Схема почти полностью соответствует второму УПЧ, опубликованному в [17].

Сигнал от ЭМФ через конденсатор С1 подается на первый затвор транзистора VT1. Контуры L1C5 и L2C10 включены полностью в

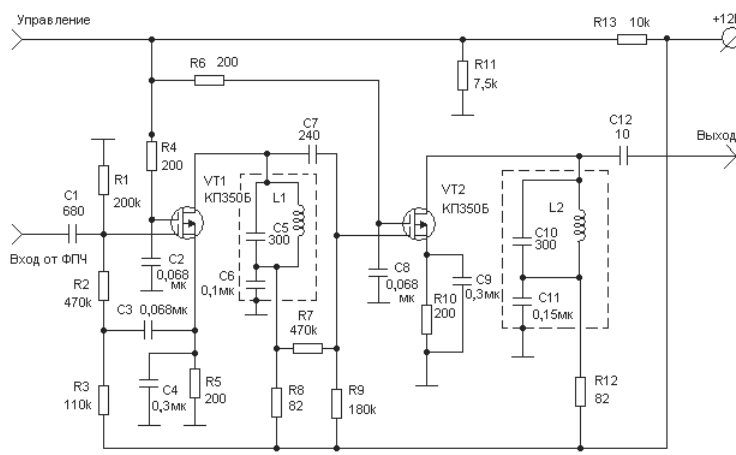


Рис. 3.3. УПЧ на двух КП350

цепи стоков соответствующих транзисторов. На вход «Управление» можно подавать напряжение, которое может регулировать усиление УПЧ. Сюда же (впоследствии) можно будет включить и цепочку АРУ.

Усиление этого УПЧ зависит от свойств задействованных транзисторов, поэтому приводить какие-то значения не имеет смысла. Но многие радиолюбители считают эту схему УПЧ лучшей.

УПЧ по каскодной схеме

На рис. 3.4 показана принципиальная электрическая схема каскодного УПЧ. Собственно усилитель работает на транзисторах VT1 и VT2, а транзистор VT3 служит для регулировки усиления каскада. Все три транзистора включены последовательно по постоянному току.

Сигнал подается через конденсатор C1 на базу транзистора VT1, который включен по схеме ОЭ и имеет в истоке регулирующий транзистор VT3. Большая величина выходного сопротивления каскодного каскада позволяет включать контур L1C4 полностью в цепь коллектора VT2. Выходное напряжение для низкоомной нагрузки снимается с выхода 1, а для высокоомной нагрузки – с выхода 2.

При величине ПЧ порядка 6 МГц можно рассчитывать на усиление этого усилителя по напряжению порядка 1000 раз. При этом катушка L1 имеет индуктивность порядка 8 мкГн, диаметр каркаса 7 мм (с сердечником СЦР-1), число витков 36. Катушка L2 имеет 9 витков и намотана у заземленного по ВЧ конца катушки L1.

Для создания нормального усиления по ВЧ следует к этому усилителю добавить еще точно такой же, но без транзистора VT3.

ШИРОКОПОЛОСНЫЕ УПЧ

УПЧ – вариант 1

УПЧ1 – так условно назвал я один из вариантов широкополосных усилителей промежуточной частоты, встречающийся в любительской практике. Схема этого варианта УПЧ представлена на рис. 3.5.

Трехкаскадный УПЧ по этой схеме дает усиление по напряжению около 70 дБ, в зависимости от параметров примененных транзисторов. Схема не имеет каких-либо особенностей. Все транзисторные каскады включены по схеме с общим эмиттером. Усиление УПЧ уве-

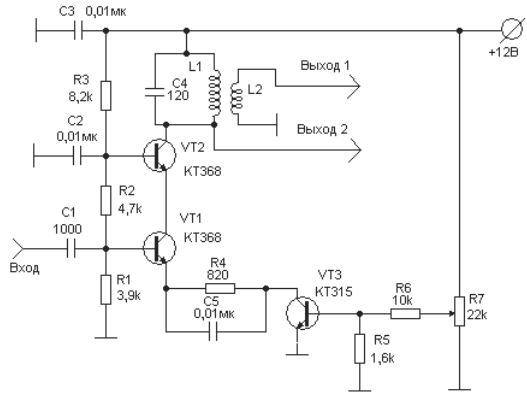


Рис. 3.4. Каскодный УПЧ

личивается при уменьшении величины резистора R5. Значительное увеличение усиления может привести к самовозбуждению усилителя. Нужно быть внимательным при настройке и без необходимости величину R5 не изменять.

УПЧ по этой схеме может применяться в большом диапазоне промежуточных частот. Для работы на более высоких частотах усиление будет падать и придется подбирать более высокочастотные транзисторы.

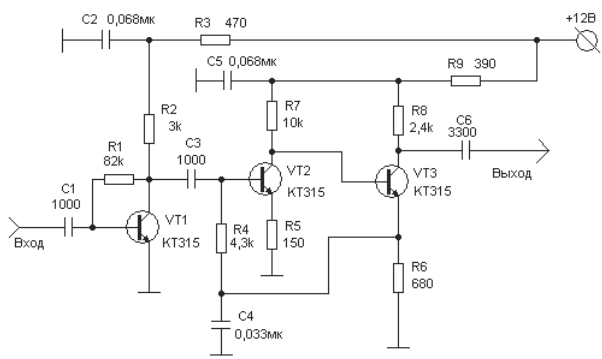


Рис. 3.5. Схема УПЧ – вариант 1

УПЧ – вариант 2

Схема еще одного из вариантов широкополосного УПЧ представлена на рис. 3.6.

Схема УПЧ этого варианта может обеспечить чуть большее усиление по сравнению с усилением УПЧ по схеме варианта 1.

В первом каскаде усилителя транзисторы VT1 и VT2 включены по каскодной последовательной схеме типа ОЭ–ОБ (общий эмиттер–общая база). Это классическая каскодная схема. Транзисторы VT3 и VT4 тоже включены по каскодной схеме, но здесь применена уже схема типа ОК–ОБ (общий коллектор–общая база). Связь между двумя каскодными каскадами непосредственная (без переходного конденсатора). Транзистор VT4 будет работать в режиме усилителя-ограничителя, если в его коллекторную цепь последовательно с резистором R10 вместо резистора R13 включить катушку L1 детектора отношений (см. рис. 2.2). На рис. 3.2 эта катушка обозначена как L.

УПЧ – вариант 3

На рис. 3.7 представлен еще один из вариантов широкополосного усилителя. Схему этого УПЧ я взял от телевизионного приемника «Темп-738».

Эта схема заинтересовала меня несколько необычными режимами работы транзисторов. Контур L3C – это контур от детектора отношений. Телевизионный приемник с этим УПЧ работал у меня долго и с хорошим качеством звука.

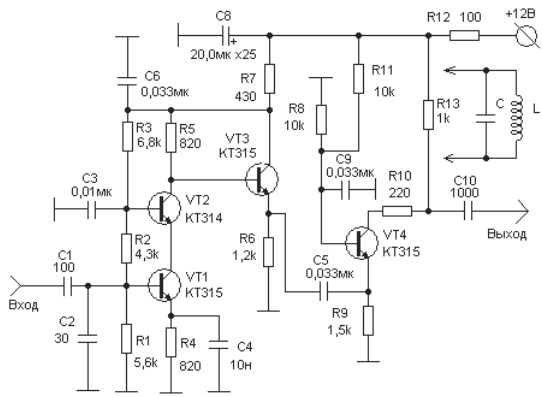


Рис. 3.6. Схема УПЧ – вариант 2

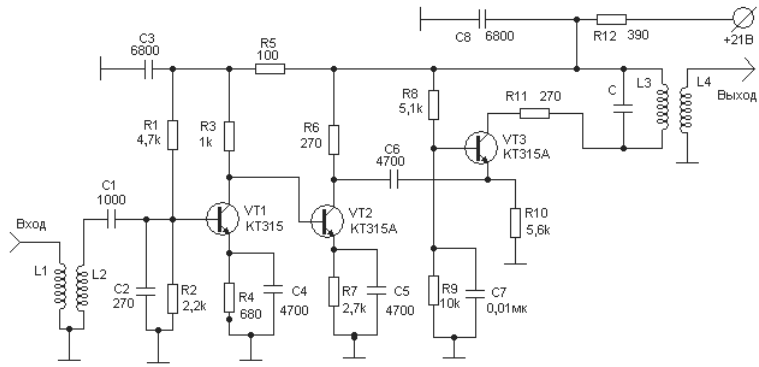


Рис. 3.7. Схема УПЧ звукового сопровождения бытового телевизора

ГЛАВА 4.
СМЕСИТЕЛИ ВЫСОКИХ ЧАСТОТ

Требования к смесителям 68

Смесители на транзисторах 70

Простые смесители на транзисторах 70

Смеситель с отдельным гетеродином 70

Смеситель на двухзатворном полевом транзисторе 71

Смеситель совмещен с гетеродином 71

Балансные смесители на транзисторах 74

Смесители на диодах 76

Балансные смесители 76

Смесители на встречно-параллельных диодах 78

Смеситель на СВЧ диоде 81

Смесители на микросхемах 82

Микросхема К174ПС4 83

Микросхема К174ПС1 84

ТРЕБОВАНИЯ К СМЕСИТЕЛЯМ

Параметры приемной части любого радиоприемника во многом зависят от смесителя, расположенного сразу же после усилителя поступающих от антенны сигналов. Смеситель должен иметь:

- ❑ высокий коэффициент передачи;
- ❑ малый уровень шума (для повышения чувствительности);
- ❑ также смеситель должен хорошо подавлять мешающие сигналы мощных радиостанций, то есть не детектировать их (для повышения помехоустойчивости).

Кроме этих основных требований имеются специальные требования, предъявляемые к смесителям связных КВ приемников, – это достаточно высокий коэффициент передачи и малый уровень собственных шумов при *большом динамическом диапазоне*.

В настоящее время широко применяют два типа смесителей:

- ❑ на активных элементах (транзисторах), позволяющие получить усиление сигнала при преобразовании;
- ❑ на пассивных элементах (чаще всего полупроводниковых диодах), коэффициент передачи которых меньше единицы.

Широкое применение находят так называемые балансные смесители, представляющие собой обычно симметричные мостовые схемы, в которых можно осуществить подавление нежелательных продуктов смешивания двух сигналов. В балансных смесителях применяют высокочастотные диоды или мощные полевые транзисторы, допускающие большие уровни входных сигналов и колебаний гетеродина.

Многие разработчики схем радиоприемников широко применяют двойные балансные смесители, то есть смесители, балансные не только по отношению к колебаниям гетеродина, но и к входному сигналу. Иными словами, эти типы смесителей позволяют на выходе иметь ослабленные сигналы и гетеродина, и входные сигналы. То есть они обеспечивают на выходе меньший уровень побочных продуктов преобразования по сравнению с обычными балансными смесителями. В двойных балансных смесителях желательно использовать диоды Шоттки (например, типа АД112А, КД514). Основное преимущество диодов Шоттки по сравнению с обычными на p-n-переходах – это большое отношение обратного сопротивления к прямому и незначительная емкость при нулевом смещении. Благодаря этому диоды Шоттки имеют очень малое время переключения и, следовательно, широкий частотный диапазон (до 300 ГГц). На частотах до 20-30 МГц

достаточно хорошими преобразовательными свойствами обладают и обычные высокочастотные кремниевые диоды, например типа КД503, и германиевые типа ГД508.

При конструировании приемников со смесителями на диодах следует принимать во внимание, что сигнал ПЧ по уровню меньше входного сигнала на величину потерь в смесителе (на 6-10 дБ).

Коэффициент преобразования смесителя любой конструкции в значительной мере зависит от согласования сопротивлений его входов и особенно согласования выхода от смесителя с сопротивлением подключенных к этому выходу каскадов в широкой полосе частот. Рассогласование приводит к уменьшению коэффициента преобразования и увеличению шумов смесителя. Кроме того, снижается на 6-10 дБ динамический диапазон смесителя.

Согласование сопротивлений в широкой полосе частот является сложной задачей, поскольку высокоизбирательные фильтры, включаемые обычно после преобразователей, обладают большой частотной неравномерностью входного сопротивления. Для улучшения условий работы диодного смесителя между ним и фильтром часто включают малошумящий усилитель на полевом транзисторе, включенном по схеме с общим затвором и работающем при токе канала, обеспечивающем требуемое входное сопротивление.

При разработке приемника или трансивера часто возникает вопрос: какой использовать смеситель – активный или пассивный? Многие радиолюбители считают, что наличие усиления у активных смесителей является решающим фактором. На самом деле это не всегда так. Динамический диапазон приемника с пассивным смесителем зачастую бывает больше, чем у приемника с активным смесителем.

Следует иметь в виду, что каскад, следующий за смесителем, должен иметь низкий коэффициент шума. Это очень важно для реализации преимуществ пассивного смесителя.

И еще. Уделять внимание созданию большого динамического диапазона стоит только тогда, когда радиоприемник предназначается для работы с соседними мощными радиостанциями. Если радиоприемник будет работать в небольшом городке или в сельской местности, то величина динамического диапазона этого приемника вас нисколько не должна беспокоить.

СМЕСИТЕЛИ НА ТРАНЗИСТОРАХ

Простые смесители на транзисторах

В главе 3 на рис. 3.1 и 3.2 вы уже встречали смеситель, выполненный на полевом транзисторе КП303. Достоинства этого смесителя заключаются в простоте его схемы, в малых шумах, а также большое значение во многих случаях имеет его высокое входное сопротивление.

Смеситель с отдельным гетеродином

На рис. 4.1 приведена схема простого конвертера, в котором смеситель выполнен на биполярном высокочастотном транзисторе. Эта схема приведена здесь мною только в учебных целях, как один из возможных вариантов исполнения смесителя на Сверхвысоких Частотах (СВЧ). Схема значительно упрощена. Желающим познакомиться с практическими вариантами схем, в которых используются подобные смесители, предлагаю посетить в Интернете сайт по адресу http://www.shustikov.by.ru/

На транзисторе VT1 выполнен УВЧ, сигнал от которого через конденсатор С4 поступает на базу транзистора VT2, который работает в режиме смесителя. Режим работы этого транзистора задается переменным резистором R8. На транзисторе VT3 выполнен гетеродин.

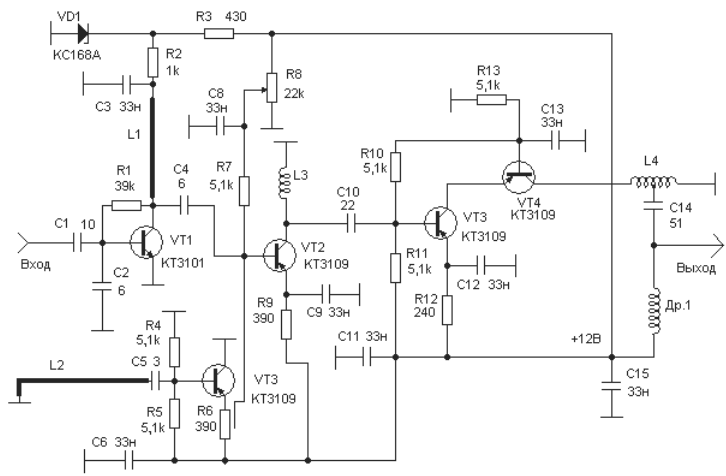


Рис. 4.1. Применение смесителя на биполярном ВЧ транзисторе

Частота гетеродина зависит от длины полосковой линии L2. Сигнал от гетеродина подается на базу смесителя через конденсатор очень маленькой емкости С7. Практически С7 выполнен в виде кусочка жести 3×6 мм.

Цепи питания должны быть отделены от основной схемы экраном (на схеме не показано), конденсаторы С3, С6, С8, С9, С11, С12 и С15 – это проходные конденсаторы. Гетеродин от УВЧ также должен быть отделен экраном.

Параметры контуров приводить не буду, так как схема не предназначена для повторения.

Смеситель на двухзатворном полевом транзисторе

На рис. 4.2 приведена широко распространенная схема ВЧ смесителя на двухзатворном полевом транзисторе. Достоинством схемы является сравнительно малый уровень шумов и большое усиление сигнала на выходе.

Режимы работы транзистора подбираются путем изменения величин резисторов R2 и R4. Схема аппарата с этим смесителем будет приведена в следующих главах книги. Поэтому параметры деталей на этой схеме не привожу.

Смеситель совмещен с гетеродином

На рис. 4.3 приведена схема, в которой транзистор VT1 является одновременно и гетеродином и смесителем.

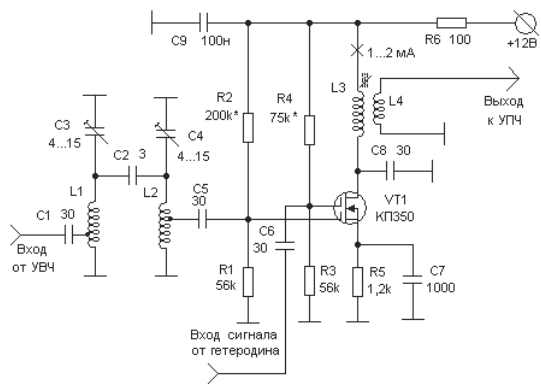


Рис. 4.2. Смеситель на КП350

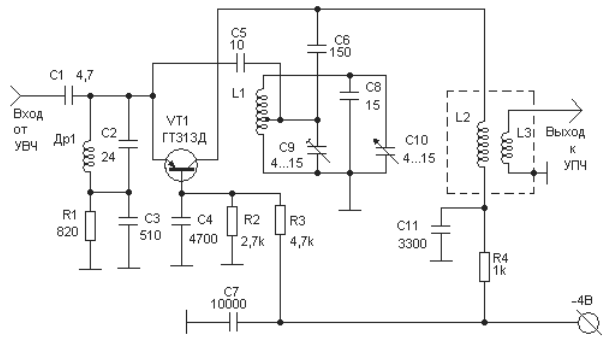


Рис. 4.3. Гетеродин и смеситель на одном транзисторе

Подобные схемы применяются в дешевых бытовых радиоприемниках с УКВ диапазоном. В радиолюбительской практике подобные схемы могут применяться в различных вспомогательных устройствах или в схемах простейших приемников УКВ диапазона.

В схеме на рис. 4.3 сигнал от усилителя высокой частоты через конденсатор С1 поступает на эмиттер транзистора VT1. Питание на эмиттер поступает через дроссель Др1, который для приходящего ВЧ сигнала представляет собой большое сопротивление. Конденсаторы С2 и С3 служат для согласования входящего ВЧ сигнала с транзисторным генератором на VT1. Контур этого генератора состоит из катушки индуктивности L1 и группы конденсаторов – С8, С9 и С10. Связь между транзистором и контуром осуществляет конденсатор С5.

В цепи коллектора VT1 располагается контурная катушка L2, которая совместно с конденсаторами С6, С9 и С11 является первой ячейкой фильтра ПЧ и представляет собой контур, настроенный на промежуточную частоту. Через катушку L3 осуществляется связь со следующими контурами ФПЧ или выход к УПЧ.

Приводить данные контуров, по моему мнению, не имеет смысла, поскольку при желании эти параметры всегда можно рассчитать.

Еще один вариант однотранзисторного смесителя с совмещенным гетеродином представлен на рис. 4.4. Схема этого смесителя рассчитана на применение в диапазоне дециметровых волн. Например, в конвертерах для приема телевизионных сигналов на ДМВ диапазонах или в простейшем конвертере для приема сигналов любительских радиостанций в диапазоне 432-436 МГц.

Сигнал от УВЧ поступает через конденсатор С1 на контур L1C2, который настраивается на частоту поступившего сигнала конденса-

тором С2. Через контур связи L2 сигнал подается на эмиттер транзистора VT1. Транзистор VT1 одновременно с функциями смесителя является гетеродином, вырабатывающим электромагнитные колебания с частотой, на которую настроен контур L3C8. На величину этой частоты также будут влиять внутренние емкости транзистора, попадающие на контур через конденсатор С7.

В контуре L4C9 выделяются сигналы промежуточной частоты, являющиеся результатом смешивания сигнала гетеродина с сигналом от УВЧ. Дроссель Др1 препятствует попаданию на контур L4C9 высокочастотных сигналов от гетеродина. Через катушку связи L5 сигнал ПЧ по коаксиальному кабелю может подаваться на вход приемника ПЧ сигналов.

Перестройка гетеродина может выполняться путем изменения напряжения источника питания транзистора VT1.

Изображенные на схеме контурные индуктивности могут иметь следующие параметры: L1 – 30-40 мм длиной из медной проволоки диаметром 2-2,5 мм, L2 – 20 мм длиной из проволоки диаметром 1 мм, L3 – 25-30 мм длиной из проволоки диаметром 1 мм.

Катушка L4 может быть намотана на каркасе с подстроечным сердечником диаметром 4 мм и иметь 4-6 витков провода ПЭЛ-0,3. Катушка L5 имеет 3-4 витка изолированного провода и наматывается поверх катушки L4 возле ее заземленного конца.

Далее в книге будет напечатана полная схема одного из вариантов подобного конвертера.

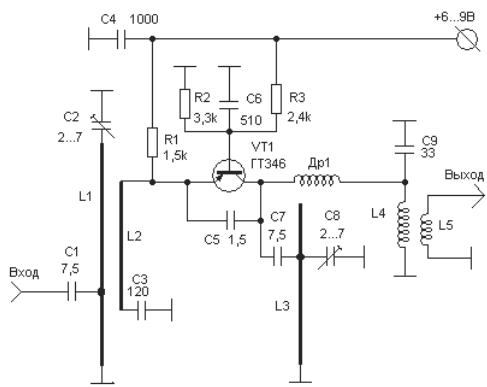


Рис. 4.4. Смеситель для ДМВ

Балансные смесители на транзисторах

Балансные смесители работают на принципах сбалансированного ВЧ моста. Важным достоинством таких смесителей является хорошее подавление мешающих сигналов, в том числе и сигналов гетеродина. Существуют также схемы с двойной балансировкой, которые кроме подавления сигнала гетеродина подавляют и входной ВЧ сигнал. Если балансный смеситель выполнен на малошумящих элементах, то это еще больше увеличивает достоинства такого смесителя.

Особого внимания заслуживают смесители на полевых транзисторах, включенных как управляемые активные сопротивления. Схема балансного смесителя показана на рис. 4.5.

К достоинствам такого смесителя относится также очень малая мощность, потребляемая от гетеродина, поэтому гетеродин почти не нагружается, что очень важно для УКВ аппаратуры.

При малых напряжениях сток-исток, независимо от его полярности, канал полевого транзистора ведет себя как обычное активное сопротивление. Значение этого сопротивления можно изменять от нескольких мегаом при запирающем напряжении на затворке до сотен ом. Таким образом, если подать гетеродинное напряжение на затвор, получится почти идеально подходящий для смесителей линейный элемент, управляемый только напряжением гетеродина (но не напряжением сигнала), что обеспечивает высокую помехоустойчивость и реальную селективность. В схеме рис. 4.5 транзисторы отпираются лишь положительными полуволнами гетеродинного напряжения. Если в эти моменты мгновенное напряжение сигнала также положительно, на выходе смесителя выделится постоянное положительное напряжение. При перемене фазы входного сигнала на обратную, к каналам транзисторов в моменты его отпирания будет приложено отрицательное напряжение, такое же напряжение будет и на выхо-

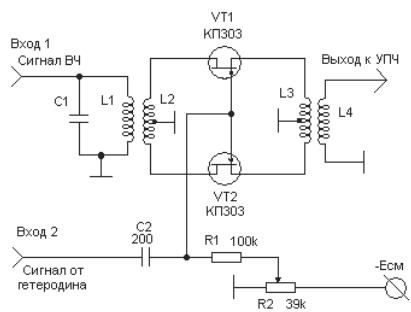


Рис. 4.5. Балансный смеситель на полевых транзисторах

де. При неточном совпадении частот ВЧ сигнала и гетеродина на выходе выделится сигнал биений, поступающий через ФСС в УПЧ. В схеме хорошо работают транзисторы КП301, КП302, КП303, КП305. Желательно выбрать тип транзистора с напряжением отсечки, близким к нулю. В противном случае правый по схеме вывод резистора R1`следует подключить к источнику смещения с напряжением, примерно равным напряжению отсечки.

Мощность входного ВЧ сигнала может достигать десятков милливатт. Шумы смесителя малы, поскольку через канал транзистора протекает лишь очень слабый ток сигнала. При этом полевые транзисторы шумят немногим больше обычного активного резистора с сопротивлением, равным усредненному сопротивлению канала.

Развязка входных и гетеродинных цепей определяется емкостью затвор-сток транзистора и является значительной в балансной схеме. Здесь паразитные емкости и симметричная катушка связи L2 образуют для гетеродинного напряжения сбалансированный мост. Катушки L2 и L3 могут быть намотаны непосредственно поверх обмоток соответствующих катушек УВЧ и УПЧ. При этом каждая из этих катушек может иметь 3-6 витков скрученных вместе двух изолированных проводов, затем начало одного провода этой катушки соединяется с концом провода второго. Это соединение образует точку, которая должна быть заземлена. Конец первого и начало второго провода соединяются с соответствующими выводами транзисторов VT1 и VT2.

Более подробно создание катушек связи из скрученных вместе проводов будет рассмотрено в этой главе далее.

В литературе [5] описана схема еще одного интересного смесителя. На рис. 4.6 приведена схема подобного смесителя, но предназначенного для выделения промежуточных частот. Схема на рис. 4.6 отличается от описанной в [5], но принцип действия остается прежним.

Смеситель содержит два полевых транзистора, каналы которых соединены параллельно и включены в цепь сигнала. На затворы транзисторов подано противофазное напряжение гетеродина с симметричной вторичной обмотки ВЧ трансформатора Т1.

Большой интерес представляет то, что этот смеситель не требует симметрирующего ПЧ трансформатора, а частота гетеродина устанавливается вдвое ниже частоты сигнала.

Развязка входных и гетеродинных цепей весьма значительна (более 60-70 дБ), во-первых, благодаря тому, что паразитные емкости затвор-сток транзисторов включены в диагонали сбалансированного моста и, во-вторых, за счет селективных свойств входного контура, настроенного на частоту, вдвое отличающуюся от частоты гетеродина.

В смесителе по схеме рис. 4.6 хорошо работают транзисторы КП301 или им подобные с «правой» характеристикой. Канал этих транзисторов начинает проводить при напряжении на затворе около 5 В, поэтому амплитуда гетеродинного напряжения на каждой из половин вторичной обмотки трансформатора Т1 должна достигать 6-7 В.

Смеситель можно собрать и на полевых транзисторах с p-n-переходом, например серии КП303. На средний вывод обмотки трансформатора в этом случае следует подать напряжение смещения около 3 В, чтобы при отсутствии переменного напряжения гетеродина каналы транзисторов были заперты. Оптимальное напряжение гетеродина для транзисторов КП303 составляет 1,5-2 В.

Практические испытания описанного смесителя в диапазоне 28 МГц в конструкции приемника прямого преобразования подтвердили его ожидаемые высокие параметры. Чувствительность приемника с этим смесителем достигала 0,25-0,3 мкВ даже без УВЧ. Подавление внедиапазонных АМ сигналов превосходило 70 дБ, такого же порядка было и ослабление гетеродинного напряжения на входе приемника.

СМЕСИТЕЛИ НА ДИОДАХ

Балансные смесители

При конструировании приемников со смесителями на диодах следует принимать во внимание, что сигнал ПЧ по уровню меньше входного сигнала на величину потерь в смесителе (на 6-10 дБ). Однако смесители на диодах зачастую смогут обеспечить наименьший уровень шумов. Поэтому к выбору схемы смесителя следует подходить с большой осторожностью.

Известно, что параметры радиоприемника во многом зависят от смесителя. Смеситель должен иметь высокий коэффициент передачи, малый уровень шума (для повышения чувствительности) и хорошо подавлять мешающие АМ сигналы, то есть не детектировать их (для повышения помехоустойчивости). Этим критериям соответствуют широко известные смесители, сделанные по балансным и кольцевым схемам, которые не детектируют ни напряжение сигнала, ни напряжение гетеродина.

На рис. 4.7 показана схема простого балансного смесителя, а на рис. 4.8 показана схема кольцевого смесителя. Обе схемы выполнены на диодах.

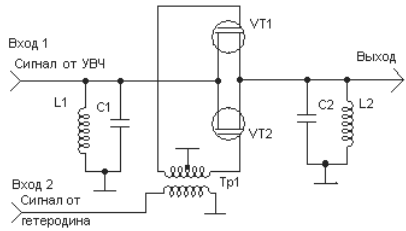


Рис. 4.6. Смеситель на встречно-управляемых транзисторах

В обоих смесителях (рис. 4.7 и 4.8) использованы симметрирующие трансформаторы Тр1 и Тр2, намотанные на кольцевых ферритовых сердечниках жгутом, сложенным из трех проводов, скрученных вместе. На рис. 4.9 показана конструкция такого трансформатора.

Концы проводов в начале жгута помечены как **н1, н2** и **н3**. Концы проводов в конце жгута помечены как **к1, к2** и **к3**. Обмотка, состоящая из провода 1, служит для входа сигнала, конец провода 2 соединяется с началом провода 3 – это соединение является средней точкой вторичной обмотки трансформатора и либо соединяется с землей, либо от этой точки берется сигнал для подачи его на УПЧ.

Трансформатор наматывается на кольце из высокочастотного феррита. Диаметр кольца может составлять 4-10 мм, магнитная проницаемость 20-1000. При этом чем выше частота используемого сигнала, тем меньшей должна быть магнитная проницаемость применяемого кольца. Кольца с большой величиной магнитной проницаемости применяются для НЧ диапазонов. На ВЧ диапазонах достаточно 5-15 витков. В большинстве случаев первичную обмотку можно настроить в резонанс, подключив параллельно ей конденсатор емкостью 40-500 пФ (подбирается при настройке). Число витков первичной обмотки зависит от сопротивления цепей, подключенных к смесителю.

Зачастую вместо первичной обмотки трансформатора мною используется контурная катушка последнего каскада УВЧ или гетеродина, на которую поверх существующей обмотки наматывается

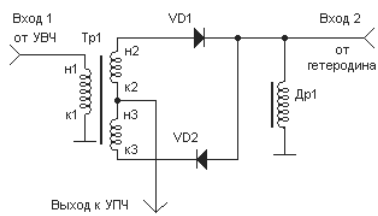


Рис. 4.7. Схема балансного смесителя

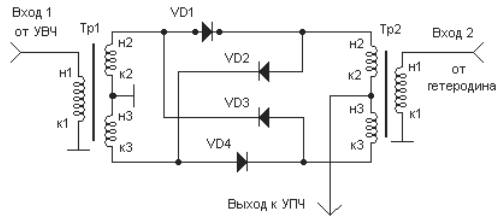


Рис. 4.8. Схема кольцевого смесителя

жгутик из двух скрученных вместе проводов, которые соединяются между собой так же, как и вторичная обмотка трансформатора Тр1 или Тр2. Витки, намотанные жгутиком, должны располагаться возле заземленного конца контурной катушки.

Для достижения максимальной чувствительности при настройке смесителя нужно подбирать напряжение гетеродина. Недостаточное напряжение уменьшает коэффициент передачи, а излишнее – увеличивает шум самого смесителя. В обоих случаях чувствительность падает. Оптимальное напряжение лежит в пределах от долей вольта до 1-1,5 В (амплитудное значение).

Смесители на встречно-параллельных диодах

Часто бывает так, что не удается создать гетеродин, генерирующий сигнал на очень высокой частоте. Тогда можно использовать схемы смесителей, которые могут работать на *половинной частоте* гетеродина. Одна из таких схем уже описывалась выше. Это была схема на полевых транзисторах. На диодах тоже можно создать подобный смеситель. Смеситель, схема которого изображена на рис. 4.10, как раз и способен работать с использованием половинной частоты гетеродина.

Встречно-параллельным называется такое соединение двух диодов, когда они соединены друг с другом параллельно, но по току располагаются как бы навстречу друг другу.

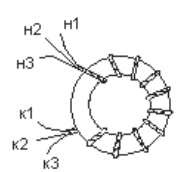


Рис. 4.9. Схематическое изображение симметрирующего трансформатора

В схеме на рис. 4.10 к встречно-параллельным диодам подводится одновременно напряжение сигнала от входного контура L1C1 и напряжение гетеродина через катушку связи L3. Последнее значительно больше, чем напряжение сигнала, и для нормальной работы смесителя на кремниевых диодах должно составлять 0,6-0,7 В (амплитудное значение).

Частота гетеродина выбирается вдвое ниже частоты сигнала. В этих условиях один из диодов открывается на пиках положительных полуволн сигнала гетеродина, а другой – на пиках отрицательных. В результате сопротивление параллельно включенных диодов уменьшается дважды за период гетеродинного напряжения.

Главным достоинством описанного смесителя является то, что в цепи нагрузки отсутствует постоянный ток, то есть смеситель не детектирует ни сигнал, ни напряжение гетеродина. Здесь необходимо отметить, что для нормальной работы смесителя совсем не требуется замыкать цепь его нагрузки по постоянному току – не входе УПЧ можно установить разделительный конденсатор. Напротив, это даже улучшает работу смесителя из-за некоторой «самобалансировки» отличающихся по параметрам диодов. Поскольку сигналы смесителем не детектируются, ослабляются и помехи от внедиапазонных станций.

Помехоустойчивость смесителя приемника прямого преобразования характеризуют величиной подавления АМ.

Подавление АМ в балансных и кольцевых смесителях обычно не превосходит 60-65 дБ. Для смесителя на встречно-параллельных диодах оно составляет 70-80 дБ. Настройка гетеродина на более низкую частоту позволяет улучшить стабильность частоты и значительно уменьшить наводки гетеродина на входные цепи смесителя. В подавлении наводок теперь участвуют и входные контуры, поскольку частота их настройки намного (в два раза!) отличается от частоты гете-

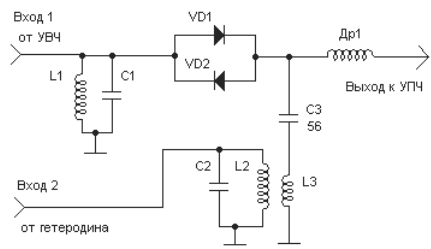


Рис. 4.10. Схема простого смесителя на встречно-параллельных диодах

родина. Подобные наводки вредны по следующим причинам: напряжение наводки синхронно детектируется смесителем и возникающее на выходе постоянное напряжение разбалансирует смеситель. Если же сигнал гетеродина излучается антенной или проводами питания в окружающее пространство, то помимо помех другим приемникам он может промодулироваться фоном переменного тока на плохих контактах электропроводки, окисленных контактах металлических конструкций, диодах выпрямителей и т.д. Возвращаясь в приемник, такой сигнал вызывает трудноустранимый фон переменного тока, исчезающий при отключении антенны. Поэтому для хорошей работы любого приемника крайне важно добиться малого излучения сигнала гетеродина. Со смесителем на встречно-параллельных диодах, благодаря пониженной частоте гетеродина, излучение его сигнала получается на 30-60 дБ ниже, чем с обычными смесителями, и описанные неприятные эффекты практически полностью устраняются.

В смесителе по схеме рис. 4.10 лучше всего использовать кремниевые диоды с пороговым напряжением около 0,5 В: они дают несколько большую помехоустойчивость, чем германиевые. В любом случае требуется подбор оптимального напряжения гетеродина по максимуму коэффициента передачи.

Дальнейшее улучшение развязки входных и гетеродинных цепей, а также уменьшение потерь мощности сигнала в цепях связи с гетеродином достигается в балансной схеме смесителя на встречно-параллельных диодах с автоматическим смещением, показанной на рис. 4.11.

Две пары диодов и симметрично расположенные две катушки L3 и L4, намотанные на контурной катушке L2, настроенной на частоту гетеродина, образуют сбалансированный мост, не позволяющий попадать сигналу гетеродина ни во входные цепи, ни в ФПЧ. Цепочка R1C2C3, общая для двух пар диодов, создает начальное смещение, пропорциональное напряжению гетеродина. Последнее может изменяться от 0,7 до 4 В без заметного влияния на параметры смесителя. Подавление АМ сигналов этим смесителем более 80 дБ, а развязка входных и гетеродинных цепей более 60 дБ.

Катушку входного и гетеродинного контуров для описанных смесителей можно намотать на каркасах диаметром 5-6 мм проводом ПЭЛ или ПЭЛШО 0,15-0,25. В каркасы завинчиваются подстроечные сердечники СЦП-4.

Количество витков этих и других катушек, а также емкости подключенных параллельно катушкам конденсаторов можно рассчи-

тать с использованием программы INDUKTIW. Программа находится на сайте автора, расположенном в Интернет по адресу http://ra3xb.narod.ru/

Оптимальное нагрузочное сопротивление для смесителей, работающих в радиоприемнике, составляет несколько килоом. Такого же порядка получается и входное сопротивление для ВЧ сигнала. Попытки уменьшить это сопротивление к успеху не приводят, поскольку при низком сопротивлении смесителя возрастает мощность, потребляемая от гетеродина, а это увеличивает шум смесителя.

Для получения большей информации о работе смесителей на встречно-параллельных диодах постарайтесь найти замечательную книгу В. Т. Полякова «Трансиверы прямого преобразования» [5].

Смеситель на СВЧ диоде

С давних времен и до сего времени на диапазоне волн сантиметровой длины принято использовать диодные смесители, выполненные на специальных СВЧ (Сверхвысокочастотных) смесительных диодах типа ДК-С или ДК-И. Как показала практика, в таких схемах на более низких частотах можно использовать и другие высокочастотные диоды, например ГД507, а также некоторые виды переключательных туннельных диодов.

На рис. 4.12 приведена схема, в которой используется смеситель на СВЧ диоде Д408.

Эта схема использовалась мною в одной из конструкций конвертера на диапазон 435 МГц. Подобного типа смесители используются в аппаратуре, описанной в [1] и [2].

Одним из основных элементов схемы является высокодобротный контур L1C1, к которому одновременно подается сигнал от УВЧ и от

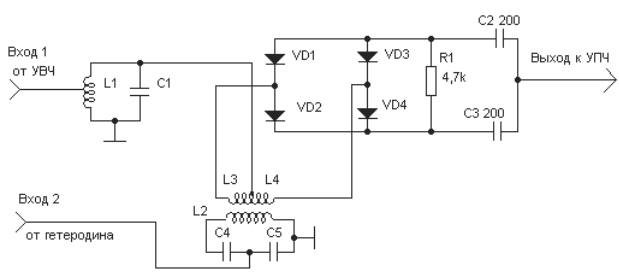


Рис. 4.11. Схема балансного смесителя

гетеродина (через L2). Контур настраивается в резонанс с сигналом от УВЧ. При наладке устанавливается определенная величина тока через смесительный диод VD1. Измерительный миллиамперметр следует подключить к точке КТ1 и удалить перемычку А1. Миллиамперметр окажется подключенным параллельно резистору R2, величина которого много больше внутреннего сопротивления измерительного прибора, поэтому током через R2 можно пренебречь. Приближая или удаляя L2 от L1, устанавливаем величину тока через диод в пределах 0,4-0,6 мА. Принято считать, что при такой величине тока диодный смеситель обладает наименьшими шумами. После проведения измерений следует восстановить перемычку А1.

Контур L3C2C3 настраивается на величину ПЧ. Транзистор VT1 является первым усилителем сигнала ПЧ.

Смесители на специальных смесительных СВЧ диодах работают превосходно и почти не шумят.

СМЕСИТЕЛИ НА МИКРОСХЕМАХ

Широкое внедрение микросхем в радиоустройства позволило существенно улучшить их параметры, уменьшить габариты, упростить монтаж. Особенно удобны универсальные микросхемы, которые можно использовать в самых различных узлах радиоаппаратуры. К ним относятся, например, операционные усилители (ОУ) широкого применения, с успехом работающие в низкочастотной аппаратуре и устройствах автоматики. Имеется большая серия микросхем К174, предназначенных для работы в бытовой радиотехнике, которые с успехом применяются в радиолюбительской практике.

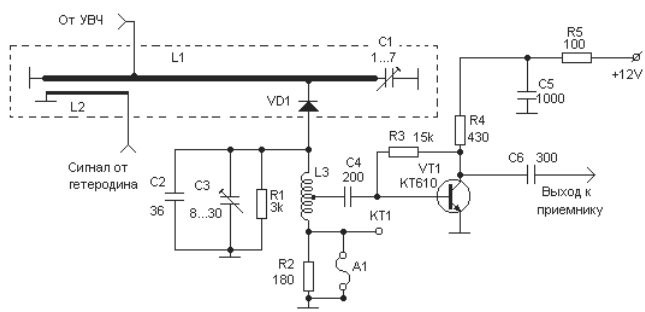


Рис. 4.12. Смеситель на СВЧ диоде

Микросхема К174ПС4

Микросхема работает в диапазоне до 1000 МГц как преобразователь частоты. Предназначена для использования в качестве преобразователя частоты, модулятора, демодулятора, усилителя. Можно ее использовать в самых различных любительских конструкциях, в том числе и системах связи радиолюбительских ИСЗ. К174ПС4 имеет следующие основные параметры:

- напряжение питания 5-9 В;
- ток потребления 12 мА;
- крутизна преобразования 5 мА/В;
- ослабление входного и опорного сигналов не менее 20 дБ;
- коэффициент шума 12 дБ.

Одно из применений этой МС – использование в блоках селекторов каналов телевизионных приемников дециметрового диапазона. Преимуществом смесителя на этой МС перед смесителями на дискретных транзисторах является отсутствие или резкое ослабление в спектре выходного сигнала составляющих с частотами гетеродина и сигнала и, что особенно важно, хорошая развязка между цепью гетеродина и входом. Просачивание напряжения гетеродина на вход приемника составляет минус 40-50 дБ от напряжения гетеродина.

На рис. 4.13 показана схема использования МС К174ПС4 в качестве смесителя и УВЧ.

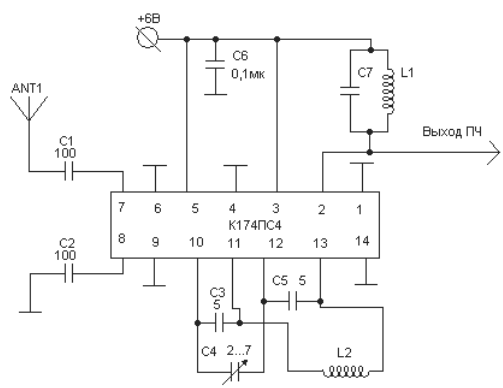


Рис. 4.13. Смеситель на К174ПС4

Микросхема К174ПС1

Микросхема К174ПС1 обладает большой универсальностью и может работать в широком диапазоне частот. Ее можно использовать не только в низкочастотной радиоаппаратуре, но и в радиовещательных телевизионных устройствах. На этой микросхеме можно создавать схемы усилителей, гетеродинов, смесителей ВЧ и многое другое.

МС представляет собой балансный смеситель, обладающий следующими основными техническими характеристиками.

- крутизна преобразования, не менее 4,5 мА/В;
- коэффициент шума, не более 8 дБ;
- верхняя частота входного сигнала, не менее 200 МГц;
- напряжение питания, 9 В±10%;
- потребляемый ток, не более 2,5 мА;
- предельные допустимые напряжения питания, при токе нагрузки:
  - 2,5 мА, не менее 4,5 В;
  - 4,5 мА, не более 15 В;
- масса в корпусе 201.14-1, не более 1,5 г.

Микросхема К174ПС1 имеет похожее устройство с МС К174ПС4, но рассчитана на использование в более длинных диапазонах радиоволн.

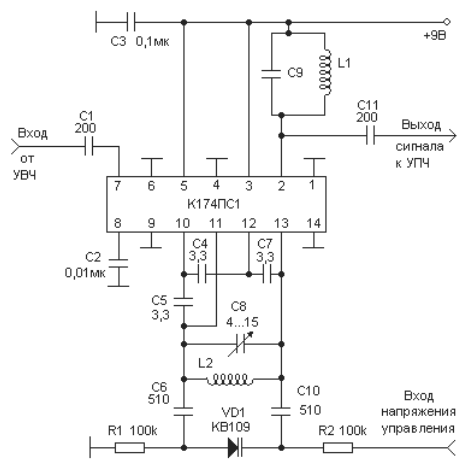


Рис. 4.14. Схема смесительного каскада и гетеродина на К174ПС1

На рис. 4.14 показана схема устройства, где на МС К174ПС1 собран смесительный каскад и гетеродин.

На вход устройства через конденсатор С1 поступает сигнал от УВЧ. Контур L2C8 принадлежит гетеродину, а контур L1C9 настроен на промежуточную частоту.

Гетеродин может перестраиваться по частоте управляющим напряжением, подаваемым на варикап VD1.

Для желающих познакомиться с внутренним устройством МС К174ПС1 на рис. 4.15 приведена электрическая принципиальная схема этой МС.

Можно предположить, что МС К174ПС4 имеет такое же внутреннее устройство, но в ней применены более высокочастотные транзисторы.

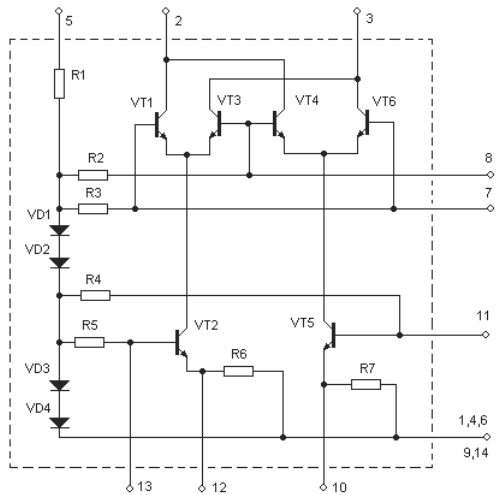


Рис.4.15. Электрическая схема К174ПС1

ГЛАВА 5.
ГЕНЕРАТОРЫ ДЛЯ УКВ АППАРАТУРЫ

Общие вопросы построения схем генераторов 87

Генераторы с параметрической стабилизацией частоты 89

Расчет элементов и параметров генератора 94

И еще две схемы генераторов 98

Генераторы с кварцевой стабилизацией частоты 99

Пример простейшего расчета дополнительного контура 104

Резонатор в цепи обратной связи 107

Нейтрализация емкости резонатора 107

Кварцевый генератор с изменением частоты 109

Экспериментальный генератор 109

Как еще больше расширить диапазон перестройки КГ 113

Рекомендации по разработке генератора 115

Если нет кварца 117

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПОСТРОЕНИЯ СХЕМ ГЕНЕРАТОРОВ

К генераторам электромагнитных колебаний, которые исполняют роль гетеродинов связных радиоприемников, кроме общих требований стабильности частоты и требуемого уровня мощности для подачи на смеситель, предъявляются еще дополнительные:

- ❑ высокая спектральная чистота колебаний (отсутствие заметно выраженных гармоник гетеродина);
- ❑ низкий уровень шумов.

Первое из этих требований можно выполнить путем тщательного выбора режима генератора для получения на выходе чисто синусоидальных колебаний, а также и дополнительной фильтрации этих колебаний. При этом ослабленные до минимума гармоники не участвуют в процессе преобразования частот, уменьшается эффект преобразования на гармониках гетеродина. Кроме того, возможны варианты, когда такое осуществляется преобразование вследствие появления гармоник гетеродина в самом смесителе. Это может происходить за счет нелинейной характеристики входного сопротивления смесителя.

Шум гетеродина часто возникает в результате модуляции вырабатываемых им электромагнитных колебаний по амплитуде и фазе в пассивных и активных элементах гетеродина. Хотя возникающий при этом шум и незначителен по величине (на 90-100 дБ ниже уровня колебаний), но в чувствительных смесителях приемников он может приводить к появлению сильных уровней помех на боковых шумовых составляющих колебаний гетеродина.

При приеме сигналов распознать шумовую модуляцию трудно, так как неясно, является ли принимаемый шум внешним шумом эфира или результатом шумового преобразования в приемнике. Шумы гетеродина обычно исследуют с помощью анализатора спектра с высокой разрешающей способностью и динамическим диапазоном. В любительских условиях для этой цели применяют узкополосный приемник с аттенюатором на входе. Изменяя настройку приемника около частоты исследуемого гетеродина, поддерживают одинаковый уровень сигнала на выходе приемника с помощью регулировки затухания в аттенюаторе. Затем строят график зависимости затухания от частоты, который и характеризует уровень шумовых боковых полос гетеродина.

Для борьбы с шумами гетеродинов следует принимать следующие меры:

- ❑ необходимо максимально увеличивать добротность контура гетеродина, так как при этом сужается его полоса пропускания и полоса шумов;
- ❑ непременно применять транзисторы с низким уровнем шумов (особенно из числа низкочастотных);
- ❑ нужно стремиться сделать режим транзистора близким к ключевому, так как при этом он большую часть времени находится или в запертом, или в насыщенном состоянии, что соответствует минимальному уровню собственных шумов. Ключевой режим достигается большими значениями обратной связи в каскаде;
- ❑ тщательно заземлять по низкой частоте все цепи постоянного тока гетеродина и электроды транзистора (например, базу в схеме с ОБ).

Чтобы получить высококачественный генератор, обеспечивающий нормальную работу приемной и передающей аппаратуры, необходимо также учитывать следующие условия:

- в качестве генераторных транзисторов следует применять транзисторы, граничная частота которых в 5-10 раз превосходит рабочую частоту генератора. Для гетеродинов УКВ приемной аппаратуры следует выбирать СВЧ малошумящие транзисторы с граничной частотой более 1ГГц;
- при изготовлении генераторов с LC контурами, особенно для частот выше 10 МГц, следует обратить внимание на *механическую жесткость* конструкции генератора. LC контур генератора следует помещать в жесткий экранированный корпус;
- для генераторов с LC контурами следующим за самим генератором каскадом должен быть буферный каскад с очень малой емкостной связью вход/выход. Такой буферный каскад желателен и для кварцевых генераторов, работающих на гармониках;
- в радиоприемниках с высокой чувствительностью следует избегать применения различных полупроводниковых элементов (например, варикапов) для настройки или подстройки частоты контура. Применять нужно только конденсаторы переменной емкости с воздушным диэлектриком;
- генераторы с фазовой автоподстройкой частоты (ФАПЧ) обладают повышенным уровнем шумов и для применения в высокочувствительной приемной аппаратуре (в качестве первого гетеродина) нежелательны.

Генераторы с параметрической стабилизацией частоты

Название «параметрическая стабилизация» предполагает, что стабильность генерируемой частоты должна поддерживаться за счет: выбора оптимального режима работы транзистора, применения высококачественной и высокодобротной контурной катушки, применения в колебательном контуре конденсаторов с малым температурным коэффициентом емкости.

Существует довольно большое разнообразие схем транзисторных генераторов с параметрической стабилизацией, однако наибольшей популярностью среди радиолюбителей пользуются генераторы по так называемой схеме индуктивной трехточки и схеме емкостной трехточки. На рис. 5.1 показана схема генератора, выполненного по схеме емкостной трехточки.

Активным элементом генератора на рис. 5.1 является транзистор VT1 типа КТ368. Это высокочастотный и малошумящий транзистор, который способен создать хорошее качество генерируемого сигнала.

Рабочая частота генератора задается индуктивностью катушки L1 и суммарной величиной емкостей конденсаторов C1, C2, C3 и C4. Перестройка рабочей частоты может осуществляться либо изменением емкости конденсатора C1, либо изменением индуктивности катушки L1. Все перечисленные элементы находятся в цепи базы транзистора VT1.

В цепи коллектора этого транзистора находится еще один колебательный контур, настроенный на частоту в два (или в три) раза выше рабочей частоты генератора. В таком случае говорят, что контур в цепи коллектора транзистора VT1 настроен на *вторую* (или *третью*) *гармонику* вырабатываемых генератором электромагнитных колеба-

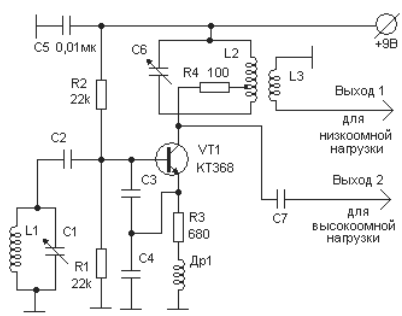


Рис. 5.1. Генератор на транзисторе КТ368

ний. На выходе 1 и 2 мы получим сигналы с частотой заданной гармоники.

Несмотря на наличие в цепи коллектора некоторого колебательного контура, можно считать, что транзистор VT1 включен по схеме с общим коллектором. Дело в том, что находящийся в цепи коллектора контур настроен на частоту, которая намного выше рабочей частоты генератора, и поэтому сопротивление этого контура незначительное, можно сказать – стремится к нулю.

Если от генератора нужно получить только сигнал рабочей частоты, то коллектор транзистора VT1 следует напрямую соединить с источником питания, как это сделано в схеме на рис. 5.2. Это будет уже классическое включение транзистора по схеме с общим коллектором (или стоком, если транзистор полевой).

Рассмотрим подробнее работу всех основных элементов схемы генератора.

Цепь смещения. Компоненты цепи смещения R1, R2 и R3 выбираются из условия обеспечения заданного тока покоя. Цепь смещения рассчитывается и настраивается так же, как для обычной рабочей точки усилителя. Сигнал обратной связи, который поступает с эмиттера через C1, всегда присутствует на входе, поэтому транзистор постоянно находится в режиме колебаний.

При любых транзисторах ток через них должен обеспечивать требуемую выходную мощность. При правильном соотношении смещения и обратной связи *выходная мощность генератора составляет приблизительно 0,3 мощности, потребляемой от источника питания*.

Обычно падение напряжения на L2 и R4 весьма мало, поэтому коллекторное (или стоковое) напряжение равно напряжению питания. Следовательно, *для нахождения величины необходимого тока* (при заданных величинах напряжении питания и выходной мощности) *необходимо значение выходной мощности разделить на 0,3 и на величину напряжения питания*. Кстати, резистор R4 служит для предотвращения возбуждения генератора на паразитных частотах, и ставить его нужно только *в крайних случаях* явного нарушения работы генератора.

Сигнал обратной связи. Выходной сигнал появляется на коллекторе (или стоке) транзистора. При правильном соотношении цепей смещения и обратной связи *напряжение выходного сигнала составляет около 90% напряжения питания*. Глубина обратной связи определяется соотношением емкостей C3 и C4 . Например, если они равны,

то сигнал обратной связи равен половине выходного сигнала. Если емкость конденсатора С4 в три раза больше емкости конденсатора С3, то сигнал обратной связи составляет приблизительно **0,25** напряжения выходного сигнала.

Может возникнуть необходимость изменить величину С3 по отношению к С4 для того, чтобы установить более подходящее соотношение параметров цепей смещения и обратной связи. Например, если емкость С4 уменьшать, то глубина обратной связи будет возрастать и генератор будет работать в режиме, близком к классу С. С увеличением значения С4 при постоянной емкости С3 глубина обратной связи уменьшается и режим работы генератора приближается к классу А. Необходимо помнить, что любое изменение С4 (или С3) приводит к изменению частоты генерации. Следовательно, для поддержания неизменной рабочей частоты при изменении отношения С4/С3 необходимо изменять значение индуктивности L1.

В качестве первого приближения можно считать, что сигнал обратной связи должен быть равен или больше напряжения отсечки транзистора. При нормальных условиях такой сигнал будет достаточен для преодоления фиксированного (устанавливаемого резисторами R1, R2 и R3) смещения. Величина сигнала обратной связи обычно лежит в пределах 10-40%, а при условии наилучшей стабильности – в пределах 15-25% напряжения выходного сигнала. Иногда, в целях уменьшения шумов гетеродина, устанавливают максимальную величину напряжения обратной связи.

Частота генерации схемы определяется резонансной частотой контура, в который входят L1, С1, С2, С3 и С4. Заметим, что конденсаторы С2, С3 и С4 включены последовательно, поэтому общая емкость должна быть найдена с помощью соответствующего соотношения. Необходимо также учитывать, что входная емкость транзистора складывается с емкостью С1. На низких частотах входной емкостью можно пренебречь, поскольку ее величина пренебрежимо мала по сравнению с типичными значениями емкости С1. На высоких частотах, когда значение емкости С1 становится соизмеримым с входной емкостью, входная емкость транзистора имеет большое влияние.

Например, если входная емкость равна 3 пФ, а для интересующей частоты необходима емкость С1, равная 1000 пФ или более, влияние выходной емкости незначительно. Если же значение емкости С1 уменьшается до 5 пФ, то вместе с параллельной ей входной емкостью транзистора они образуют общую емкость, равную 8 пФ, то есть входная емкость должна быть учтена в расчете частоты резонанса.

Входная емкость транзистора не всегда приводится в паспортах на приборы. Емкость, представляющая выходную емкость транзистора (между истоком и стоком для полевых и между коллектором и эмиттером для биполярных транзисторов), состоит из собственно выходной емкости и емкости обратной связи, которой, в силу ее малости по сравнению с выходной емкостью транзистора, обычно пренебрегают.

Конденсатор С1 может быть переменным, но иногда бывает проще сделать переменной индуктивность катушки.

Значение емкости С4 обычно в три раза больше, чем емкости С3 (или суммы емкостей С1, С2 и входной емкости транзистора, где это имеет смысл). Таким образом, напряжение обратной связи (поступающее на базу с истока или эмиттера транзистора) составляет приблизительно **0,25** общего напряжения выходного сигнала (или около **0,2** напряжения питания при правильном соотношении обратной связи и смещения).

Резонансная цепь. Для обеспечения требуемой частоты может быть использовано сочетание любых катушек индуктивности и конденсаторов, то есть катушка может быть выполнена очень большой или очень малой для соответствующих значений емкостей конденсаторов. Часто на резонансные цепи накладываются практические ограничения (такие, как параметры имеющихся готовых катушек переменной индуктивности).

Если нет специфических ограничений, ориентировочное *значение емкости С1 выбирают из расчета 2 пФ на 1 м длины волны*. Например, если частота равна 30 МГц, то длина волны равна 10 м, и емкость должна быть равна 20 пФ. Длину волны в метрах находят из выражения

Длина волны = 300 / (частота, МГц).

На частотах ниже 1,5 МГц выбор емкости из расчета 2 пФ на 1 м длины волны может привести к необходимости использования очень больших катушек индуктивности. В этом случае *емкость можно выбирать из расчета 20 пФ на 1 м длины волны.*

Величина индуктивности L выбирается из условия обеспечения требуемой частоты с помощью выражения

$L = (2{,}53 \times 10^4) / (f^2 \times C)$, где

L имеет размерность в мкГн;

f имеет размерность в МГц;

С имеет размерность в пФ.

Другой метод нахождения реальных значений компонентов резонансной цепи состоит в применении катушек индуктивности, имею-

щих на рабочей частоте реактивное сопротивление 80-100 Ом. Это приближение особенно полезно для низких частот (ниже 1 МГц).

В Интернет на сайте, расположенном по адресу http://ra3xb.narod.ru, в разделе «Программы» находится программа INDUKTIW, с помощью которой можно легко рассчитать параметры любых катушек и емкости групп конденсаторов.

Выходная цепь. Выходной сигнал для следующего каскада может быть снят или непосредственно с катушки индуктивности L2 с помощью выходной обмотки L3 (для низкоомных нагрузок), или конденсатора связи C7 (для высокоомных нагрузок). Обычно более удобна выходная цепь с конденсатором связи C7, который можно взять переменным. Это дает возможность подключать генератор к переменной нагрузке (изменяющей сопротивление с изменением частоты). Если в коллекторной цепи VT1 генератора нет колебательного контура и коллектор непосредственно соединен с источником питания, то выходной сигнал берется с эмиттера.

Заметим, что КПД генератора в случае использования умножителя частоты уменьшается. Поэтому обычно генератор выдает на выход рабочую частоту, а дальнейшее умножение частоты выполняется в последующих специальных каскадах.

Шунтирующий и разделительный конденсаторы. Величина емкости шунтирующего конденсатора C5 должна быть такой, чтобы *емкостное сопротивление его на рабочей частоте генератора не превышало 5 Ом*. Допустимо и большее сопротивление (200 Ом), но вследствие малой мощности сигнала с кварца предпочтительнее низкое реактивное сопротивление.

Величина разделительной емкости C2 должна быть равна (примерно) емкости конденсатора C1. Величина разделительной емкости C7 должна быть равна сумме выходной емкости транзистора и емкости C6. Если конденсатор C7 является переменным, то среднее значение его емкости должно быть равно указанной сумме емкостей.

Высокочастотный дроссель. Высокочастотный дроссель Др1 служит для предотвращения утечки сигнала с эмиттера через резистор R3.

Величина индуктивности дросселя Др1 должна быть такой, чтобы его реактивное сопротивление на рабочей частоте находилось в пределах 1-3 кОм. Допустимый ток дросселя должен быть больше (по крайней мере на 10%), чем максимально возможный постоянный ток. Следует заметить, что большое реактивное сопротивление требуется на рабочей частоте. Но на высоких частотах это может привести

к большому падению напряжения на дросселях, имеющих большую индуктивность, или к дросселям слишком больших размеров.

Расчет элементов и параметров генератора

Профессиональный расчет элементов схемы генератора довольно сложен, к тому же радиолюбителям нет смысла делать такие расчеты. Далее мною предлагается вашему вниманию простейшие (прикидочные) расчеты наиболее важных элементов и параметров схемы генератора.

Сначала следует выписать на отдельный листок справочные данные по применяемому транзистору и назначить (примерно) требуемую выходную мощность генератора.

Для упрощения расчета принимаем, что контур L2C6 и резистор R4 отсутствуют и что коллектор VT1 напрямую соединен с шиной питания 10 В. Следовательно, напряжение на коллекторе равно 10 В. Выход сигнала осуществляется с эмиттера транзистора VT1, как это показано на рис. 5.2.

Пусть генератор по схеме на рис. 5.2 должен генерировать сигнал с частотой 20 МГц. Настройка должна осуществляться изменением индуктивности катушки L1. Напряжение питания 10 В. Транзистор КТ368 имеет входную емкость 1,7 пФ, выходную емкость 3 пФ и допускает мощность рассеяния коллектора, равную 225 мВт при напряжении 15 В. Планируем получить выходную мощность генератора 40-50 мВт.

1. Значения сопротивлений R1, R2 и R3 должны быть выбраны путем эксперимента так, чтобы через транзистор протекал ток величиной 5 мА, который мог бы обеспечить выходную мощность 40-50 мВт при коллекторном напряжении 10 В.

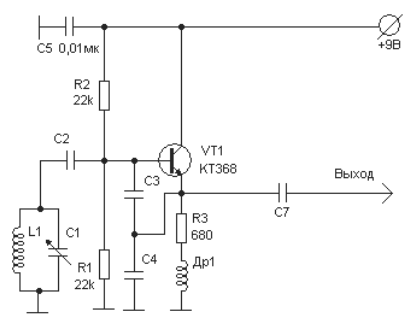


Рис. 5.2. Упрощенная схема генератора

Приняв выходную мощность равной 45 мВт и разделив ее на 0,3, получим входную мощность (она же равна общей рассеиваемой мощности), равную 150 мВт.

2. На этом этапе расчета попробуем удостовериться в том, что транзистор допускает рассеивание мощности 150 мВт при максимально допустимой рабочей температуре.

По данным справочника, допустимая рассеиваемая на транзисторе мощность при температуре 25°С равна 225 мВт, максимально допустимая температура транзистора составляет 70°С. Для расчета можно принять, что уменьшение допустимой мощности при температурах выше 25°С равно 2 мВт/°С.

Проведем расчет для условия, что транзистор работает при 60°С. При этом условии допустимая мощность уменьшается на $2 \times (60 - 25) \approx 70$ мВт и составляет $225 - 70 = 155$ мВт. Этот прикидочный расчет показывает, что при токе коллектора 5 мА рассеивание на транзисторе входной мощности 150 мВт безопасно, но находится на грани допустимого. Поэтому желательно уменьшить величину коллекторного тока и выполнить расчет для вновь принятой величины тока.

3. Назначим ориентировочное значение выходного напряжения рабочей частоты генератора и величину напряжения обратной связи. При питающем напряжении 10 В напряжение выходного сигнала должно быть равно $10 \times 0,8 = 8$ В. Разумеется, оно зависит от соотношения компонентов цепей смещения и обратной связи.

Ориентировочно выберем значение емкости С4 втрое больше, чем С3 плюс входная емкость. При таком их соотношении сигнал обратной связи составляет 25% от выходного напряжения, или $8 \times 0,25 = 2$ В. Учитывая, что к цепи смещения приложены постоянное напряжение и сигнал обратной связи, можно ожидать, что напряжение обратной связи 2 В будет слишком большим, но в первом приближении оно приемлемо.

4. Проведем ориентировочный расчет элементов частотозадающего колебательного контура. Для реальных значений индуктивности L и емкости С резонансного контура выберем емкость С1 из расчета 2 пФ на 1 м длины волны. Длина волны равна 300/20 (МГц) = 15 м, а емкость при этом получается $C1 = 2 \times 15 = 30$ пФ.

Емкость переходного (разделительного) конденсатора получаем как сумму емкости С1 и входной емкости транзистора.

$C2 = C1 + 1,7 = 30 + 1,7 = 31,3$ пФ. Ближайшее номинальное значение будет С2 = 33 пФ.

Величину емкости конденсатора С3 можно принять равной величине емкости С2. Это предположение не противоречит никаким условиям и вполне оправдывается экспериментами. Тогда емкость С4 = С3 ×3 = 33 × 3= 99 пФ. Принимаем С4 = 100 пФ.

5. Рассчитаем данные частотозадающего контура. Для начала рассчитаем суммарную величину трех последовательно соединенных конденсаторов С2, С3 и С4.

Величина общей емкости, параллельной L1, равна

$C_{П} = 1 / (1 / C2 + 1 / C3 + 1 / C4) = 1/(1/33 + 1/33 + 1/100) = 14{,}3$ пФ.

Получается, что параллельно индуктивности L1 подключена емкость

$C1 + C_{П} = 30 + 14{,}3 = 44{,}3$ пФ.

Для этой емкости и частоты резонанса 20 МГц значение индуктивности

$L1 = (2{,}53 \times 10^4) / [(20)^2 \times 44{,}3] = 1{,}4$ мкГн.

Для удобства катушка индуктивности должна перестраиваться от 0,20 до 0,25 мкГн .

Расчеты количества витков контурных катушек различной конструкции можно выполнить с помощью разработанной мною компьютерной программы INDUKTIW.

Необходимо помнить, что неправильно выбранное соотношение компонентов цепей смещения и обратной связи обусловливает искажение формы сигнала, уменьшение выходной мощности или и то и другое одновременно. Критерием правильности выбора рабочей точки является хорошая форма сигнала на рабочей частоте и стабильность частоты при требуемой выходной мощности.

6. Величину емкости конденсатора С5 (и других блокировочных конденсаторов, если они будут применены в схеме), можно ориентировочно рассчитать по формуле $X_C = 1 / (2\pi \times F \times C)$, где X_C - величина реактивного сопротивления конденсатора (должно быть не более 5 Ом), F – рабочая частота в Гц, C – емкость в Ф.

$C5 = 1 / (2\pi \times F \times 10^6 \times X_C) = 1 / (6{,}28 \times 20 \times 10^6 \times 5) = 0{,}001590$ Ф = =1590 пФ. Несколько большая емкость (скажем, 2000 пФ) гарантирует реактивное сопротивление, меньше, чем 5 Ом, на рабочей частоте.

7. Величину индуктивности дросселя Др1 рассчитаем исходя из известной формулы $X_L = (2\pi \times F \times L)$. При этом L – индуктивность дросселя в Гн.

$L = X_L / (2\pi \times F) = 2000/(6{,}28 \times 20 \times 10^6) = 0{,}000016$ Гн = 16 мкГн.

Любые значения индуктивностей между 15 и 20 мкГн вполне подойдут для схемы. Лучшей проверкой правильности выбора индуктивности дросселей в генераторе является измерение в шине питания высокочастотной составляющей напряжения при работающем генераторе. Высокочастотной составляющей не должно быть, либо она должна составлять доли вольта (обычно несколько микровольт для типичного транзисторного генератора). Если сигнала ВЧ в шине питания нет, то реактивное сопротивление достаточно велико. Затем нужно измерить падение напряжения на дросселе на постоянном токе. Оно также должно составлять доли вольта (микровольты).

Указанный выше расчет элементов схемы достаточен для осмысленного выбора любого элемента из любой приведенной ниже схемы генераторов.

На рис. 5.3 приведена схема генератора, выполненного на полевом транзисторе.

Генераторы, выполненные на базе полевых транзисторов, отличаются малыми шумами и хорошей стабильностью генерируемой частоты.

На рис. 5.4 и 5.5 приведены схемы транзисторных генераторов, выполненные по схеме индуктивной трехточки.

По стабильности генерируемой частоты генераторы по схеме индуктивной трехточки не отличаются от генераторов, выполненных по схеме емкостной трехточки. Расчеты элементов схемы можно проводить по приведенным выше формулам.

Следует учитывать, что величина напряжения обратной связи в этих генераторах зависит от места отвода в контурной катушке, к которому подается обратная связь с эмиттера транзистора VT1. Можно считать, что если отвод от контурной катушки выполнен от середины, то напряжение обратной связи равно половине выходного напряжения. При перемещении отвода к заземленному (по ВЧ) концу

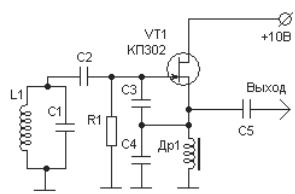


Рис. 5.3. Генератор на полевом транзисторе КП302

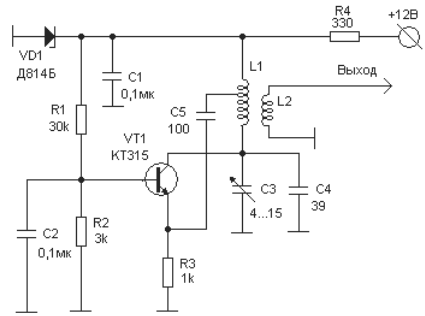


Рис. 5.4. Генератор на транзисторе КТ315

катушки напряжение обратной связи уменьшается. И наоборот, при удалении отвода от заземленного конца катушки напряжение обратной связи увеличивается. Помните, что если мы говорим об обратной связи в схеме генератора, то имеется в виду *положительная обратная связь*, которая усиливает основной сигнал на входе. Бывает также и *отрицательная обратная связь*, которая ослабляет сигнал на входе. Отрицательная обратная связь часто применяется в усилителях низкой частоты для улучшения качества усиливаемого сигнала.

И еще две схемы генераторов

На рис. 5.6 показана электрическая принципиальная схема генератора, часто применяемая на частотах до 450 МГц.

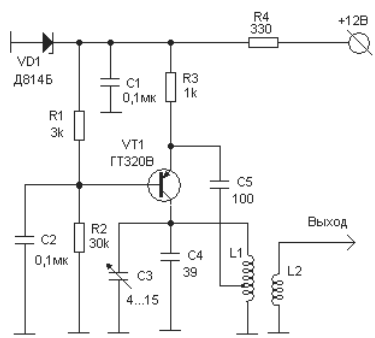


Рис. 5.5. Генератор на транзисторе ГТ320

В схеме рис. 5.6 транзистор генератора задействован по схеме с общей базой. Обратная связь осуществляется через конденсатор С1 и зависит от величины емкости этого конденсатора. На частотах порядка 400 МГц емкость С1 должна быть равна (примерно) 1-2 пФ, на более низких частотах емкость С1 должна иметь большую величину и может составлять 10-30 пФ.

На рис. 5.7 показана схема еще одного простого генератора.

В этом генераторе транзистор подключен по схеме с общим коллектором. Колебательный контур располагается в цепи базы. Особенностью схемы является *междуэлектродная положительная обратная связь*, которая всегда присутствует в транзисторах, и при более высокой частоте получается довольно большая величина обратной связи. С понижением частоты эта обратная связь уменьшается. Большие неприятности междуэлектродная обратная связь доставляет при изготовлении усилителей высокой частоты. Если не предпринимать никаких действий по нейтрализации этой связи, то усилитель превращается в генератор, как говорят, «начинает возбуждаться».

Схему такого генератора можно увидеть в Интернет на сайте, расположенном по адресу http://shustikov.by.ru/

Для частоты 50 МГц элементы схемы имеют следующие значения: С1 = 22 пФ, С2 = 100 пФ, катушка L1 имеет 10 витков на каркасе диаметром 4 мм.

Для частоты 1500 МГц значения следующие: С1 = 0,5 пФ, С2 = 3,3 пФ, контур L1 выполнен в виде отрезка медного провода диаметром 1,5 мм и длиной 25 мм, который расположен параллельно основанию платы на высоте 3-4 мм.

Генераторы с кварцевой стабилизацией частоты

Во многих случаях генераторы с параметрической стабилизацией не могут обеспечить нужную стабильность генерируемой частоты.

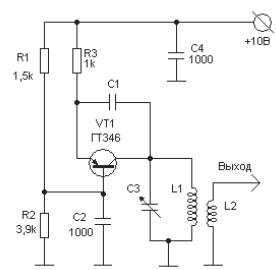


Рис. 5.6. Схема генератора

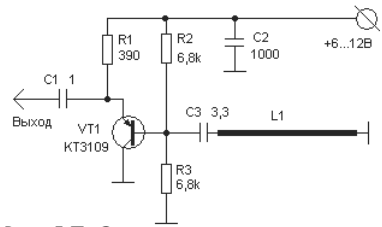


Рис. 5.7. Схема простого генератора

Особенно важной является стабильность частоты при создании аппаратуры для цифровых видов связи. Выход из создавшегося положения обычно находят в применении генераторов с кварцевой стабилизацией частоты, которые обычно называют кварцевыми генераторами (КГ).

В КГ значение генерируемой частоты задают тонкие пластинки, специально вырезанные под определенным углом из кристалла кварца, к которым в определенных местах подводится электрический ток. Рабочая частота такого *кварцевого резонатора* зависит от толщины и других размеров пластинки, а также от угла, под которым пластинка вырезана из куска кварцевого кристалла.

В диапазоне высоких, так же как и в диапазоне средних и низких частот, широко применяются КГ, собранные по емкостной трехточечной схеме. Принципиальная схема одного из вариантов такого КГ показана на рис. 5.8.

Собственно генератор выполнен на транзисторе VT1, а транзистор VT2 работает как буферный каскад, выполненный в виде эмиттерного повторителя. Буфер предназначен для ослабления связи генератора на VT1 с последующими каскадами, которые будут подключены к выходу КГ.

Все элементы этой и последующих схем генераторов можно определять по формулам расчета, приведенного выше, в первом разделе этой главы, а расчет некоторых других элементов схемы приведен ниже.

Резисторами R1 и R2 устанавливается величина тока, которая должна соответствовать выбранной для этого генератора мощности. Основная регулировка величины коллекторного тока транзистора выполняется изменением величины сопротивления резистора R1. С уменьшением сопротивления R1 коллекторный ток увеличивается, и наоборот. Если получается так, что величина резистора R2 очень мала, то последовательно с этим резистором можно включить дроссель, как это сделано на рис. 5.1.

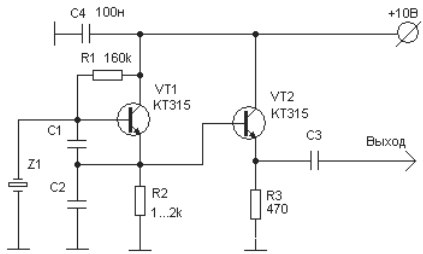


Рис. 5.8. КГ по емкостной трехточечной схеме

На рис. 5.9 показана схема КГ, выполненная по схеме емкостной трехточки, в которой задействованы два транзистора, соединенные между собой последовательно, по каскодной схеме.

Изображенный на рис. 5.9 генератор с кварцевой стабилизацией частоты предназначен в основном для работы на частотах до 30-40 МГц. Если вы сравните эту схему со схемой на рис. 5.1, то найдете много общего. Цепь базы на рис. 5.9 отличается от аналогичной цепи на рис. 5.1 наличием кварцевого резонатора Q1, резистора R1 и катушки L1 вместо LC контура на рис. 5.1. Цепь эмиттера VT1 на рис. 5.9 ничем не отличается от аналогичной цепи на рис. 5.1, те же самые конденсаторы C3 и C4, регулирующие величину обратной связи.

Транзистор VT2 добавлен (по сравнению со схемой рис. 5.1) для некоторого увеличения мощности генератора. Подобная схема, в которой последовательно соединены два транзистора, из которых один задействован по схеме с общим эмиттером, а второй – по схеме с общей базой, называется *каскодной схемой*.

В коллекторной цепи VT2 располагается контур L2C5C6, настроенный на одну из гармоник рабочей частоты кварца.

Резистор R6 в этой схеме играет довольно важную роль – препятствует возбуждению генератора на частоте настройки контура L2C5C6. Для КГ это очень важно.

Два конденсатора (C5 и C6) в контуре служат для того, чтобы подать сигнал на низкоомную нагрузку. Вы уже знаете (по рис. 5.1), что на низкоомную нагрузку сигнал можно подать и с дополнительной катушки связи. Каскодная схема генератора и подача выходного напряжения с точки соединения конденсаторов C5 и C6 мною применена в схеме на рис. 5.9 только для того, чтобы показать различные возможности создания схем генераторов.

Для работы на более высоких частотах, чем основная рабочая частота кварцевого резонатора, в схемы КГ приходится вносить дополнения, способствующие более надежной работе генератора на этих частотах. В основном четкая работа КГ на высокочастотных диапазонах достигается тем, что резонаторы в этом случае, как правило, возбуждаются на частотах высших гармоник – третьей, пятой и т. д.

Это позволяет создавать простые, экономичные и малогабаритные КГ в диапазоне 30-150 МГц.

В подобных генераторах необходимо обеспечить устойчивую работу резонатора на нужной гармонике электромагнитных колебаний. Для этого необходимо обеспечить гарантированную работу КГ на заранее назначенной гармонике или, как говорят, выполнить *выбор* специальных дополнений, улучшающих работу генератора на нужной более высокой частоте. Выбор (селекция) может быть выполнен(а) либо *по частоте,* либо *по амплитуде.*Метод выбора по амплитуде не находит применения в любительской практике и рассматриваться не будет.

На рис. 5.10 изображена схема, поясняющая один из принципов селекции по частоте.

На рис. 5.10 показана схема генератора с выбором гармоники посредством контура в цепи эмиттера. Обеспечить такой выбор (селекцию по частоте) можно, включив в схему генератора вместо одного из конденсаторов связи контур, *имеющий для частот низших гармоник*

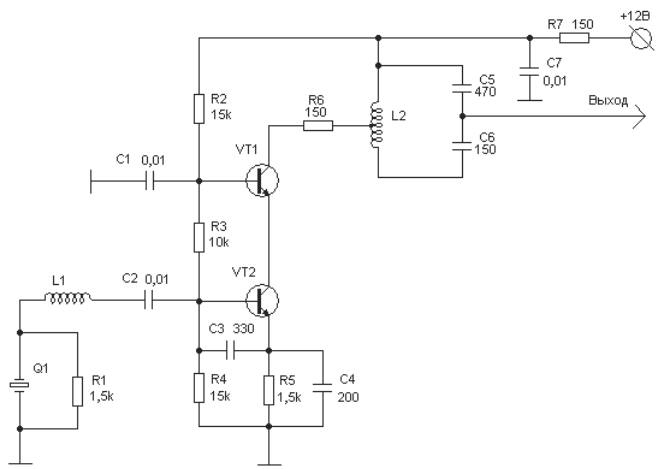


Рис. 5.9. Схема генератора с каскодным включением транзисторов

индуктивную реакцию, а для частоты гармоники, на которой необходимо обеспечить возбуждение, – емкостную.

Собственно КГ выполнен на транзисторе VT1. Каскад на транзисторе VT2 буферный, уменьшающий реакцию нагрузки на частоту генератора. В то же время этот каскад, благодаря контуру L3C7C8 в коллекторной цепи, служит и усилителем сигнала на частоте гармоники (частоте настройки контура L3C7C8). Генератор устойчиво работает при использовании кварцевых резонаторов, работающих с колебаниями третьего и пятого порядков на частотах до 150 МГц. Селекция нужной частоты гармоники осуществляется с помощью контура L2C5 в цепи эмиттера VT1. Элементы контура L2 и C5 рассчитываются исходя из необходимости обеспечения индуктивной реакции для колебаний низшего порядка.

Описание схемы. Резистор R1 предотвращает паразитное возбуждение через статическую емкость резонатора, R2, R3, R5 обеспечивают термостабилизацию рабочей точки и необходимый режим по постоянному току транзистора VT1. Нагрузкой VT1 служит резистор R4, с которого напряжение высокой частоты через разделительный конденсатор C3 подается на вход усилительного каскада на транзисторе VT2. Конденсаторы C1 и C4 – разделительный и блокировочный соответственно.

Резисторы R6, R7 и R8 служат для обеспечения необходимого режима транзистора VT2, конденсаторы C6 и C9 – блокировочные, R9 служит для обеспечения устойчивости работы усилительного каскада (предотвращения возбуждения на частоте контура L3C7C8). Контур L3C7C8 обеспечивает фильтрацию высших гармоник и согласование с нагрузкой.

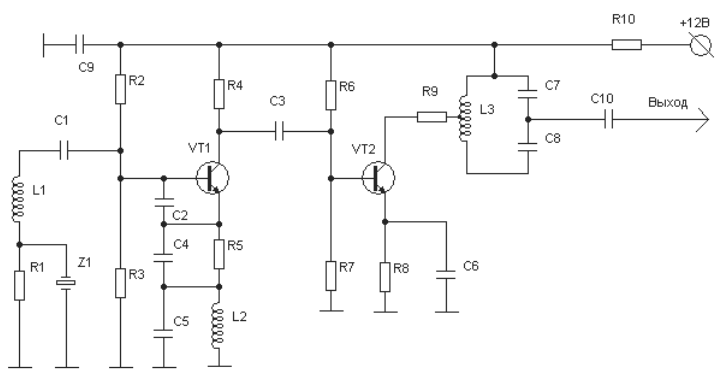


Рис. 5.10. Схема генератора с выбором гармоники

Если нет необходимости в установке рабочей частоты генератора и ее коррекции при эксплуатации, то индуктивность L1 можно исключить.

Пример простейшего расчета дополнительного контура

Профессиональный расчет элементов схемы кварцевого генератора представляет собой довольно громоздкое описание на двух и более страницах. Радиолюбители, как правило, подобных расчетов не делают и обходятся простейшими «прикидочными» расчетами, допуская приблизительные, обобщенные исходные данные, в которых используются упрощенные математические формулы, полученные в результате многих экспериментов. Ниже приводятся формулы, необходимые для расчета дополнительного контура, который включается в цепь эмиттера (L2C5 на рис. 5.10).

Для устойчивой работы в широком интервале температур частота настройки контура L2C5 обычно выбирается из условия $f_{рез} \le (0{,}6 - 0{,}8) f_Р$. Если контур настроен на более высокую частоту, то возрастают изменения частоты и напряжение генератора из-за изменения L2 и C5 (см. рис. 5.10).

Чтобы обеспечить на частоте гармоники, ближайшей к рабочей частоте генератора и расположенной ниже этой рабочей частоты, индуктивную реакцию контура, необходимо, чтобы резонансная частота контура удовлетворяла условию:

$$f_{рез} > \sqrt{f_Р \times f_{(n-2)}}, \qquad (5.1)$$

где $f_{рез}$ – частота настройки контура; $f_Р$ – рабочая частота, излучаемая генератором; $f_{(n-2)}$ – частота гармоники, ближайшей к рабочей частоте.

Следующими условиями обеспечиваются емкостная реакция контура на частоте генератора $f_Р$ и индуктивная реакция на частотах гармоник более низкого порядка. Элементы контура выбирают из соотношений:

$$C5 = C_{Э\text{-}К} / [\, 1 - (f_{рез} / f_Р)^2 \,], \qquad (5.2)$$

$$L2 = 1 / C5 \times (2\pi \times f_Р)^2 \times (f_{рез} / f_Р)^2, \qquad (5.3)$$

где $C_{Э\text{-}К}$ – емкость обратной связи, включенная между эмиттером и коллектором транзистора VT1, определенная при расчете схемы генератора (можно брать из табл. 5.1). Во всех трех формулах емкость

имеет размерность Ф (фарады), частота – МГц, индуктивность – Гн (генри).

Напоминаю соотношения единиц измерения:

$1Ф = 1\times10^{12}$ пФ, 1МГц = 1×10^{6} Гц, 1Гн = 1×10^{6} мкГн.

Ориентировочные данные о параметрах емкостной трехточечной схемы в диапазоне высоких частот приведены в табл. 5.1. Таблица может применяться при выполнении прикидочных расчетов КГ различных вариантов исполнения. Если в предыдущих расчетах (в начале этой главы) конденсаторы в цепи базы VT1 выбирались ориентировочно, то с помощью этой таблицы можно выбирать, особенно не задумываясь. А в принципе, это одно и то же.

Таблица 5.1. *Ориентировочные данные для расчетов*

Диапазон частот, МГц	Срез кварца	$R_к$, Ом	C_0, пФ	$C_{б-э}$, пФ	$C_{к-э}$, пФ	$\Delta f / f$, 10^{-8}	L, мкГн
20-90 (третья гармоника)	АТ (В) АТ (Г) БТ (В) БТ (Г) ИТ (В)	50-10 80-20 100-20 160-40 120-25	1,65 1,85 1,25 1,5 2,5	90-200 70-146 64-146 50-100 60-130	46-99 36-75 32-73 25-50 30-65	13 19 5 7 10	0,1-04 0,13-0,56 0,15-0,56 0,18-0,8 0,15-0,63
60-150 (пятая гармоника)	АТ (В) АТ (Г)	70-20 140-35	1,4 1,2	40-75 30-60	20-40 14-30	9 11	0,08-0,38 0,12-0,35
120-200 (седьмая гармоника)	АТ (В) АТ (Г)	110-30 180-50	2,1 2,25	20-40 15-30	10-20 8-16	13 18	0,1-0,13 0,12-0,16

Примечание. Приняты следующие обозначения: В – корпус вакуумный, Г – корпус герметизированный.

1. **Расчет для третьей гармоники.** Имеется кварцевый резонатор на частоту 20 МГц, на базе которого нужно создать генератор с рабочей частотой 60 МГц (третья гармоника кварца).

При этих данных частота настройки дополнительного контура L2C5 должна удовлетворять условию (формула 5.1):

$$f_{рез} \geq \sqrt{f_Р \times f_{(n-2)}} \geq \sqrt{60 \times 20} \geq 34{,}6 \text{ МГц}$$

С другой стороны, резонансная частота контура должна соблюдать следующее условие: $f_{рез} \leq (0{,}6\text{-}0{,}8)\, f_Р = (60 \times 0{,}6 - 60 \times 0{,}8) = (36 - 48)$ МГц. Весь полученный интервал частот больше величины 34,6 МГц,

поэтому частота настройки контура может быть любой в полученных пределах. Назначим частоту настройки контура L2C5 равную 42 МГц.

Далее определяем емкость конденсатора С5.

Из табл. 5.1 находим, что эквивалентная емкость контура $C_{Э\text{-}К}$ = 36-75 пФ. По формуле (5.2) получим:

$C5 = (36\text{-}75) / [1-(42/60)^2] = (36\text{-}75) / (1 - 0{,}49) = 71 - 146$ пФ.

По формуле (5.3) определяем индуктивность контура

$$L2 = 1 / C5 \times (2\pi \times f_Р)^2 \times (f_{рез} / f_Р)^2 = 1 / (71\text{-}146) \times 10^{-12} \times (2 \times 3{,}14 \times 60 \times 10^6)^2 \times (42 \times 10^6 / 60 \times 10^6)^2 = 1 / (4{,}94\text{-}10{,}157) \times 10^6 = (0{,}000000204\text{-}0{,}000000098)\ Гн = (0{,}20\text{-}0{,}098)\ мкГн$$

2. **Расчет для пятой гармоники**

Имеем кварцевый резонатор на частоту 20 МГц, на базе которого нужно создать генератор, работающий на пятой гармонике кварца, – 100 МГц.

При работе на частоте 100 МГц и использовании резонаторов с колебаниями пятой гармоники резонансная частота контура L2C5 должна удовлетворять условиям

$$f_{рез} \geq \sqrt{f_Р \times f_{(n-2)}} \geq \sqrt{100 \times 60} \geq 78\ МГц$$

С другой стороны, резонансная частота контура должна выбираться из условия

$$f_{рез} = (0{,}6\text{-}0{,}8) \times f_Р = (0{,}6\text{-}0{,}8) \times 100 = (60 - 80)\ МГц$$

Таким образом, назначим величину $f_{рез}$ = 79 МГц. Из табл. 5.1 находим, что эквивалентная емкость контура $C_{Э\text{-}К}$ = 30-60 пФ.

По формуле (5.2) получим:

$$C5 = (30\text{-}60) / [1 - (79 / 100)^2] = (30\text{-}60) / 0{,}38 = 79\text{-}157\ пФ$$

По формуле (5.3) определяем индуктивность контура

$$L2 = 1 / C5 \times (2\pi f_Р)^2 \times (f_{рез} / f_Р)^2 = 1 / (79\text{-}157) \times 10^{-12} \times (2 \times 3{,}14 \times 100 \times 10^6)^2 \times (79 / 100)^2 = 1 / (79\text{-}157) \times 10^{-12} \times 628 \times 10^{12} \times 0{,}62 = (0{,}000000051 - 0{,}000000024)\ Гн = (0{,}051\text{-}0{,}024)\ мкГн$$

Аналогично определяются L2 и С5 для любой частоты в диапазоне 30-150 МГц. Ориентировочные значения емкости С2 выбираются в соответствии с данными табл. 5.1.

Резонатор в цепи обратной связи

Как уже было сказано, кроме емкостной трехточечной схемы в диапазоне высоких частот применяются и схемы с кварцевым резонатором в цепи обратной связи. Такие схемы позволяют обеспечить ту же мощность в нагрузке при меньшей мощности, рассеиваемой на резонаторе, по сравнению с емкостными трехточечными схемами. Однако КГ, собранные по схеме с резонатором в цепи обратной связи, имеют худшую стабильность частоты, что необходимо учитывать при выборе схемы.

На рис. 5.11 приведена схема КГ с резонатором в цепи обратной связи, параметры элементов приведены для частоты примерно 100 МГц. Катушка индуктивности L включена для компенсации статической емкости резонатора. Генератор устойчиво работает на частотах до 250-300 МГц.

Еще одна схема КГ с резонатором в цепи отрицательной обратной связи приведена на рис. 5.12.

Производить выбор той или иной схемы генератора с кварцевой стабилизацией частоты следует исходя из конкретных условий и требований к стабильности частоты. Также стоит учитывать имеющееся наличие радиодеталей.

Нейтрализация емкости резонатора

При разработке высокочастотных КГ необходимо принимать меры к устранению шунтирующего влияния на резонатор емкости С0, особенно на частотах выше 100 МГц.

На частотах выше 100 МГц в КГ применяются способы нейтрализации и компенсации статической емкости, причем наиболее широко – способ компенсации как простой и эффективный.

Компенсация C_0 осуществляется подключением параллельно кварцевому резонатору катушки с определенной индуктивностью, значение которой выбирается из условия равенства реактивных сопротивлений C_0 и катушки (по абсолютному значению) на частоте генерации.

Определить индуктивность компенсационной катушки можно исходя из условия, что в резонансном контуре величины реактивных сопротивлений индуктивности и емкости равны между собой. Математически это условие записывается в виде простой формулы :

$X_L = X_C$, где $X_L = 2\pi \times f \times L$, $X_C = 1 / 2\pi \times f \times C$

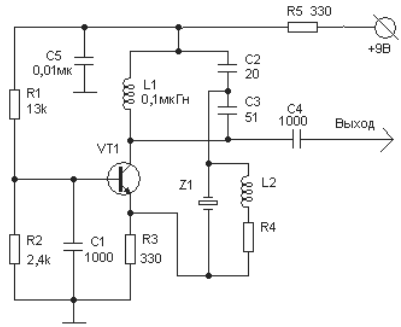


Рис. 5.11. Схема КГ с кварцевым резонатором в цепи обратной связи

Из приведенных выше соотношений следует вывод основной формулы резонансного колебательного контура, по которой можно рассчитать любой элемент контура:

$2\pi \times f \times L = 1 / 2\pi \times f \times L$

Недостатком этой записи известного соотношения является то, что все элементы формулы измеряются в *основных единицах измерения* (герц, фарада, генри), что не всегда удобно. Если провести преобразование соотношения к более удобным единицам измерения – МГц, пФ и мкГн, то получится удобная запись:

$f^2(\text{МГц}) \times L(\text{мкГн}) \times C(\text{пФ}) = 2{,}533 \times 10^4$

Отсюда легко получается формула для вычисления любого параметра резонансного контура:

$$f^2(\text{МГц}) = 2{,}533 \times 10^4 / L(\text{мкГн}) \times C(\text{пФ}), \qquad (5.4)$$

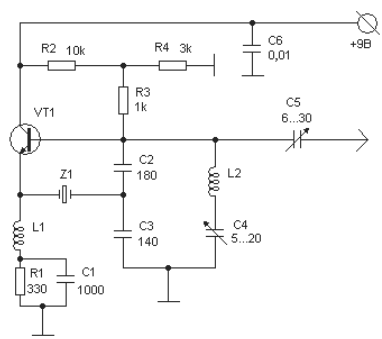


Рис. 5.12. Схема Батлера

$$C(\text{пФ}) = 2{,}533 \times 10^4 / f^2(\text{МГц}) \times L(\text{мкГн}), \quad (5.5)$$

$$L(\text{мкГн}) = 2{,}533 \times 10^4 / f^2(\text{МГц}) \times C(\text{пФ}). \quad (5.6)$$

Если нам известна величина емкости C_0 (можно выбрать из табл. 5.1), то легко вычисляется необходимая величина индуктивности по формуле (5.6).

Например, C_0 = 1,5 пФ и резонансная частота f = 50 МГц. Тогда величина индуктивности параллельной кварцевому резонатору катушки будет:

$$L(\text{мкГн} = 2{,}533 \times 10^4 / f^2(\text{МГц}) \times C(\text{пФ}) = 2{,}533 \times 10^4 / (50)^2(\text{МГц}) \times 1{,}5(\text{пФ}) = 2{,}533 \times 10^4 / 2500 \times 1{,}5 = 6{,}7\text{мкГн}$$

Следует заметить, что этой формулой мы уже пользовались при расчете контурной катушки для генератора с параметрической стабилизацией частоты.

Высокочастотные КГ выполняются также и по схеме с резонатором в цепи обратной связи. При этом в них применяются компенсации C_0 и селекция нужной частоты резонатора. В качестве элементов активной части высокочастотных КГ используются транзисторы, микросхемы, по частотным свойствам удовлетворяющие условию, позволяющие получить устойчивую работу КГ.

КВАРЦЕВЫЙ ГЕНЕРАТОР С ИЗМЕНЕНИЕМ ЧАСТОТЫ

В этом разделе я хочу рассказать о том, как можно выполнить стабилизированный кварцем генератор с плавным изменением частоты. Подобные генераторы стали применяться радиолюбителями с 70-х годов прошлого столетия, но достаточно подробного описания методов построения и настройки подобных генераторов я нигде в любительской литературе не встречал. Ниже мною будет приведено описание экспериментов с одним из вариантов подобного генератора, затем будут даны рекомендации по разработке кварцевого генератора с плавным изменением частоты.

Экспериментальный генератор

Чтобы выявить роль и влияние катушки индуктивности в процессе плавного изменения генерируемых кварцевым генератором частот электромагнитных колебаний, мною был построен небольшой стенд,

основу которого представлял экспериментальный кварцевый генератор (КГ).

Генератор выполнен по схеме индуктивной трехточки. Схема генератора представлена на рис. 5.13.

Генератор выполнен по схеме емкостной трехточки и не имеет каких-либо особенностей. Транзистор VT1 выполняет функцию собственно генератора, частота генерируемой энергии которого стабилизирована кварцем Z1, а каскад на VT2 является эмиттерным повторителем, который служит для уменьшения влияний цепи измерительного прибора A1 на частоту генератора. Катушка индуктивности L1 и конденсатор C1 служат для изменения частоты генерируемых электромагнитных колебаний. Питается генератор от стабилизированного источника напряжения +9 В.

Конденсатор C1 имеет величину 75 пФ, катушка L1 состоит из 45 витков провода ПЭЛ-0,3, намотана на каркасе диаметром 9 мм, между щечками с расстоянием 5 мм. Катушка имеет подстроечный сердечник серого цвета (по-видимому, из альсифера) с резьбой М6 × 0,75. Число витков катушки L1 выбрано по результатам проведенных ранее других подобных экспериментов.

В схеме использовался кварц А523 (7,692 МГц) от старинной УКВ радиостанции РСИУ, корпус которого представляет собой пластмассовый цилиндр коричневого цвета, диаметром 20 мм и длиной 40 мм с двумя выводами от держателей кварцевой пластины.

Все остальные радиодетали каких-либо особенностей не имеют, обычный «ширпотреб».

В качестве прибора для измерения излучаемой генератором частоты использовался связной коротковолновый радиоприемник Р-250М. Контроль за наличием излучаемых генератором электромагнитных колебаний осуществлялся вольтметром переменного тока A1.

Рассмотрим подробно процесс проведения эксперимента.

1. Сначала следует убедиться в работоспособности генератора. Для этого нижний по схеме вывод от кварца подключаем непосредственно к земле, включаем питание и по приемнику находим излучаемый генератором сигнал. При этом радиоприемник должен находиться в режиме приема телеграфных сигналов, чтобы можно было наиболее точно настраиваться на частоту излучаемых колебаний по нулевым биениям. Нулевые биения соответствуют такой настройке приемника, когда на выходе радиоприемника никаких звуковых сигналов не прослушивается, но стоит только хотя бы немного повернуть ручку настройки

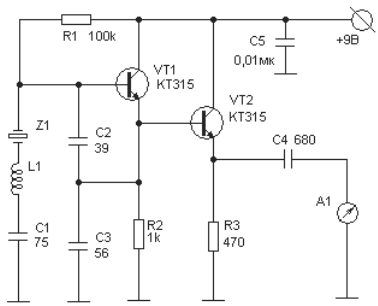


Рис. 5.13. Схема кварцевого генератора

приемника в ту или иную сторону, то тут же на выходе приемника появляется гармонический звуковой сигнал. Вольтметр А1 должен показывать какую-то величину, подтверждающую излучение генератором электромагнитной энергии, то есть подтверждающую работу генератора. Записываем величину излучаемой частоты.

2. Восстанавливаем подключение катушки L1 к нижнему выводу кварца. При этом подстроечный сердечник должен быть полностью выведен из катушки, то есть катушка должна иметь минимально возможную для нее величину индуктивности. Включаем питание. При этом вольтметр А1 должен сразу же подтвердить работу генератора. Частота излучаемых генератором колебаний при этом включении несколько (незначительно) должна измениться по сравнению с предыдущим включением. Настраиваем радиоприемник на новую частоту по нулевым биениям, записываем величину этой частоты и присваиваем ей номер 1. Вводим в корпус катушки подстроечный сердечник. Делать это следует очень осторожно и медленно, чтобы не пропустить момент возникновения на выходе радиоприемника гармонического звукового сигнала, подтверждающего факт начала влияния сердечника на индуктивность катушки. Как только появится сигнал, следует повернуть сердечник в обратную сторону, до момента отсутствия сигнала.
3. Далее начинается основной этап проведения эксперимента. Для этого вводим подстроечный сердечник в катушку ровно на один оборот сердечника. При этом изменится индуктивность

катушки, что повлечет за собой изменение частоты излучаемых генератором электромагнитных колебаний. Записываем новую величину частоты под номером 2.

4. Вводим подстроечный сердечник в катушку еще ровно на один оборот и записываем новую величину частоты по номером 3.
5. Точно таким же образом вводим сердечник в катушку еще на один оборот и записываем новую величину частоты под следующим порядковым номером. Такую процедуру следует проводить несколько раз. При этом необходимо постоянно контролировать наличие показаний вольтметра А1. Если стрелка вольтметра упала до нуля, значит, генератор перестал работать, и эксперимент считаем законченным.

В моем случае удалось до прекращения генерации ввести сердечник внутрь катушки на 10 оборотов. Результаты проведенного мною эксперимента приведены в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Шаг	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Частота, МГц	7,962	7,961	7,960	7,959	7,957	7,953	7,944	7,924	7,843	7,771

Каждое из полученных значений частоты соответствует определенной величине индуктивности катушки, заданной положением подстроечного сердечника и определенной величиной емкости конденсатора С1.

Если вместо конденсатора постоянной емкости величиной 75 пФ установить конденсатор переменной емкости 4-75 пФ, то при минимальной емкости этого переменного конденсатора (4 пФ) излучаемая генератором частота будет равна максимально возможной частоте, то есть очень близкой к частоте в шаге 1 (7,962 МГц для данного случая).

При максимальной частоте переменного конденсатора (75 пФ) частота генерируемых колебаний будет определяться положением подстроечного сердечника внутри катушки. Например, если индуктивность катушки соответствует положению шага 5, то при максимальной емкости переменного конденсатора генерируемые колебания будут иметь частоту 7,957 МГц. При изменении емкости переменного конденсатора от минимума (4 пФ) до максимума (75 пФ) частота генерируемых кварцевым генератором электромагнитных колебаний

будет плавно изменяться от 7,962 до 7,957 МГц, то есть диапазон изменения частоты будет составлять 7,962 – 7,957 = 0,005 МГц = 5 кГц.

Максимально возможный диапазон перестройки частоты для данного кварца будет иметь место при максимально допустимой индуктивности катушки L1. В данном случае максимально допустимая индуктивность получается в шаге 10. При этом максимально возможный диапазон перестройки частоты будет составлять

7,961 – 7,771 = 0,090 МГц = 90 кГц. Это довольно большой диапазон перестройки, но следует помнить, что с увеличением диапазона перестройки ухудшается стабильность частоты кварцевого генератора. В каждом отдельном случае нужно находить какую-то оптимальную величину диапазона перестройки, исходя из допустимой для создаваемого аппарата стабильности генерируемой частоты.

Как правило, радиолюбитель использует только какой-то узкий диапазон частот. Например, любитель дальних связей телеграфом постоянно работает только на DX-участке диапазона, владелец пакетной радиостанции, работающей постоянно в составе любительской пакетной сети, использует практически одну фиксированную частоту. Если учесть, что коротковолновый любительский диапазон имеет ширину 100 кГц, то иметь исключительно простой в изготовлении и наладке кварцевый генератор с плавным изменением частоты в пределах 50 кГц – это находка для радиолюбителя, не желающего возиться со сложнейшими схемами синтезаторов.

Большие возможности имеет принцип плавного изменения частоты кварцевых генераторов при построении УКВ гетеродинов. Дело в том, что в этих гетеродинах используются каскады умножения частоты. При этом диапазон перестройки частоты при переходе от одного каскада к другому увеличивается пропорционально увеличению частоты. Например, после удвоения частоты диапазон перестройки увеличивается в два раза, после утроения частоты – в три раза и т.д.

КАК ЕЩЕ БОЛЬШЕ РАСШИРИТЬ ДИАПАЗОН ПЕРЕСТРОЙКИ КГ

Дальнейшее расширение диапазона плавной перестройки частоты кварцевого генератора можно получить путем подключения параллельно кварцу Z1 еще нескольких аналогичных кварцев. Один из вариантов построенного по этому принципу генератора описан В. Артеменко (UT5UDJ) в статье «ГПД на основе перестраиваемого

кварцевого генератора», опубликованной в журнале «Радиомир. КВ и УКВ» №3 за 2003 год.

Мною проведен ряд экспериментов, в которых использовалось параллельное подключение нескольких кварцев. При этом использовалась экспериментальная установка, схема которой приведена на рис. 5.13. Несколько изменена была только цепочка, состоящая из Z1, L1 и C1. Новый вариант этой цепочки последовательно включенных элементов представлен на рис. 5.14.

На рис. 5.14 показано, что параллельно кварцу Z1 могут быть подключены точно такие же по номиналу кварцы (Z1а, Z1б и Z1в), изготовленные одним и тем же предприятием. Катушка L1 должна быть подобрана именно для примененного в данный момент кварца Z1. К нижнему по схеме выводу катушки L1 подсоединены четыре конденсатора постоянной емкости (C1а, C1б и C1в), которые переключателем S1 могут поочередно подключаться на землю. Это как бы своеобразный имитатор конденсатора переменной емкости, созданный из элементов с фиксированной емкостью.

Продолжим далее описанный выше эксперимент с целью определить влияние числа подключенных параллельно одинаковых кварцев на ширину диапазона плавной перестройки кварцевого генератора.

Мною было проведено много экспериментов с различными кварцами. Не все кварцы с распростертыми объятиями принимали подключаемого к ним соседа, но большинство из них прилично работали с одним или двумя параллельными кварцами. Лучше других допускали параллельное подключение высокочастотные кварцы (13,5-22,5 МГц), конструктивно выполненные в малогабаритных металлических корпусах. Кварцы от радиостанции РСИУ (в цилиндрических карболитовых корпусах) работали не более чем с двумя параллельно подключенными такими же кварцами. Высокочастотные кварцы в малогабаритных металлических корпусах хорошо работали даже с тремя параллельно подключенными кварцами, но при этом тон биений становился дребезжащим и ухудшалась стабильность генерируемой частоты.

На рис. 5.15 приведены графические зависимости частоты генерируемых колебаний от количества подключенных параллельно одинаковых кварцевых резонаторов на частоту 22,5 МГц.

Кривая 1 на графике рис. 5.15 получена при единственном кварце, кривая 2 – при двух параллельно подключенных кварцах, кривая 3 – при трех кварцах и кривая 4 – при четырех кварцах.

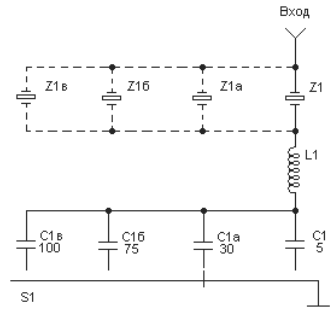


Рис. 5.14. Схема цепочки корректирующих элементов

Ширина диапазона генерируемых частот при четырех подключенных кварцах впечатляет, но сигнал становится дребезжащим и стабильность резко ухудшается. Однако в некоторых случаях подобными явлениями стоит пренебречь, уделив побольше внимания жесткости конструкции генератора, жесткому креплению самого кварца и катушки L1.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАЗРАБОТКЕ ГЕНЕРАТОРА

При создании нового генератора первым делом следует убедиться в работоспособности кварца. При этом следует помнить, что кварцы одного и того же номинала могут иметь различную способность вызывать генерирование электромагнитной энергии или, как говорят, могут иметь различную активность. Если в наличии имеются несколько одинаковых кварцев, то для генератора с плавным изменением частоты следует выбирать наиболее активный кварц, то есть тот кварц, который способен создать наибольшую амплитуду генерируемой частоты, измеренную вольтметром A1. При всех проверках работоспособности кварцев катушка L1 и конденсатор C1 должны быть исключены из схемы, а нижний по схеме вывод кварца должен быть подключен к земле.

Если вдруг окажется, что ни один из имеющихся кварцев не вызывает генерацию электромагнитных колебаний и стрелка вольтметра A1 находится на нуле и при подключении питания не шевелится, то следует убедиться в работоспособности транзисторов VT1 и VT2, а также всех входящих в схему пассивных деталей – конденсаторов и резисторов.

Если вы полностью убеждены в работоспособности всех элементов схемы и если схема нормально работает с заведомо исправным

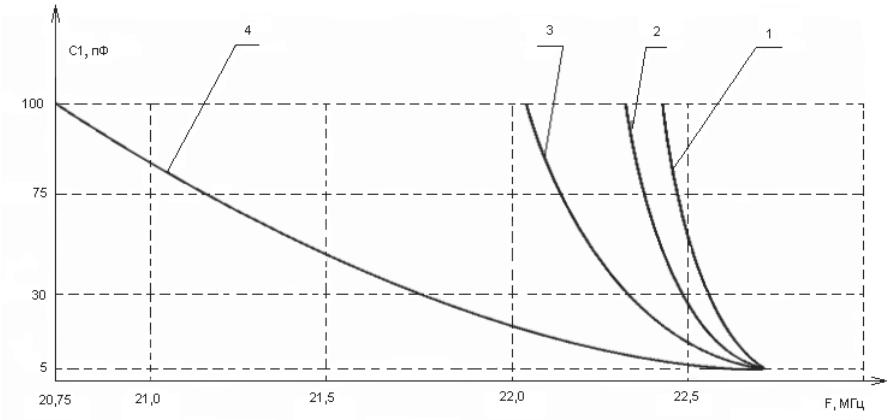


Рис. 5.15. Зависимости частоты колебаний от числа кварцев

кварцем, то нужно заняться подбором конденсаторов С2 и С3. Эти конденсаторы определяют величину положительной обратной связи, которая влияет на процесс генерации. Вы должны параллельно каждому из этих конденсаторов подключить по еще одному конденсатору примерно с такой же емкостью. Затем емкости подключаемых конденсаторов можно увеличить. Часто бывает так, что амплитуда генерируемых колебаний бывает больше, если емкость конденсатора С2 много меньше емкости конденсатора С3. Соотношение величин этих емкостей также следует подбирать, контролируя показания вольтметра А1.

После того как вы достигли максимальных показаний вольтметра А1, следует нижний по схеме вывод кварца Z1 подключить на землю через конденсатор постоянной емкости величиной 75 или 100 пФ (катушку L1 не подключать). В этом положении следует проверить работоспособность генератора с подключенным последовательно с кварцем конденсатором. Затем можно провести эксперименты с заменой этих конденсаторов на другие, с меньшими емкостями или подключить конденсатор переменной емкости 5-100 пФ. Если генератор перестает работать при малых величинах емкостей, то параллельно конденсатору переменной емкости нужно подключить подстроечный конденсатор и установить его на минимальную емкость, при которой уже начинается работа генератора, то есть минимальная емкость переменного конденсатора и емкость подстроечного конденсатора в сумме должны обеспечить начало работы генератора.

Далее между нижним выводом кварца Z1 и конденсатора С1 следует включить катушку L1. Катушка должна иметь индуктивность

порядка 16 мкГн и иметь подстроечный сердечник. Для начала можно взять конструкцию катушки, принятую в моем эксперименте. При первом подключении катушки (подстроечный сердечник должен быть удален из катушки) возможны следующие случаи.

Генератор не хочет работать с подключенной катушкой. Это может быть в том случае, если индуктивность катушки велика. При этом следует отмотать от катушки часть витков и продолжить эксперимент.

Если генератор нормально работает с подключенной катушкой L1, то нужно ввести в катушку подстроечный сердечник. Делать это следует осторожно, постепенно вводить сердечник и одновременно наблюдать за стрелкой вольтметра А1. Если при каком-то положении сердечника генератор перестает работать, то следует вывести сердечник назад и убедиться в возобновлении работы генератора. Такая катушка может быть использована в схеме нового генератора и позволит выполнить максимально возможный для этого кварца диапазон перестройки частоты.

Если при работающем генераторе сердечник полностью введен в катушку, а генерация не прерывается, то следует на эту катушку домотать какое-то количество витков, а затем снова убедиться в том, что генератор прекращает работать при определенном положении подстроечного сердечника и снова начинает работать при выводе сердечника из катушки.

Таким образом можно добиться нормальной работы генератора. Далее следует установить величину диапазона перестройки частоты новым генератором. Все это можно легко выполнить по методике, описанной в предыдущем моем эксперименте. Совет один – не стоит устанавливать максимальную величину диапазона перестройки частоты вашего генератора, если хотите получить высокую стабильность частоты.

ЕСЛИ НЕТ КВАРЦА...

Если нет кварца на нужную частоту, то выход можно найти двумя путями:

- Получить нужную частоту путем сложения или вычитания частот двух отдельных кварцев. Например, необходимую частоту 2,3 МГц можно получить в результате применения кварца с частотой 7,62 МГц и кварца с частотой 5,32 МГц.
- Получить нужную частоту можно путем применения схемы деления имеющейся частоты на определенный делитель. Напри-

мер, необходимую частоту 2,66 МГц можно получить при делении частоты указанного выше кварца 5,32 МГц на делитель 2.

На рис. 5.16 представлена схема, которую я применяю для получения необходимой частоты путем вычитания или сложения частот двух отдельных кварцев.

Схема представляет собой два кварцевых генератора, выполненных на транзисторах VT1 и VT2. Притом генератор на VT1 выполнен по схеме с плавной перестройкой частоты. Сигналы от каждого из этих генераторов через конденсаторы C4 и C7 поступают, соответственно, на трансформаторы T1 и T2. Эти два трансформатора совместно с четырьмя диодами VD1-VD4 создают балансный смеситель частот. На выходе из смесителя располагается колебательный контур L2C5C6, который может быть настроен либо на сумму, либо на разность частот, генерируемых кварцевыми генераторами на VT1 и VT2. Каскад на транзисторе VT3 является усилителем частоты, на которую настроен контур L2C5C6. Далее через конденсатор C10 колебания с необходимой нам частотой можно подавать на любые другие каскады, например, на каскады умножения частоты или последующего сложения с другими сигналами. Или на усилитель, если данная схема служит генератором вспомогательных сигналов.

В устройстве применены обычные широко применяемые радиодетали. В используемом мною аппарате кварц Z1 имеет частоту собственных колебаний 7,961 МГц, а кварц Z2 – 5,661 МГц. Оба кварца – от радиостанции РСИУ. Катушка L2 намотана на каркасе диаметром 9 мм между двумя щечками с расстоянием 5 мм. Трансформаторы T1 и T2 выполнены на ферритовых кольцах 7×4×2 с магнитной проницаемостью 600. Как показали многочисленные опыты, величина магнитной проницаемости в подобных конструкциях большого значения не имеет. Можно применять ферритовые кольца других размеров. Каждый из трансформаторов имеет по 10 витков специального жгутика, выполненного из трех проводов ПЭЛ-0,3. Изготавливается такой трансформатор следующим образом.

1. Сначала определяется длина провода, которая сможет обеспечить выполнение 10 витков на выбранном вами кольце, плюс 4-6 мм на выводы.
2. Затем отрезаются три одинаковых кусочка изолированного провода (например, ПЭЛ-0,2) и свиваются вместе в один жгутик.

3. Наматывать жгутик на кольцо нужно очень осторожно, чтобы не повредить изоляцию провода. После намотки следует очистить от изоляции и полудить кончики проводов, проверить омметром отсутствие замыкания между проводами.
4. Омметром находим конец и начало первичной обмотки и отгибаем их в сторону. У двух оставшихся проводов соединяем начало одного провода с концом другого. Это будет средняя точка вторичной обмотки трансформатора. Проверяем омметром прохождение тока через вторичную обмотку. Эту операцию необходимо проводить всегда, так как очень часто бывают ошибки при соединении начала одного провода с концом другого при создании вторичной обмотки.

В схеме смесителя можно применять любые высокочастотные диоды.

Число витков катушки L2 и емкости конденсаторов C5 и C6 выбирается исходя из условия получения нужной частоты колебательного контура. Расчет числа витков катушек индуктивности различных конструкций можно выполнить при помощи компьютерной программы INDUKTIW, которая находится в Интернете на сайте по адресу http://ra3xb.narod.ru/.

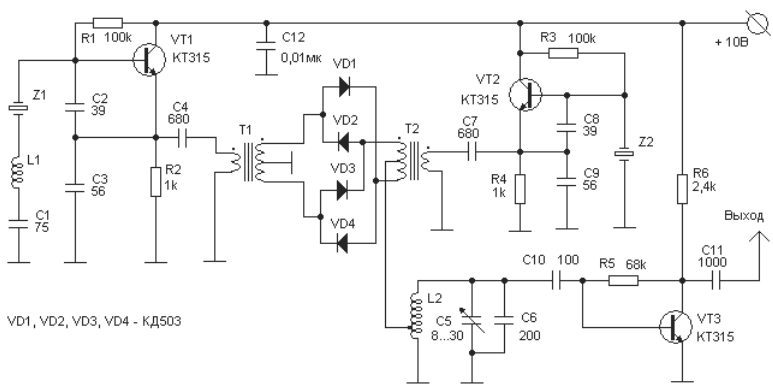


Рис. 5.16. Схема получения разностной или суммарной частоты

ГЛАВА 6.
УСИЛИТЕЛИ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ И КОНВЕРТЕРЫ

Отдельные блоки УВЧ 122
УВЧ с низкоомным входом и выходом..... 123
УВЧ для телевизионных каналов ДМВ..... 124
УВЧ с умножителем добротности..... 125
УВЧ для других диапазонов 127
Малошумящий узкополосый УВЧ..... 132
Конвертеры для УКВ диапазонов..... 132
Конвертер для приема на диапазоне 29 МГц..... 132
Конвертер для диапазона 145 МГц..... 134
Конвертер 145 МГц на полевых транзисторах..... 137
Конвертер на двухзатворных полевых транзисторах 141
Еще один конвертер на 145 МГц..... 144
Конвертер для диапазона 435 МГц..... 144
Конвертеры для диапазона 1296 МГц 149
Конвертер 1296/144 МГц..... 149
Еще один конвертер на диапазон 1296 МГц ..150
Телевизионные конвертеры ДМВ 151
Простой конвертер для ДМВ 152
Высокочувствительный конвертер ДМВ 153
Конвертер для диапазона СВЧ..... 157
Настройка УВЧ..... 158

Усилитель Высокой Частоты (УВЧ) является первичным звеном радиоприемника, которое связывает приемник с антенной. Очень часто радиолюбители для названия этого устройства применяют слово «преселектор», которое можно расшифровать как «предварительный выбор частоты». На мой взгляд, понятие «УВЧ» имеет более широкий смысл, чем понятие «преселектор». Главная задача преселектора состоит в «выборе частот», то есть в выделении нужного сигнала из общей массы поступающих на антенное устройство ВЧ сигналов. УВЧ кроме селекции должен также и усиливать выбранные сигналы.

К УВЧ любого приемника предъявляются следующие основные требования.

- Необходимость ослабления сигналов на побочных каналах приемника (то есть на зеркальной и промежуточной частотах радиоприемника), при этом ослабление полезного сигнала, поступающего из антенны, должно быть минимальным. Ослабление всех нежелательных сигналов характеризует **избирательность УВЧ**.
- УВЧ должен усиливать поступающий от антенны сигнал, при этом следует уделить внимание тому, чтобы УВЧ не вносил повышения шумов**. Минимальные шумы** – это самое основное требование к УВЧ для УКВ приемной аппаратуры. В густонаселенных радиолюбителями районах УВЧ, кроме того, должен способствовать увеличению динамического диапазона радиоприемника, поскольку при этом снижаются уровни помех в тракте усилителя радиочастоты и на входе смесителя. Но это в большей степени относится к приемникам КВ.
- УВЧ должен быть хорошим **согласующим устройством** между входным волновым сопротивлением фидера приемной антенны и первым каскадом усиления УВЧ (или смесителя). Равенство этих сопротивлений обеспечивает максимальную передачу высокочастотной энергии на вход первого каскада УВЧ приемника (или смесителя). От качества согласования зависит чувствительность радиоприемника.

При высоком уровне помех между антенным входом и УВЧ применяют специальные ВЧ фильтры. Эти фильтры могут быть как перестраиваемыми, так и не перестраиваемыми по частоте. Для работы в различных участках УКВ диапазонов применяют, как правило, фильтры неперестраиваемые. Перестраиваемый преселектор с высо-

кой избирательностью для низкочастотных УКВ диапазонов можно выполнить на спиральных резонаторах, которые представляют собой полые металлические цилиндры или прямоугольные коробки, внутри которых на равных расстояниях от стенок размещены катушки индуктивности. Внутренняя поверхность цилиндров или коробок должна иметь хорошую проводимость на высоких частотах, поэтому она должна быть возможно более гладкой, и, как правило, эту поверхность серебрят. Рассмотрение конструкций спиральных резонаторов не входит в число задач этой книги.

УВЧ должен усиливать принимаемый сигнал до уровня, превышающего уровень шумов смесителя. Уровень шумов УВЧ в наибольшей мере определяет уровень шумов приемника и, следовательно, **чувствительность приемника**. Поэтому все элементы УВЧ и в особенности транзисторы выбирают с учетом их шумовых параметров. Граничные частоты транзисторов УВЧ должны быть по крайней мере в 3-5 раз выше рабочей частоты. Ток коллектора в рабочей точке не рекомендуется выбирать меньше 0,5-1 мА, так как при этом сильно сказывается зависимость параметров транзистора от температуры и значительно уменьшается крутизна транзистора.

Перечисленные выше требования к УВЧ дают основание к тому, чтобы в этой книге рассматривать не конкретно схему только каскадов УВЧ, а дополнить эти схемы схемами устройств согласования УВЧ с фидерами антенн и смесителями. Поэтому мною принято решение в этой главе приводить схемы реально существующих и полностью работоспособных принципиальных электрических схем так называемых **конвертеров**, которые включают в себя фильтр ВЧ, УВЧ, смеситель и первый каскад УПЧ. Иногда будут в состав конвертера включены и схемы гетеродинов, если они будут достаточно простые.

ОТДЕЛЬНЫЕ БЛОКИ УВЧ

В этом разделе я привожу схемы и краткое описание отдельных блоков, которые могут применяться как отдельные от основного приемника, самостоятельные внешние блоки усиления высокой частоты. Как правило, эти внешние УВЧ стоит применять, если вы используете радиоприемник с недостаточной чувствительностью.

Проверить достаточность чувствительности вашего УКВ приемника очень просто. Для этого нужно приемник с подключенной антенной настроить на чистый от станций участок диапазона и замкнуть антенный вход приемника на корпус (на землю). Если вы при этом

наблюдаете *резкое снижение шумов* на выходе приемника, то чувствительность вашего приемника вполне достаточная.

Но если резкого снижения шумов не наблюдается или никакого снижения нет вообще, то это означает, что вы должны либо улучшить согласование антенны с фидером, либо увеличить чувствительность приемника путем добавления внешних малошумящих каскадов усиления высокой частоты.

Иногда внешний усилитель подключают непосредственно к антенне. В этом случае УВЧ должен быть защищен от попадания влаги и хорошо согласован с одной стороны с выходом антенны, с другой стороны – с антенным фидером. Также необходимо решить вопрос с подачей питания на этот антенный усилитель. Несколько схем антенных усилителей рассматриваются в последних главах книги, где описаны УКВ антенны.

УВЧ с низкоомным входом и выходом

На рис. 6.1 показана схема малошумящего УВЧ, предназначенная для работы в качестве первого каскада.

В схеме применен сверхвысокочастотный малошумящий транзистор VT1 типа КТ3132 или КТ3101. УВЧ не имеет резонансных контуров, и в качестве нагрузки транзистора работает высокочастотный трансформатор Тр1, намотанный на кольце диаметром 7-8 мм из феррита марки 50ВЧ. Изготовленный по этой схеме с указанными элементами УВЧ может работать в диапазоне частот от 50 до 200 МГц. Если использовать ферритовое кольцо с более высокочастотными параметрами, то можно рассчитывать на работу УВЧ на более высоких частотах.

Конструктивное выполнение ВЧ трансформатора показано на рис. 6.2.

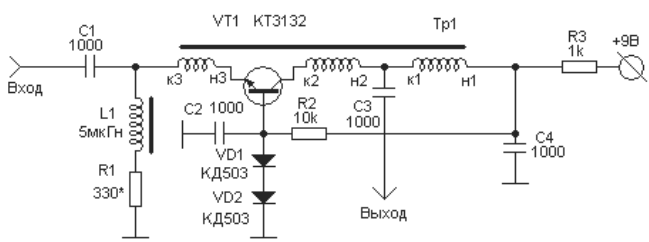


Рис. 6.1. Широкополосный УВЧ

Трансформатор имеет три обмотки, которые должны соединяться между собой точно по схеме. Начало и конец первой из обмоток на схеме помечены как **н1** и **к1**, начало и конец второй – как **н2** и **к2** и т.д. Первая и вторая обмотки имеют по 5 витков, третья обмотка – 2 витка из провода ПЭЛ-0,2-0,3. При изготовлении трансформатора берутся три куска провода такой длины, чтобы обеспечить точное выполнение необходимого количества витков. Затем начала трех кусков зажимаются вместе и провода скручиваются в плотный жгут, который после этого наматывается на ферритовое кольцо. Нужно не забывать, что после намотки на кольцо двух витков следует вывести конец третьей обмотки **к3** и дальше продолжать намотку жгута, который будет состоять уже из двух проводов.

Катушка L1 на рис. 6.1 представляет собой ВЧ дроссель, также намотанный на аналогичном ферритовом кольце. Число витков на кольце из феррита 50ВЧ диаметром 7-8 мм должно быть 17-20.

В качестве диодов VD1 и VD2 можно использовать также КД522, КД514 и даже Д220 или Д219 – в крайнем случае.

Входное и выходное сопротивления УВЧ примерно равны между собой и составляют 50 Ом.

УВЧ для телевизионных каналов ДМВ

За последние годы на рынках страны появились телевизионные антенны производства польских фирм. Эти антенны снабжаются достаточно чувствительным и малошумящим УВЧ. Особенностью антенны является то, что она требует хорошего заземления. Малоопытные владельцы этих конструкций часто не обращают внимания на это обстоятельство, поэтому усилители антенны выходят из строя при первой же небольшой грозе. Поэтому на рынке (во всяком случае, в нашем городе) можно купить отдельную плату с подобным антенным усилителем. Я иногда пользовался подобной возможностью. На одной из этих плат стоит обозначение SWA-49 и указано зашифрованное название производителя – AST.

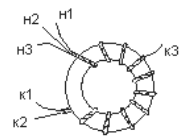


Рис. 6.2. Конструкция трансформатора Тр1

Установив подобный усилитель на своей антенне, вы, возможно, сможете решить свои проблемы с приемом удаленных УКВ станций.

Точные параметры этих усилителей мне неизвестны, практика показывает, что они обеспечивают довольно хорошее усиление сигнала на частотах от 50 до 600 МГц.

УВЧ с умножителем добротности

В начале этого раздела было рассказано о двух вариантах УВЧ, которые могут работать в большом диапазоне частот. Такие УВЧ обычно называются *широкополосными* и используются в приемниках, предназначенных для просмотра довольно большого частотного диапазона. Но в любительской практике необходимость в такого рода приемниках бывает очень редко. Чаще всего радиолюбителю необходим приемник, работающий в пределах довольно узкого любительского диапазона. К тому же, приемник с широкополосным УВЧ на входе будет подвержен помехам от близкоработающих мощных вещательных радиостанций. Поэтому в этом разделе я предлагаю для вашего рассмотрения принципиальную схему УВЧ, который способен организовать прием сигналов только в узкой полосе частот, что избавит вас от помех и одновременно улучшит другие параметры вашего приемника.

На рис. 6.3 показана схема очень эффективного УВЧ, который можно применять в низкочастотных участках УКВ диапазона. Данная конструкция разработана мною и предназначена для применения на диапазоне 145 МГц.

Несколько лет тому назад мною была разработана схема УВЧ с умножителем добротности (умножителем Q) на полевом транзисторе КП303Д и последующим апериодическим каскадом усиления на транзисторе КТ610. По этой схеме был построен внешний усилитель

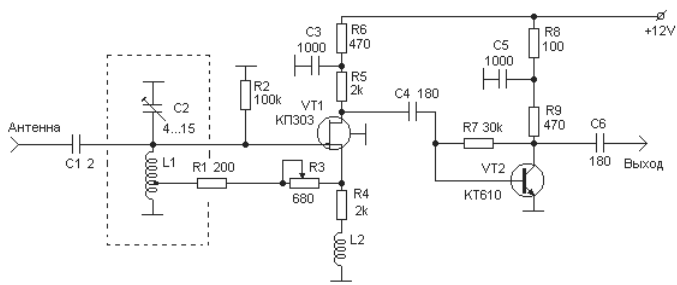


Рис. 6.3. Усилитель с умножителем добротности

ВЧ, который показал исключительно хорошие результаты при совместной работе со связными ламповыми приемниками. Как потом оказалось, этот УВЧ заметно улучшал чувствительность и избирательность даже многих конструкций транзисторных связных приемников. Отличные результаты были получены при приеме сигналов от искусственных спутников Земли (ИСЗ) RS-10/11 и RS-12/13 на диапазоне 29 МГц. Схема и описание этого УВЧ находится в Интернет на моем сайте в разделе «Модемы». Файл называется *preselek.zip*.

При попытке применения подобного УВЧ на диапазоне 144 МГц в конструкцию пришлось внести некоторые изменения. Схема этого доработанного варианта как раз и находится на рис. 6.3.

В конструкции применены широкодоступные радиодетали, непременное требование одно – переменный резистор R3 не должен быть проволочным (то есть должен быть безындуктивным).

Сигнал из антенного фидера ВЧ поступает через конденсатор очень маленькой емкости C1 на контур L1C2. Величину емкости C1 можете подбирать по своему усмотрению, но в любом случае она на диапазоне 145 МГц не должна превышать 3,3 пФ. На более низкочастотных диапазонах, например на 29 МГц, эта величина может быть увеличена до 8 пФ.

Резисторы R4, R5 и R6 задают режим работы транзистора VT1. Через резисторы R1 и R3 осуществляется обратная связь контура L1C2 с истоком транзистора VT1. Чем меньше величина сопротивления переменного резистора R3, тем больше величина напряжения обратной связи, и одновременно увеличивается добротность контура. Происходит так называемый процесс умножения добротности контура (умножение Q). При некоторой величине этого напряжения усилитель превращается в генератор. Та величина напряжения обратной связи, при которой УВЧ превращается в генератор, называется порогом генерации. Самой высокой добротностью контур L1C2 обладает при напряжении обратной связи, близком к порогу генерации. В этом случае УВЧ имеет самую узкую полосу пропускания, но несколько повышаются шумы. Поэтому, когда от вашего приемника требуется самая высокая чувствительность, УВЧ следует настроить на более широкую полосу пропускания.

Транзистор VT2 работает как обычный апериодический усилитель. В этом каскаде применен малошумящий высокочастотный транзистор средней мощности КТ610. В своих конструкциях вы можете применять иные, более удобные для вас транзисторы.

Катушка L1 бескорпусная, имеет 5 витков провода ПЭЛ-0,6 и намотана на болванке диаметром 8 мм. Длина катушки – 25 мм. Отвод выполнен от середины катушки. Катушка L2 представляет собой высокочастотный дроссель и делается только в том случае, когда при настройке не удается достигнуть порога генерации. Катушка наматывается куском провода ПЭЛ-0,4 длиной 0,1-0,2 от длины волны, на которой применяется УВЧ. Конденсатор С2 должен быть обязательно с воздушным диэлектриком.

На рис. 6.4 показана схема точно такого же УВЧ, но предназначенная для работы на диапазоне 29 МГц. Может применяться и на КВ диапазонах, но при этом следует выбирать соответствующие этим диапазонам параметры контурных катушек.

Для диапазона 29 МГц катушка L1 должна быть выполнена на каркасе 8 мм, число витков – 25 проводом ПЭЛ-0,4, длина намотки – 15 мм.

Для использования подобного усилителя на других диапазонах смотрите информацию в Интернет на сайте по адресу http://ra3xb.narod.ru/.

УВЧ для других диапазонов

Если у вас появилось желание применить УВЧ, схема которого показана на рис. 6.4, на каких-то других диапазонах и у вас нет возможности взять информацию в Интернет с моего сайта, то для такого случая приведу краткие рекомендации.

Определить необходимость подключения к вашему приемнику преселектора очень просто. Если речь идет о коротковолновом приемнике, то для такого определения следует включить приемник с обычной антенной и настроить его на свободную от работающих

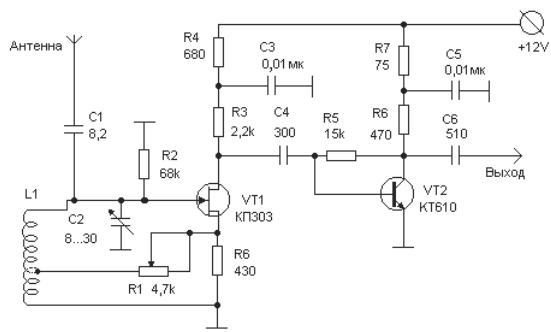


Рис. 6.4. УВЧ для диапазона 29 МГц

станций частоту, при этом на выходе приемника должны быть слышны только шумы эфира и внутренние шумы приемника. Следует заметить уровень шума на выходе. Если при отсоединении антенны от включенного приемника уровень шумов не изменился, или изменился незначительно, то вам срочно следует изготовить преселектор и включить его в постоянную работу с этим радиоприемником.

Для определения необходимости использования преселектора с УКВ приемником следует не отключать антенну, а накоротко замкнуть антенный вход на корпус. Если при таком замыкании уровень шумов на выходе не изменился, то и в данном случае можно надеяться на помощь преселектора.

УВЧ, схема которого приведена на рис. 6.4, является предварительным усилителем высокой частоты с регулируемым сужением полосы пропускания за счет положительной обратной связи. Это так называемый эффект Q-умножения. В конструкции применены малошумящие транзисторы КП303Д и КТ610.

Каждый, кто прослушал работу приемника с подключенным преселектором, непременно решает сделать себе такое устройство. Особенно рекомендую сделать такое устройство владельцам ламповых радиоприемников Р-250, трансиверов UW3DI и всех прочих, а также всем радиолюбителям, проживающим в условиях повышенных индустриальных и прочих помех.

Эффект значительного улучшения чувствительности и избирательности радиоприемника получается за счет применения малошумящих транзисторов и сужения полосы пропускания входного контура преселектора за счет регулируемой положительной обратной связи. При изменении величины положительной обратной связи изменяется добротность имеющегося в схеме колебательного контура. Самая узкая полоса пропускания соответствует наиболее возможной добротности контура и находится рядом с порогом генерации. Порог генерации – это такая величина положительной обратной связи, при превышении которой усилитель превращается в генератор.

Вместо указанной на схеме катушки L1 можно установить переключатель с набором катушек на все используемые диапазоны. Число витков катушки можно выбрать из табл. 6.1 или 6.2. Отвод делается от 1/3 общего числа витков, считая снизу.

***Таблица 6.1**. Данные деталей колебательных контуров*

Диапазон частот контура, Мгц	Емкость конденсатора		Катушка индуктивности				
	$C_{макс}$, пФ	$C_{мин}$, пФ	Инд, мкГн	Диаметр провода, мм	Диаметр витка, мм	Число витков	Длина намотки, мм
3,5-7,8	100	20	20,3	0,64	25	38	32
3,5-7,8	100	20	20,3	0,41	12	80	50
3,5-7,8	100	20	20,3	0,64	38	23	19
3,5-7,8	100	20	20,3	0,80	25	42	45
3,5-9,6	150	20	14,0	0,80	38	17	15
3,5-9,6	150	20	14,0	1,00	32	28	38
3,5-9,6	150	20	14,0	0,64	25	25	22
3,5-11,0	200	20	10,3	1,00	25	32	50
3,5-11,0	200	20	10,3	0,64	12	45	25
7,0-11,0	50	20	10,2	1,60	50	20	63
7,0-15,6	100	20	5,2	0,64	25	16	19
7,0-15,6	100	20	5,2	0,51	12	31	25
7,0-15,6	100	20	5,2	1,00	38	11	19
7,0-15,6	100	20	5,2	1,20	38	12	25
7,0-19,0	150	20	3,4	1,60	32	13	32
7,0-19,0	150	20	3,4	1,00	19	18	25
7,0-19,0	150	20	3,4	1,00	25	14	25
7,0-22,0	200	20	2,6	0,80	38	28	38
7,0-22,0	200	20	2,6	0,64	12	20	19
7,0-22,0	200	20	2,6	1,00	25	11	19
14-22	50	20	2,6	1,6	38	9	25
14-22	50	20	2,6	1,6	50	9	50
14-31	100	20	1,3	1,6	25	8	19
14-38	150	20	0,86	1,5	32	7	38
14-44	200	20	0,65	1,0	38	5	25
28-45	50	20	0,65	2,1	50	4	45
28-45	50	20	0,65	2,0	12	13	38
28-63	100	20	0,32	1,0	25	4	12
28-63	100	20	0,32	2,0	19	5	19
28-77	150	20	0,22	1,6	25	4	19

Если вас не устраивает величина диаметра каркаса катушки или диаметр примененного провода, то путем несложного пересчета можно получить число витков катушки для нужного вам диаметра каркаса или диаметра провода. Например, если имеются готовые каркасы, отличающиеся диаметром от приведенного в таблице, то можно, не меняя данных провода, намотать катушки с требуемыми параметрами, пересчитав лишь число витков по формуле $n = n_0 \times \sqrt{d_0 / d}$, где n – искомое число витков; n_0 – заданное число витков; d – диа-

метр имеющегося каркаса; d_0 – диаметр заданного каркаса. По этой же формуле можно пересчитать и изменение числа витков при изменении диаметров проводов. В этом случае под величинами d и d_0 следует понимать диаметры проводов.

Табл. 6.2 также предназначена для подбора различных величин элементов колебательного контура. В начале каждой строки указана определенная величина индуктивности, а верхней цифрой каждого столбца указывается величина емкости конденсатора. Если у вас имеется катушка с индуктивностью 2 мкГн, то, используя совместно с ней конденсаторы емкостью от 100 до 1000 пФ, можно получить колебательный контур с частотой настройки от 11 100 до 3580 кГц.

Для расчета числа витков контурных катушек различной конфигурации, в зависимости от заданной частоты, мною разработана компьютерная программа INDUKTIW, которую можно загрузить из Интернет по адресу http://ra3xb.narod.ru/

Программа позволяет выполнять расчеты также для катушек с сердечниками.

Используя описанный УВЧ в качестве отдельной (внешней) конструкции, можно получить исключительно хорошие результаты при приеме УКВ сигналов, если УВЧ включить между любым из описанных ниже конвертеров и КВ радиоприемником. Это особенно следует применять радиолюбителям из больших городов, где наблюдаются повышенные промышленные и бытовые шумы.

Таблица 6.2. Частота в кГц для различных L и C

L,	Емкость, пФ									
мкГн	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1 000
1	15 800	11 100	9 100	7 900	7 150	6 503	6 000	5 670	5 270	5 000
2	11 100	9 100	6 503	5 670	5 000	4 620	4 230	4 000	3 760	3 580
3	9 100	6 503	5 270	4 620	4 110	3 760	3 490	3 260	3 060	2 920
4	7 900	5 670	4 620	4 000	3 580	3 260	3 000	2 800	2 660	2 510
5	7 150	5 000	4 110	3 580	3 200	2 920	2 680	2 510	2 380	2 260
6	6 503	4 620	3 760	3 260	2 920	2 680	2 460	2 290	2 160	2 060
7	6 000	4 230	3 490	3 000	2 680	2 460	2 280	2 120	2 000	1 900
8	5 670	4 000	3 260	2 800	2 510	2 290	2 120	1 985	1 875	1 775
9	5 270	3 760	3 060	2 660	2 380	2 160	2 000	1 875	1 761	1 655
10	5 000	3 580	2 920	2 510	2 260	2 060	1 900	1 775	1 655	1 595
12	4 620	3 260	2 660	2 290	2 060	1 875	1 730	1 620	1 530	1 455
14	4 230	3 000	2 460	2 120	1 900	1 730	1 610	1 510	1 410	1 342
16	4 000	2 800	2 290	1 985	1 775	1 620	1 510	1 430	1 327	1 260
18	3 760	2 660	2 160	1 875	1 655	1 530	1 410	1 327	1 250	1 185
20	3 580	2 510	2 060	1 775	1 595	1 435	1 342	1 260	1 185	1 122
25	3 200	2 260	1 840	1 595	1 420	1 298	1 205	1 122	1 060	1 003
30	2 920	2 060	1 655	1 455	1 298	1 185	1 080	1 028	968	921
40	2 510	1 775	1 455	1 260	1 122	1 082	954	893	840	796
50	2 260	1 595	1 298	1 122	1 003	921	850	796	750	712
60	2 060	2 455	1 185	1 028	921	840	778	728	685	650
70	1 948	1 342	1 100	954	850	778	720	674	634	602
80	1 775	1 260	1 628	893	841	728	689	630	593	563
90	1 655	1 185	968	840	750	685	635	593	560	532
100	1 595	1 122	921	896	712	650	613	563	532	502
120	1 455	1 028	840	728	650	593	550	514	485	460
140	1 342	954	778	674	602	582	519	476	450	426
160	1 260	893	745	630	563	514	476	446	430	398
180	1 185	840	685	593	532	485	449	430	396	375
200	1 122	796	650	563	504	460	426	398	375	356
250	1 003	712	582	504	451	411	382	356	336	318
300	921	650	530	460	411	375	348	324	306	291
400	796	563	460	398	356	324	301	271	265	252
500	712	504	411	345	316	290	269	252	243	228
600	650	460	375	324	290	265	246	230	223	209
700	602	426	348	307	269	246	229	218	201	190

Малошумящий узкополосый УВЧ

На рис. 6.5 приведена схема УВЧ, выполненная на малошумящих транзисторах импортного производства. Схема рассчитана на применение в диапазоне 435 МГц и частично мною упрощена по сравнению с оригиналом, заимствованным из радиолюбительской литературы.

Величины резисторов R1 и R3 подбираются по величинам тока через транзисторы, которые обеспечивают лучшие шумовые характеристики УВЧ.

В схеме применены транзисторы, выполненные на базе соединений галлия, поэтому, если у вас окажутся подобные транзисторы, следует познакомиться с правилами обращения с этими приборами.

КОНВЕРТЕРЫ ДЛЯ УКВ ДИАПАЗОНОВ

Далее в этой главе мною будут приведены принципиальные электрические схемы конвертеров для УКВ диапазонов. Точнее, это будут только приемные части конвертеров, поскольку полностью конвертер предполагает наличие и приемной и передающей частей. Начинаем с низкочастотных УКВ диапазонов.

Конвертер для приема на диапазоне 29 МГц

Первоначальный вариант конвертера был построен мною в конце 70-х годов прошлого столетия и предназначался для наблюдения за сигналами первых ИСЗ типа RS. Затем в схему конвертера были внесены некоторые изменения. Существующий вариант конвертера

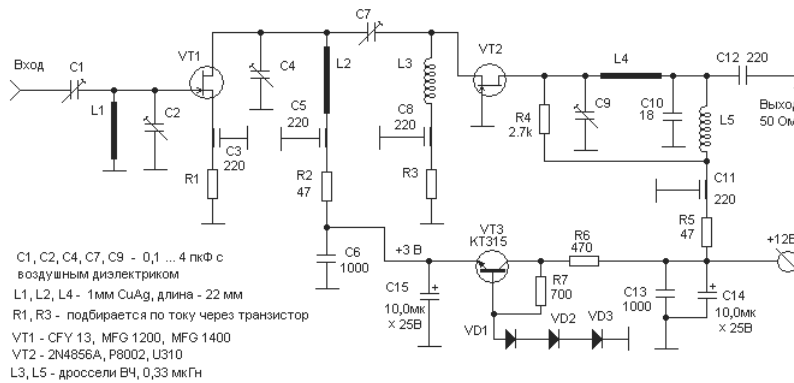


Рис. 6.5. Схема эффективного УВЧ для диапазона 435 МГц

позволял вести нормальный прием сигналов от спутников RS-10/11 и RS-12/13, используя вместо антенны кусок провода длиной 10 метров, выброшенный из окна на соседнее дерево.

Конвертер использовался на моей индивидуальной любительской радиостанции совместно с радиоприемником типа Р-250М. Принципиальная электрическая схема конвертера представлена на рис. 6.6.

На транзисторах VT1 и VT2 выполнен двухкаскадный усилитель высокой частоты, транзистор VT3 работает смесителем, на транзисторах VT4 и VT5 выполнен окварцованный задающий генератор. Используется кварц на частоту 10 МГц. Это позволяет вести прием сигналов с частотой 28 МГц на радиоприемнике, настроенном на частоту 18 МГц.

Конвертер собран на шасси, спаянном из белой жести (от консервных банок из-под сгущенного молока), методом навесного монтажа. В качестве опорных элементов используются блокировочные конденсаторы и квадратики (размером примерно 5×5 мм) из фольгированного стеклотекстолита, приклеенные к шасси клеем БФ-2. Все подстроечные конденсаторы применены типа КПК, резисторы – типа МЛТ, конденсаторы постоянной емкости – типа КТ, КД и КЛС.

Транзисторы VT1-VT3 применены типа КП303Д. С успехом можно применять полевые транзисторы и других типов.

Данные о катушках колебательных контуров приведены в табл. 6.3.

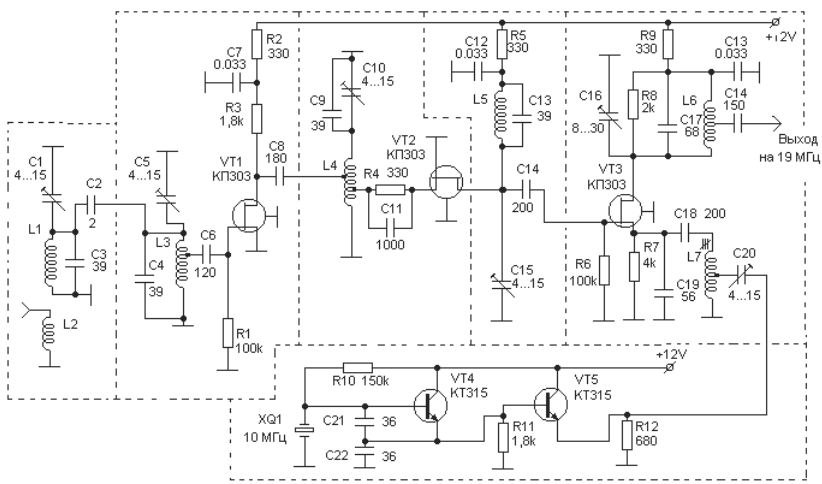


Рис. 6.6. Схема конвертера для диапазона 29 МГц

***Таблица 6.3**. Данные о примененных катушках контуров*

Катушка	Число витков	Диаметр, мм	Провод	Длина, мм	Отводы
L1	12	8	ПЭЛ-0,9	22	
L2	4	9	ПЭЛ-0,3		
L3	12	8	ПЭЛ-0,9	22	на 8-м витке (от заземленного конца)
L4	12	8	ПЭЛ-0,9	22	на 4-м и 7-м витках (от заземленного конца)
L5	12	8	ПЭЛ-0,9	22	
L6	12	8	ПЭЛ-0,9	22	на 6-м витке (от заземленного конца)
L7	20	8	ПЭЛ-0,3		От 10-го витка

Катушка L2 намотана в навал на оправке диаметром 9 мм, витки катушки скреплены между собой клеем БФ-2. После высыхания клея катушка размещается поверх заземленного конца катушки L1. Катушка L7 наматывается на каркасе с подстроечным СЦР сердечником.

Настройку конвертера следует начать с проверки работы задающего генератора. Затем следует настроить контур с катушкой L7 на частоту примененного кварца. После этого включаем основной КВ приемник, к которому подключен конвертер, и простейший генератор шума подключаем к антенному гнезду конвертера. Начинаем проводить настройку всех контуров соответствующими подстроечными конденсаторами по максимуму шумов на выходе от радиоприемника. Если при вращении подстроечного органа конденсатора окажется, что максимум шумов получается при наибольшей емкости этого конденсатора, то параллельно подстроечному конденсатору следует подпаять конденсатор постоянной емкости величиной 10-15 пФ и продолжить настройку. Если при настройке какого-либо контура станут возникать паразитные самовозбуждения, то параллельно катушке этого контура следует подпаять постоянный резистор величиной 2-3 кОм. Окончательную подстройку всех контуров следует проводить при приеме слабого полезного сигнала. Как правило, при исправных радиодеталях весь процесс настройки занимает несколько минут.

Конвертер для диапазона 145 МГц

Конвертер применялся для наблюдения за сигналами спутника RS-12/13. Сигналы этого спутника начинали приниматься на вертикаль-

ную антенну с коллинеарными элементами начиная с того момента, как только спутник появлялся над горизонтом. Сигналы от RS-13 с удобных орбит можно было принимать и на комнатную антенну, расположенную на окне.

Конвертер работал совместно с КВ радиоприемником Р-250М; по мере необходимости антенна подключалась к конвертеру через внешний УВЧ (см. рис. 6.3). Конструктивно конвертер состоит из двух самостоятельных частей – УВЧ со смесителем и отдельного гетеродина, соединенных между собой экранированным кабелем. Принципиальная электрическая схема конвертера представлена на рис. 6.7 и 6.8. При этом на рис. 6.7 представлены каскады УВЧ и смесителя, а на рис. 6.8 – схема кварцевого гетеродина.

Конвертер выполнен на плате из одностороннего фольгированного стеклотекстолита без сверления отверстий под выводы деталей. Канавки между контактными поверхностями вырезаются специальным ножом-резаком. Радиодетали припаиваются со стороны фольги. Экранирующие перегородки высотой 20 мм выполнены из белой жести и припаяны к фольге. Плата размещается в отдельном корпусе из белой жести. Однокаскадный УВЧ выполнен на транзисторе VT1 типа КТ371. Можно применить и другие имеющиеся у вас в наличии транзисторы. По мере появления в вашем хозяйстве новых транзисторов, старый всегда можно удалить и заменить на новый. Конденсатор С1 следует применять только при наличии большого числа помех. В иных случаях антенну следует подводить напрямую, без этого конденсатора.

На транзисторе VT2 выполнен смеситель, на транзисторе VT3 собран вспомогательный усилитель выходного сигнала.

Данные контурных катушек УВЧ и смесителя приведены в табл. 6.4.

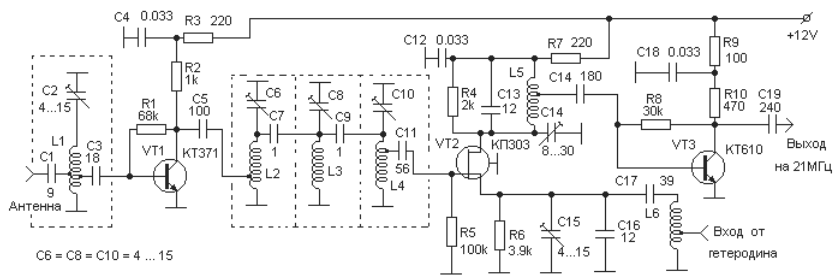


Рис. 6.7. УВЧ и смеситель конвертера для 145 МГц

Таблица 6.4. *Контурные катушки УВЧ и смесителя*

Катушки	Число витков	Диаметр, мм	Провод	Длина, мм	Отводы
L1	6	8	ПЭЛ-0,9	16	На 2-м и 3-м витках от заземленного конца
L2	7	8	ПЭЛ-0,9	20	На 1-м витке от заземленного конца
L3	7	8	ПЭЛ-0,9	20	
L4	7	8	ПЭЛ-0,9	20	На 7-м витке от заземленного конца
L5	22	8	ПЭЛ-0,9	20	На 7-м витке от заземленного конца
L6	4,5	8	ПЭЛ-0,9	13	На 1,5-м витке от заземленного конца

Гетеродин конвертера выполнен на кварце с частотой 13,66 МГц, что позволяет сигналы с частотой 144 МГц принимать на КВ приемнике, настроенном на частоту 21 МГц. Это очень удобно при желании иметь приемопередающую УКВ радиостанцию на диапазон 144 МГц. Конструктивно гетеродин выполнен на плате из одностороннего фольгированного стеклотекстолита. Крепление деталей делается со стороны фольги, контактные поверхности отделяются канавками, прорезанными специальным ножом-резаком. Плата полностью размещается в корпусе из белой жести.

Данные контурных катушек гетеродина приведены в табл. 6.5.

Таблица 6.5. *Катушки гетеродина*

Катушка	Число витков	Диаметр, мм	Провод	Длина, мм	Отводы
L1	10	8	ПЭЛ-0,9	12	На 6-м витке от заземленного конца
L2	4	8	ПЭЛ-0,9	10	На 2-м и 3-м витках от заземл. конца
L3	4	8	ПЭЛ-0,9	10	На 2-м и 3-м витках от заземл. конца

Начинать настройку следует с проверки работоспособности кварцевого генератора на VT1. Затем контур L1C6, принадлежащий утроителю частоты на VT2, настраивается на частоту 41 МГц. Контроль частоты следует проводить посредством гетеродинного измерителя

резонанса (ГИР), работающего в режиме волномера. После этого аналогичным способом настраиваются контуры L2C10 и L3C14 на частоту 121 МГц. Эти контуры принадлежат второму утроителю, выполненному на VT3, и усилителю сигнала частотой 121 МГц на VT4. На VT5 выполнен апериодический усилитель частоты 121 МГц.

Настройку платы УВЧ следует начать с настройки контура L6C39C12C15 на частоту 121 МГц. Затем сигнал от простого генератора шума следует подать непосредственно на затвор транзистора VT1 и настроить контуры L2C6 L3C8 L4C10 L5C14 по максимуму шумов на выходе основного приемника. Контур L1C2 настраивается после подключения генератора шума к антенному гнезду. Окончательную подстройку контуров следует выполнить при приеме сигнала от ИСЗ через антенну.

Конвертер 145 МГц на полевых транзисторах

Конвертер на полевых транзисторах позволяет принимать сигналы любительских УКВ радиостанций в диапазоне 144-146 МГц [2]. Он рассчитан на работу с приемником, имеющим диапазон 4-6 МГц и входное сопротивление 75 Ом. Полоса пропускания тракта УВЧ конвертера по уровню 0,7 около 3 МГц. При напряжении питания 9 В он потребует ток 25 мА. Конвертер прост по конструкции, несложен в настройке. Принципиальная схема конвертера приведена на рис. 6.9.

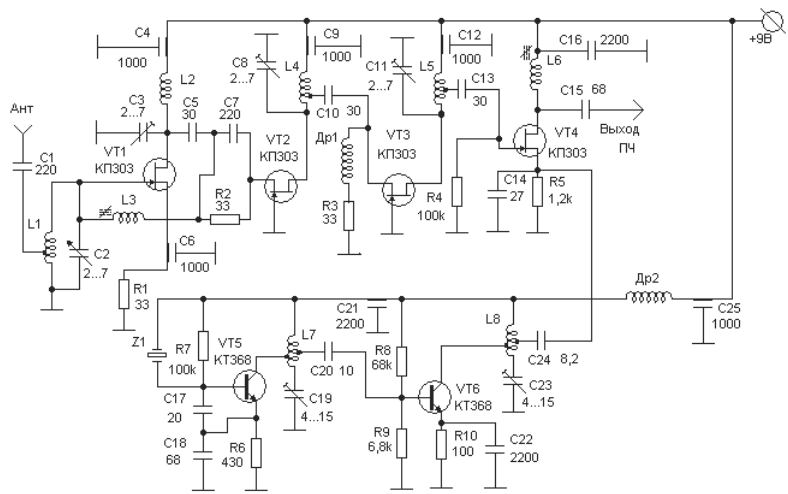


Рис. 6.9. Конвертер на полевых транзисторах

Конвертер состоит из трехкаскадного УВЧ на полевых транзисторах VT1, VT2 и VT3, смесителя (на VT4) и гетеродина (на VT5 и VT6). Первый каскад УВЧ выполнен по схеме с общим истоком, а второй и третий – по схеме с общим затвором. С помощью катушки L2 осуществляется нейтрализация действия емкости сток-затвор ($C_{С-З}$) транзистора VT1. Катушку L2 следует выбрать такой индуктивности, чтобы на частоте усиливаемого полезного сигнала получить резонанс в контуре $L2C_{С-З}$. Сопротивление контура $L2C_{С-З}$, включенного между стоком и затвором, при резонансе становится большим, в результате чего ослабляется действие обратной связи через емкость $C_{С-З}$. Методику вычисления величины индуктивности катушки нейтрализации можно посмотреть в предыдущей главе, в конце раздела о кварцевых генераторах.

Смеситель выполнен на полевом транзисторе VT4, включенном по схеме с общим истоком. Напряжение сигнала подается в цепь затвора смесителя, а напряжение гетеродина – в цепь истока. В стоковую цепь смесителя включен колебательный контур, который состоит из катушки индуктивности L6 и входного сопротивления приемника $R_{ВХ}$. Контур настроен на частоту 5 МГц и благодаря шунтирующему действию $R_{ВХ}$ имеет широкую (около 2 МГц) полосу пропускания.

Гетеродин конвертера – двухкаскадный. Задающий генератор выполнен на транзисторе VT5 по схеме с параллельным резонансом кварца. В нем использован кварцевый резонатор на частоту 10 МГц. В коллекторной цепи транзистора VT5 включен контур L7C19, который настроен на седьмую гармонику кварца (70 МГц).

Второй каскад гетеродина на транзисторе VT6 собран по схеме с общим эмиттером. В коллекторную цепь транзистора включен контур L8C23, настроенный на частоту 140 МГц. С этого контура сигнал гетеродина через конденсатор C24 поступает в цепь истока транзистора смесителя.

Конвертер собран на шасси, изготовленном из листовой латуни толщиной 1 мм. Шасси разделено на отсеки перегородками, на которых установлены проходные и опорные конденсаторы. Подстроечные конденсаторы (за исключением C2) установлены на передней стенке шасси, а высокочастотные разъемы – на боковых стенках. Монтаж конвертера – объемный.

При монтаже необходимо уделять особое внимание минимальной длине выводов конденсаторов, транзисторов, резисторов.

В конвертере применены конденсаторы типов КЛС, КТ-1, КТП, КДО. Все резисторы – типа МЛТ мощностью 0,25 Вт. Высокочастотные разъемы – СР-75-166Ф.

Намоточные данные катушки приведены в табл. 6.6.

Таблица 6.6. *Намоточные данные катушек*

Обозначение по схеме	Число витков	Отвод	Провод	Намотка
L1	7	5,5	Посеребренный 0,7 мм	Бескаркасная с внутренним Ø 7 мм
L2	18	–	ПЭВ-1 0,41 мм	На каркасе Ø 6,5 мм, l = 25 мм с латунным сердечником Ø 5 мм, l = 12 мм
L3	7	–	Посеребренный 0,7 мм	Бескаркасная с внутренним Ø 7 мм
L4	7	1,5		Бескаркасная с внутренним Ø 7 мм
L5	6	2,5		Бескаркасная с внутренним Ø 7 мм
L6	70	–	ПЭВ-1 0,12 мм	На каркасе Ø 6 мм, длиной 25 мм с ферритовым сердечником Ø 4 мм, l = 12 мм, μ = 1000
L7	14	8 и 9	Посеребренный 0,7 мм	Бескаркасная с внутренним Ø 7 мм
L8	7	4 и 6		Бескаркасная с внутренним Ø 7 мм

Примечание. Отводы указаны от заземленного по ВЧ конца катушки.

Дроссели Др1 и Др2 имеют индуктивность 30 мкГн.

Ток через VT1, VT2 и VT3 должен быть в пределах 1,5-2 мА, величина тока устанавливается резисторами R1, R2 и R3 соответственно. Ток через транзистор VT4 должен быть порядка 0,3-0,5 мА, устанавливается резистором R5.

Ток через транзистор VT5 должен быть порядка 3-4 мА, устанавливается резистором R7. Ток через транзистор VT6 должен быть 1-1,5 мА, устанавливается резистором R8.

В УВЧ и смесителе можно применить транзисторы серии КП303 с любым буквенным индексом. Транзисторы КТ368 можно заменить транзисторами серии ГТ311.

Режимы транзисторов, указанные на принципиальной схеме (рис. 6.9), измерены в отсутствие сигнала и при отключенном кварцевом резонаторе Z1.

Настройку конвертера проводят в следующей последовательности:

1. смеситель,
2. гетеродин,
3. УВЧ.

При настройке смесителя гетеродин конвертера отключают, а выход конвертера подключают к коротковолновому (КВ) приемнику. На затвор смесителя через конденсатор емкостью 1000 пФ подают сигнал от антенны. Приняв КВ приемником какую-нибудь станцию вблизи частоты 5 МГц, настраивают контур L6 с помощью сердечника так, чтобы громкость приема была максимальной (АРУ в основном приемнике должна быть выключена).

Гетеродин конвертера настраивают с помощью генератора и ВЧ вольтметра. Вместо вольтметра можно использовать волномер. Сначала отключают кварц и на базу транзистора VT5 подают сигнал амплитудой около 100 мВ и частотой 70 МГц. Конденсатором C19 настраивают контур L7C19 в резонанс по максимуму ВЧ напряжения на базе транзистора VT6. Аналогично настраивают второй каскад гетеродина на частоту 140 МГц (с помощью конденсатора C23), подключив вольтметр к истоку VT4. Восстановив схему гетеродина, добиваются получения максимальной амплитуды колебаний, подбирая отводы от катушек L7, L8 и подстраивая конденсаторы C19, C23. Частоту гетеродина контролируют волномером или электронным частотомером.

Для получения максимального коэффициента усиления необходимо тщательно подобрать отводы у катушек L1, L4, L5. В случае самовозбуждения УВЧ рекомендуется уменьшить емкость конденсаторов C10, C13 или изменить отводы катушек L4, L5.

Проверку коэффициента шума конвертера производят совместно с КВ приемником. Следует отметить, что коэффициент шума конвертера в большой степени зависит от правильности настройки катушки L2 и оптимального согласования конвертера с генератором шума (антенной) и от амплитуды напряжения гетеродина на истоке транзистора VT4. Оптимального согласования добиваются подбором отвода катушки L1, а необходимую амплитуду напряжения гетеродина

устанавливают, подбирая отвод у катушки L8 и емкость конденсатора С24.

Конвертер на двухзатворных полевых транзисторах

Конвертер на двухзатворных полевых транзисторах позволяет принимать сигналы любительских радиостанций в диапазоне 144-146 МГц. Он рассчитан на работу со связным приемником, имеющим диапазон 28-30 МГц и входное сопротивление около 100 Ом. Питается конвертер от стабилизированного источника 9 В. Потребляемый ток – около 15 мА.

Применение двухзатворных полевых транзисторов в УВЧ и смесителе дало возможность создать конвертер с малым коэффициентом шума и с хорошими характеристиками для работы в условиях перекрестных помех, избежать применения цепей нейтрализации в УВЧ.

Принципиальная схема конвертера показана на рис. 6.10.

Конвертер состоит из УВЧ, смесителя и гетеродина. Усилитель высокой частоты собран на двухзатворном полевом транзисторе VT1. Сигнал с антенны поступает на первый затвор. Нагрузкой усилителя является двухзвенный фильтр L2C6, L3C8 с емкостной связью между контурами. Коэффициент усиления этого каскада изменяют потенциометром R3, с помощью которого меняется напряжение на втором затворе полевого транзистора.

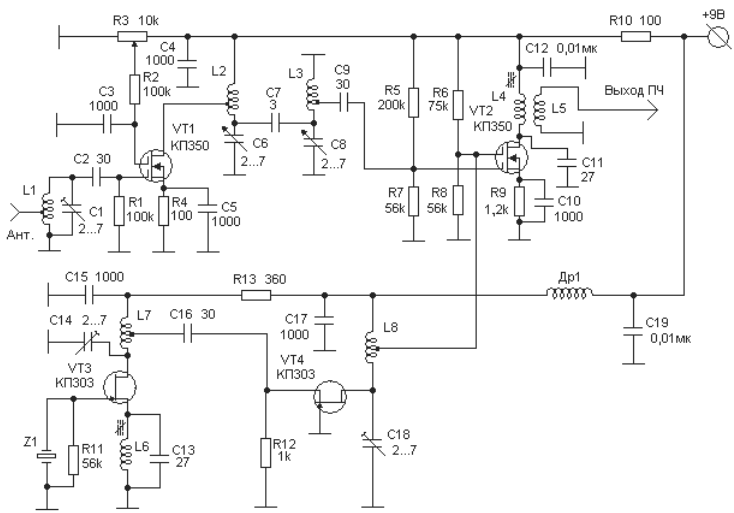


Рис. 6.10. Конвертер 145 МГц на двухзатворных полевых транзисторах

Смеситель конвертера также собран на двухзатворном полевом транзисторе (VT2). Напряжение сигнала подается в цепь первого затвора, а напряжение гетеродина – в цепь второго затвора. Режим транзистора устанавливают подбором резисторов R5 и R6. Нагрузкой смесителя является контур L4C11, настроенный на частоту 29 МГц. Напряжение сигнала ПЧ снимается с катушки связи L5.

Гетеродин конвертера выполнен на двух полевых транзисторах VT3 и VT4. В задающем генераторе (он собран на транзисторе VT3) использован кварцевый резонатор на частоту 38,667 МГц. В цепи истока транзистора VT3 включен колебательный контур L6C13, настроенный на частоту, близкую к частоте кварцевого резонатора, а в цепи стока транзистора VT3 – контур L7C14, настроенный на частоту 116 МГц.

Буферный усилитель выполнен на транзисторе VT4, нагрузкой которого является контур L8C18, также настроенный на частоту 116 МГц. Сигнал гетеродина снимается с отвода от катушки индуктивности L8.

Этот конвертер собран на шасси, изготовленном из листовой латуни толщиной 1 мм. Все опорные и проходные конденсаторы установлены на перегородках. Подстроечные конденсаторы помещены на передней стенке шасси. Высокочастотные разъемы установлены на боковых стенках. Резистор R3 устанавливают на передней панели радиостанции или на боковой стенке шасси.

Расположение элементов по отсекам приведено на рис. 12. Монтаж конвертера –объемный.

Конденсаторы – КТ-2-17, КТП, КТ-1 и КЛС. Все резисторы типа МЛТ мощностью 0, 25 Вт, резистор R3 – СПО-0,5.

Намоточные данные катушек приведены в табл. 6.7 (L7 имеет индуктивность 0,68 мкГн). Индуктивность дросселя ВЧ Др1 равна 30 мкГн.

Таблица 6.7. *Намоточные данные катушек*

Обозначение по схеме	Число витков	Отвод	Провод	Намотка
L1	7	1,5	Посеребренный 0,7 мм	Бескаркасная с внутренним Ø 7,5 мм
L2	5	2	Посеребренный 0,8 мм	Бескаркасная с внутренним Ø 9 мм
L3	7	3	Посеребренный 0,8 мм	Бескаркасная с внутренним Ø 9 мм
L4	14		ПЭВ-1 0,35мм	На каркасе Ø 6,5 мм, l = 25 мм с подстроечным сердечником Ø 4 мм
L5	4		ПЭЛШО 0,3мм	Поверх L4
L6	5	2	Посеребренный 0,8 мм	Бескаркасная с внутренним Ø 9 мм
L7	14		ПЭВ-1 0,35 мм	На каркасе Ø 6,5 мм, l = 25 мм с подстроечным сердечником Ø 4 мм
L8	5	2	Посеребренный 0,8 мм	Бескаркасная с внутренним Ø 9 мм

Примечание. Отводы указаны от заземленного по ВЧ конца катушки.

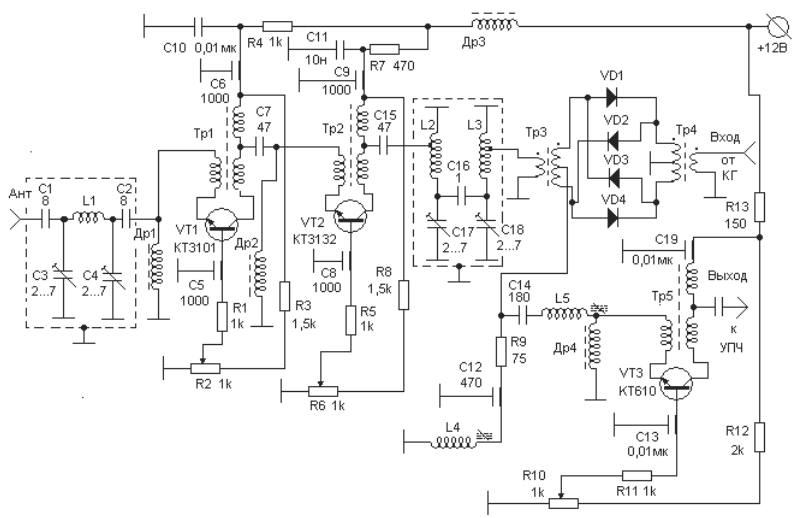


Рис. 6.11. Конвертер на СВЧ транзисторах

При отсутствии транзисторов КП350 можно применить транзисторы КП306Б. Транзисторы КП303 могут иметь буквенное обозначение Г, Д, Е.

Приведенные ниже режимы работы транзисторов конвертера измерены при отключенном кварцевом резонаторе Z1. Ток через транзистор VT1 выбирается изменением величины резистора R4 и равен 2-3 мА, ток через транзистор VT2 устанавливается резисторами R5 и R6 и должен быть в пределах 1-2 мА, ток через VT3 устанавливается резистором R13 и должен быть 2-3 мА, ток через VT4 устанавливается резистором R12 и должен быть в пределах 0,5 мА.

Методика настройки конвертера не отличается от настройки предыдущего конвертера.

Еще один конвертер на 145 МГц

На рис. 6.11 показана схема оригинального УКВ конвертера на диапазон 145 МГц. УВЧ конвертера выполнен на малошумящих СВЧ транзисторах типа КТ3101 (КТ3132).

Оригинальность схемы конвертера в том, что он рассчитан на работу в довольно узкой полосе частот, а каскады УВЧ выполнены как широкополосные усилители. Это сделано с целью предотвращения возбуждения этих каскадов УВЧ.

Конвертер для диапазона 435 МГц

Конвертер применялся для приема информации от ИСЗ с использованием КВ приемника типа Р-250М. Конструктивно конвертер выполнен в виде трех самостоятельных блоков, каждый из которых заключен в отдельный корпус из белой жести, и соединенных друг

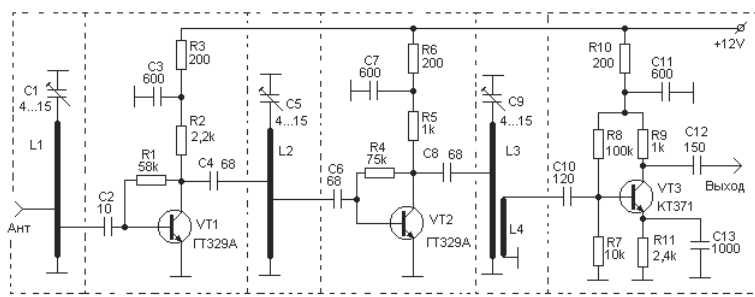


Рис. 6.12. Схема УВЧ диапазона 435 МГц

с другом отрезками экранированного кабеля. Применение блочной конструкции очень удобно для экспериментаторов, поскольку позволяет безболезненно заменять тот или иной узел, оставляя без изменения остальные. Как показал опыт, наиболее частым изменениям могут подвергаться узел УВЧ и узел смесителя.

Принципиальная электрическая схема усилителя высокой частоты конвертера представлена на рис. 6.12.

Усилитель трехкаскадный, выполнен на транзисторах VT1, VT2 и VT3. Корпус усилителя и шасси спаяны из белой жести. Каждый транзистор и принадлежащие к нему прочие радиодетали смонтированы на небольшом прямоугольном кусочке фольгированного стеклотекстолита, который затем помещается в соответствующий отсек шасси. Детали крепятся непосредственно к фольге, разъединяющие канавки в фольге прорезаны ножом-резаком. Представляющая землю поверхность фольги соединяется с корпусом в нескольких различных местах. Чем больше будет таких мест соединения, тем лучше. Каких-либо иных особенностей нет. Индуктивности L1-L4 выполнены из голого медного провода диаметром 1 мм и располагаются в специальных отсеках шасси на удалении 3 мм от шасси. Длина L1, L2 и L3 равна 33 мм, длина L4 – 17 мм (в приведенные размеры не включены участки, предназначенные для припаивания провода к корпусу шасси). Расстояние между L3 и L4 подбирается при настройке и равно примерно 2 мм.

Принципиальная электрическая схема гетеродина для конвертера 435 МГц представлена на рис. 6.13.

В схеме используется кварц на частоту 6,454 МГц, что позволяет после умножения в 64 раза получить на выходе частоту 413 МГц. Ука-

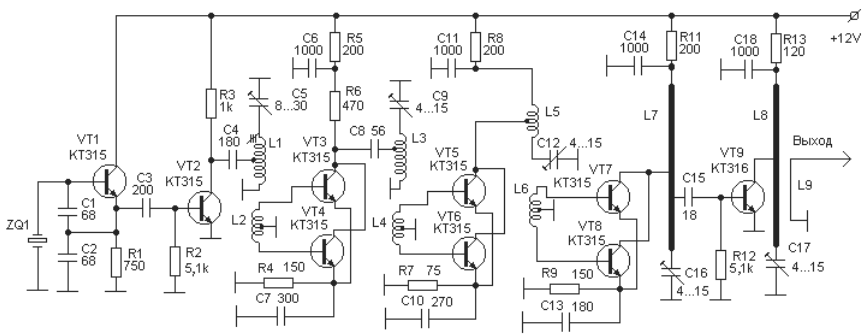


Рис. 6.13. Схема гетеродина для конвертера 435 МГц

занный кварц применен только потому, что он оказался единственным из наиболее удобных к применению.

Кварцевый гетеродин выполнен на транзисторе VT1. Каскад на VT2 работает в режиме умножителя частоты на четыре, все последующие каскады являются удвоителями частоты. В своих конструкциях я предпочитаю использовать двухтактные каскады умножения частоты, каковыми являются каскады на VT3, VT4, также на VT5, VT6 и VT7,VT8. В этой схеме применены только удвоители частоты. На практике существуют также и двухтактные утроители частоты, конструкция которых несколько отличается от конструкции удвоителя. Преимущество двухтактных умножителей перед умножителем на одном транзисторе заключается в том, что двухтактный удвоитель выделяет только четные гармонические составляющие сигнала, а на выходе двухтактных утроителей присутствуют только нечетные гармоники. Это очень важно при настройке гетеродина, так как улучшает «спектральную чистоту» выходного сигнала, то есть уменьшает количество различных гармоник. При этом все присутствующие «лишние» гармоники значительно ослаблены.

Данные по катушкам контуров конвертера 435 МГц приведены в таблице 6.8.

Таблица 6.8. *Контурные катушки гетеродина 435 МГц*

Катушки	Число витков	Диаметр, мм	Провод	Длина, мм	Отводы
L1	20	8 (СЦР)	ПЭЛ-0,4	16	На 10-м витке от заземленного конца
L2	4 x 2	9	ПЭЛ-0,3		4 витка (бифилярно)
L3	12	8	ПЭЛ-0,9	12	На 7-м витке от заземленного конца
L4	2 x 2	9	ПЭЛ-0,3		2 витка (бифилярно)
L5	4	8	ПЭЛ-0,9	15	На 2-м витке от заземленного конца
L6	2 x 2	9	ПЭЛ-0,3		2 витка (бифилярно)

Индуктивность L7 выполнена в виде отрезка медного провода диаметром 1 мм и длиной рабочей части 50 мм, отводы выполнены на расстоянии 12 и 18 мм, считая от заземленного по ВЧ конца. Отрезок провода располагается параллельно заземленному участку фольги на расстоянии 4 мм, может быть изогнут, но параллельность земле должна соблюдаться. С одной стороны L7 припаивается к выводу подстроечного конденсатора, с другой стороны – к опорному кусочку

из фольгированного стеклотекстолита, приклеенного к заземленному участку фольги на плате. К этому же опорному кусочку припаивается один из выводов блокировочного конденсатора и резистора. L8 выполнена по той же технологии и имеет длину рабочей части 15 мм с отводом посередине. L9 имеет длину 12 мм.

Катушки связи L2, L4 и L6 выполнены из двух скрученных между собой проводов, при этом начало одной части катушки соединяется с концом второй ее части. Катушка связи должна иметь чуть больший диаметр, чем основная катушка и располагаться примерно между первым и вторым витками (считая от заземленного по ВЧ конца) основной катушки. Такая конструкция катушки связи позволяет подать на базы транзисторов двухтактного каскада равные по величине и противоположные по фазам сигналы.

Настройку гетеродина следует начинать с проверки работоспособности кварцевого генератора. Затем колебательный контур каждого последующего каскада должен настраиваться на нужную, заранее рассчитанную частоту. Правильность настройки следует проверять простейшим волномером, применять частотомеры не советую. Самым удобным прибором для настройки многокаскадных гетеродинов является гетеродинный индикатор резонанса (ГИР). В радиолюбительской литературе можно найти описания многих разных конструкций этого аппарата, но каждый из них может работать либо в режиме непосредственно гетеродинного измерителя резонанса, либо в режиме волномера. Если вы решили заняться изготовлением и настройкой УКВ гетеродинов, то непременно должны обзавестись таким прибором.

На рис. 6.14 приведена схема смесителя и усилителя ПЧ для конвертера 435 МГц.

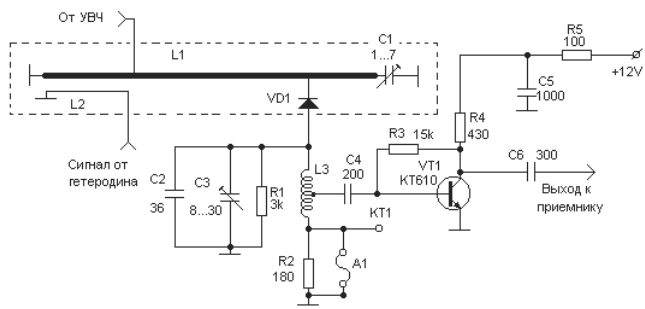


Рис. 6.14. Смеситель конвертера 435 МГц

Смеситель выполнен на смесительном сверхвысокочастотном диоде типа Д405, ДК-И1М или аналогичном. С успехом можно применить также смесительный каскад иной конструкции, например, на транзисторе. Смеситель выполнен на плате из одностороннего фольгированного стеклотекстолита и заключен в корпус из жести. Разумеется, если у вас имеется в наличии иной тонколистовой материал, например листовая латунь или медь, то корпус и все перегородки следует выполнять именно из этого материала. В дополнение корпус из меди или латуни желательно посеребрить. Можно даже и позолотить. Хуже не будет.

Индуктивность L1 представляет собой отрезок медного провода диаметром 3,5 мм и длиной 85 мм. Располагается в экранирующем отсеке с размерами 22 × 22 × 110 мм. Одним концом провод припаян к центру перегородки, вторым – к подстроечному конденсатору. Следует обеспечить достаточную жесткость этой конструкции. Подвод сигнала от усилителя высокой частоты выполнен на расстоянии 30 мм от заземленного конца, зажим для крепления смесительного диода припаян к L1 на расстоянии 75 мм. L2 представляет собой кусок медного провода диаметром 1 мм и длиной 30 мм. Катушка L3 бескаркасная, имеет 12 витков на оправке диаметром 8 мм провода ПЭЛ-0,9 с отводом посередине. Резистор R1 служит для снижения добротности контура (для расширения полосы пропускания).

На транзисторе VT1 выполнен усилитель промежуточной частоты.

А1 – перемычка, которая размыкается только при настройке смесителя, во всех остальных случаях контрольная точка КТ1 должна быть соединена с корпусом.

Перед началом настройки смесителя следует удалить перемычку А1 и вместо нее включить миллиамперметр с пределом до 10 мА. L2 соединить с выходом от гетеродина. Затем подать напряжение питания на настроенный предварительно гетеродин и настраиваемый смеситель. При этом миллиамперметр будет показывать ток, протекающий через смесительный диод. Конденсатор С1 должен находиться в положении минимальной емкости. Изменяя расстояние между L1 и L2, следует добиться величины тока 2 мА. В процессе этой настройки можно в небольших пределах подстроить контуры каскадов гетеродина по максимуму показаний миллиамперметра. После выполнения перечисленных операций показывающий прибор удаляется и восстанавливается перемычка.

Затем подключается базовый радиоприемник и каскад УВЧ 435 МГц. Сначала весь этот комплекс настраивается предварительно по простейшему генератору шума, затем следует выполнить окончательную подстройку контуров УВЧ и контура L1 смесителя по сигналу маячка или работающей на этом диапазоне УКВ радиостанции.

Конвертеры для диапазона 1296 МГц

В последние годы на ИСЗ для любительской связи стали применять частоты выше 1000 МГц. Долгожданный спутник АО-40 (P3D) для многих стал недоступным именно по этой причине. Для радиолюбителей, желающих осваивать любительскую связь через ИСЗ, следует приступить к освоению самых высокочастотных УКВ и СВЧ диапазонов. На радиостанции RA3XB пока аппаратов на эти диапазоны нет, поэтому в этой статье я хочу привести в качестве примера принципиальные схемы конвертеров на диапазон 1296 МГц, которые были опубликованы в [1] и [2]. В некоторых действующих сегодня спутниках, изготовленных зарубежными фирмами, используется частота 1268 МГц. Чтобы задействовать на этой частоте описанные ниже конвертеры, следует подобрать кварц для задающего генератора. При этом остальные элементы схем могут оставаться неизменными.

Конвертер 1296/144 МГц

Описание любительской УКВ радиостанции, в которой применен этот конвертер, приведено в [2].

Конвертер предназначен для приема сигналов в диапазоне 1296-1298 МГц совместно с приемником на диапазон 144-146 МГц. Принципиальная схема конвертера приведена на рис. 6.15.

Конвертер состоит из УВЧ на транзисторе VT1, смесителя на диоде VD1 и двух последних умножительных каскадов от гетеродина на

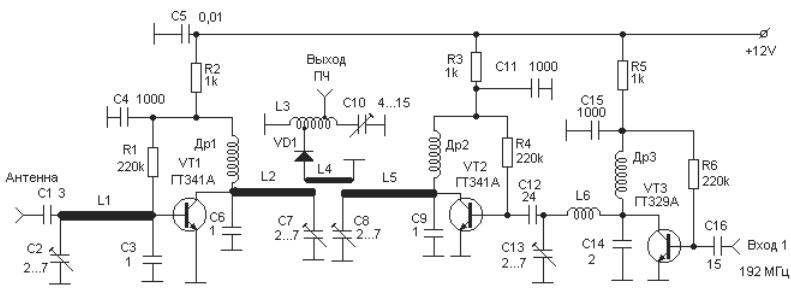


Рис. 6.15. Схема конвертера 1296/144 МГц

VT2 и VT3. УВЧ сделан по схеме с общим эмиттером, на входе и на выходе усилителя применены П-контуры. Сигнал на смеситель поступает через петлю связи L4.

Гетеродин конвертера – шестикаскадный. Первые четыре каскада следует выполнить точно по схеме первых четырех каскадов от описанного выше конвертера на 435 МГц, но при этом следует использовать кварц на частоту 8,0 МГц. В этом случае следующий за кварцевым генератором каскад будет работать в режиме утроения (8 × 3 = 24 МГц). Сигнал частотой 192 МГц от четвертого каскада следует экранированным кабелем подать на вход транзистора VT3 («Вход 1» на схеме). Далее каскад на транзисторе VT3 умножает полученную частоту в три раза (576 МГц). Результат умножения выделяется на контуре C13L6C14. Каскад на VT2 работает удвоителем, на контуре C9L5C8 должна выделяться частота 1152 МГц. На смеситель сигнал от гетеродина подается через петлю связи L4, которая является общей и для L2 и для L5.

Индуктивности L1 и L2 выполнены из медной посеребренной проволоки диаметром 3,2 мм, имеют рабочую длину 20 мм. L5 изготовлена из той же проволоки, имеет рабочую длину 22 мм. Петля связи L4 изготовлена из медной посеребренной проволоки диаметром 0,8 мм, длина подбирается при наладке. Катушка L6 выполнена в виде U-колена из медной проволоки диаметром 1,5 мм и имеет длину 50 мм. Дроссели Др1 и Др1 имеют 4 витка медного провода диаметром 0,8 мм на оправке диаметром 3,5 мм. Дроссель Др3 содержит 7 витков того же провода, намотан на оправке диаметром 4,3 мм. Диод VD1 – детекторный сверхвысокочастотный Д-401 или иной аналогичный.

Для получения более полной информации смотрите [2].

Еще один конвертер на диапазон 1296 МГц

Описание любительской УКВ радиостанции, в которой применен следующий вариант конвертера 1296/144 МГц, приведен в [1].

Конвертер предназначен для приема сигналов в диапазоне 1296-1298 МГц совместно с приемником на диапазон 144-146 МГц. Принципиальная схема конвертера приведена на рис. 6.16.

На транзисторах VT1 и VT2 выполнен двухкаскадный усилитель высокой частоты (УВЧ), при этом усиленный сигнал диапазона 1296 МГц выделяется на контуре C8L3. С этого контура сигнал поступает на смеситель, выполненный на сверхвысокочастотном смесительном диоде VD1 типа Д-401 или аналогичном. С другой стороны на сме-

сительный диод через конструктивную емкость поступает сигнал частотой 1152 МГц от гетеродина, выделенный на контуре C12L6.

Гетеродинная часть на данной схеме представлена утроителем частоты, выполненным на транзисторе VT3, на который поступает сигнал с частотой 384 МГц через фильтрующие контуры C20L10 и C19L9C18. Недостающую часть гетеродина можно полностью, без каких бы то ни было изменений, заимствовать из описания конвертера на 435 МГц, применив кварц на частоту 8 МГц.

Данная схема приемной части конвертера взята из [1], где описывается оригинальная конструкция любительской УКВ радиостанции, выполненной своеобразным методом. Чтобы повторить эту конструкцию в авторском виде, следует найти и изучить описание радиостанции в [1]. В этой статье я хочу только познакомить вас с вариантами двух примененных радиолюбителями схем.

Книгу С. Г. Жутяева «Любительская УКВ радиостанция» можно найти в Интернет.

ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ КОНВЕРТЕРЫ ДМВ

Далее будут приведены три схемы УКВ конвертеров, которые первоначально создавались для работы в телевизионных диапазонах Дециметровых Волн (ДМВ). Однако если постараться выполнить конструкцию так, чтобы каркас обладал достаточной жесткостью и учесть все требования к конструированию УКВ гетеродинов, то можно получить конвертер, который будет удовлетворительно работать при приеме любительских радиостанций.

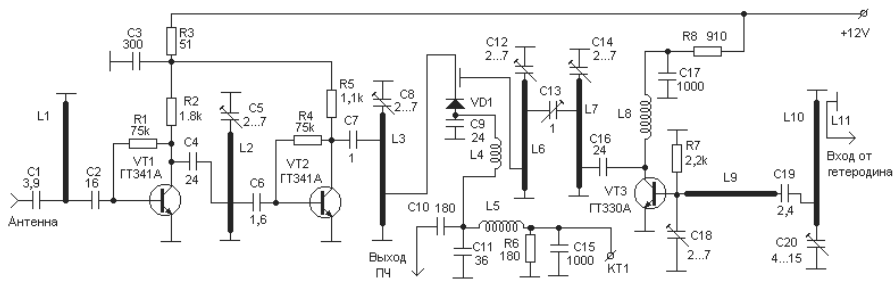


Рис. 6.16. Схема конвертера 1296/144 МГц (вариант 2)

Простой конвертер для ДМВ

На рис. 6.17 приведена принципиальная схема простого в изготовлении и наладке конвертера для ДМВ.

Конвертер предназначен для преобразований сигналов с частотой 300-600 МГц в сигналы ПЧ метрового телевизионного диапазона.

Транзистор VT1 выполняет роль УВЧ. Транзистор VT2 является гетеродином, настройка которого на заданную частоту устанавливается длиной линии L8, емкостью конденсатора C10 и выходной емкостью VT2. Транзисторы VT1 и VT2 задействованы по схеме с общей базой. Ток через транзистор VT1 устанавливается подбором резистора R2, а транзистора VT2 – резистором R5.

Конвертер выполнен в корпусе из белой жести размером 80×80×20. Корпус разделен перегородками высотой 20 мм на отдельные отсеки. Линии L1, L4 и L6 выполнены из куска медной проволоки диаметром 3 мм. Длина каждой из этих линий равна 45 мм. Линия L8 выполнена из медной проволоки диаметром 1,5 мм и имеет длину 40 мм. Линии L1, L3, L5 и L7 выполнены из медной проволоки диаметром 0,8 мм. Длина этих линий подбирается при настройке. Сначала следует произвольно выбрать и установить какую-то длину для каждой из этих линий (желательно минимальную), а затем, в процессе настройки, пытаться заменить на большую. Высота петли линии L5 примерно 20-25 мм. Дроссели Др1 и Др2 должны иметь 13-15 витков провода диаметром 0,5 мм на оправке диаметром 3 мм.

Расстояния между линиями также устанавливаются при настройке.

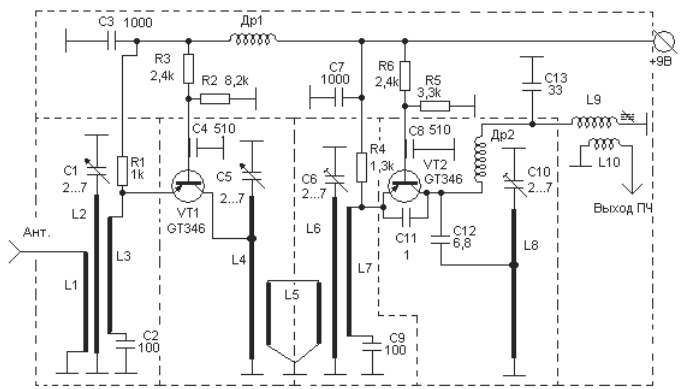


Рис. 6.17. Простой конвертер для ДМВ

Катушка L9 имеет 4 витка провода 0,8 мм и намотана на каркасе диаметром 8 мм. Каркас катушки L9 должен иметь подстроечный сердечник диаметром 4 мм. Катушка L10 имеет 3 витка, намотана поверх L9 у ее заземленного конца.

Расстояния между линиями также устанавливаются при настройке.

Настройку следует начать с проверки работоспособности гетеродина. Весь порядок настройки смотрите в описании следующего конвертера.

Высокочувствительный конвертер ДМВ

На рис. 6.18 приведена схема малошумящего конвертера ДМВ. Схема этого конвертера была описана М. Зайцевым в журнале «Радио» №4 за 1987 год.

Конвертер предназначен для преобразования сигналов 21-39-го телевизионных каналов дециметровых волн (ДМВ) в колебания любого из двенадцати каналов метровых волн (МВ). Он обладает высокой чувствительностью, избирательностью и большим коэффициентом усиления.

Технические характеристики

Расчетный коэффициент шума на частоте 600 МГц..... 6,5 дБ

Коэффициент усиления..... 15 дБ

Входное сопротивление..... 75 Ом

Напряжение питания..... ±9 В

Потребляемый ток..... не более 15мА

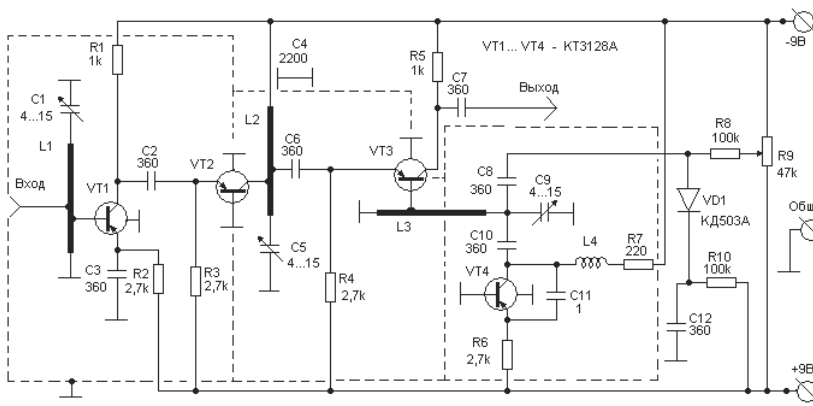


Рис. 6.18. Схема высокочувствительного конвертера

Принципиальная схема конвертера показана на рис. 6.18. Приходящий от приемной антенны по коаксиальному кабелю с волновым сопротивлением 75 Ом сигнал поступает на входной контур L1C1 с добротностью, равной примерно 25 (полоса пропускания – около 25 МГц). Выбор относительно высокого значения добротности обусловлен необходимостью увеличения чувствительности конвертера и повышения защищенности от помех, возникающих из-за перекрестных искажений при приеме мощных мешающих сигналов. Дальнейшее увеличение добротности за счет уменьшения коэффициентов включения антенны и усилителя высокой частоты (УВЧ) в контур L1C1 приводит к чрезмерной остроте настройки на канал конденсатором C1 и уменьшению КПД входной цепи.

УВЧ конвертера – каскодный, на транзисторах VT1 и VT2. Его нагрузкой служит контур L2C5. Через конденсатор C6 сигнал проходит на эмиттер транзистора VT3 преобразователя частоты (смесителя). Соответствующим подключением каскадов к линии L2 согласуются выходное (УВЧ) и входное (смесителя) сопротивления при выбранной добротности контура.

Напряжение гетеродина подается на базу транзистора VT3 смесителя с части линии L3. Она образует с конденсатором C9 контур гетеродина, выполненного на транзисторе VT4 по схеме емкостной трехточки. Коэффициент включения транзистора в контур определяется соотношением емкости конденсатора C11 и емкости эмиттерного перехода $C_э$. Изменением емкости диода VD1, подключенного к контуру через конденсаторы C8 и C12, можно плавно подстраивать гетеродин в пределах одного канала. Для этого на диод подано закрывающее его напряжение, которое можно регулировать переменным резистором R10. Резистор R7 препятствует возникновению дроссельных автоколебаний.

Повышение чувствительности конвертера по сравнению с аналогичными устройствами достигнуто выбором оптимального режима работы транзистора VT1 по коэффициенту шума и использованием стабилизированного двуполярного источника питающих напряжений. Такое питание позволило соединить базы непосредственно с общим проводом и обойтись без делителей в их цепях и блокировочных конденсаторов по переменному току. Это помогло избавиться от свойственных последним шумов высокочастотного мерцания емкости, уменьшить число деталей и, следовательно, обусловленные ими

паразитные емкости и индуктивности. Отсутствие блокировочного конденсатора в цепи базы транзистора VT4 гетеродина позволило получить более высокую чистоту спектра генерируемых колебаний. Кроме того, использование двуполярного источника питания полностью решило задачу термостабилизации каскадов.

Шумы транзистора VT1 зависят как от режима по постоянному току, так и от согласования входа УВЧ. Измерения показали, что коэффициент шума каскада на биполярном транзисторе практически не зависит от напряжения коллектор-эмиттер и увеличивается лишь при малых его значениях (не менее 3 В). Зависимость же его от коллекторного тока для большинства современных сверхвысокочастотных транзисторов имеет слабо выраженный минимум при значениях 1-5 мА.

Детали. В конвертере применены постоянные резисторы МЛТ (R1-R3 группы А, то есть с нормированным напряжением шумов не более 1 мкВ/В). Переменный резистор R10 – любой, сопротивлением 47-100 кОм. Подстроечные конденсаторы С1, С5, С9 – КПК-МП, проходной С4 – КТП или любой подходящий по габаритам емкостью 180-4700 пФ, остальные, кроме С11, КМ, КД емкостью 100-620 пФ. Следует учесть, что радиальный и осевой люфт роторов в подстроечных конденсаторах недопустим. Конденсатор С11 (1 пФ) – отрезок 75-омного кабеля с фторопластовой изоляцией (погонная емкость 0,55-0,67 пФ/см) длиной около 20 мм (уточняют при налаживании, начиная с 35 мм). Дроссель L4 намотан внавал на бумажном каркасе диаметром 3 мм и содержит 100 витков провода ПЭВ-2 0,1 (длина намотки – 5 мм).

Вместо диода КД503А можно применить КД509А, КД510А или КД521, КД522 с любым буквенным индексом, вместо транзисторов КТ3128А – ГТ330Ж, КТ3127А, КТ371А, любые из серии КТ382, ГТ3-29, ГТ383, КТ372, а также КТ3120А, КТ3123А, КТ3101А (названы в порядке улучшения параметров конвертера). При использовании транзисторов структуры n-p-n необходимо изменить полярность включения диода VD1 и источников питания.

Выводы элементов должны быть как можно короче, у разделительных и блокировочных конденсаторов их отпаивают совсем, предварительно очистив места пайки от краски. Транзисторы жестко вставляют в предназначенные для них отверстия (при использовании других транзисторов эти отверстия могут вообще не понадобиться). Для уменьшения влияния используемой отвертки на частоту настройки

контуров выводы роторов подстроечных конденсаторов С1, С5, С9 припаивают к плате (общему проводу), лепестки-выводы статоров откусывают. Соединения выводов деталей (двух, трех или четырех), показанные на чертеже без точек пайки, расположены над платой. Точками обозначены места пайки к фольге на соответствующей стороне платы.

Линии L1-L3 представляют собой отрезки неизолированного отполированного медного провода диаметром 1 мм и длиной 22 (L1, L3) мм. Один конец провода каждой линии припаивают к выводу статора подстроечного конденсатора, другой – к общему проводу, изогнув по радиусу 7 мм (L1, L3), или к выводу проходного конденсатора С4 (L2). Отрезки располагают над платой на высоте 5 мм для 21-го – 35-го каналов и 3 мм для 36-го – 39-го каналов. Расстояния до мест припайки элементов (считая от концов, соединенных с общим проводом непосредственно или через конденсатор С4) у L1 – 4,3 и 5,5 мм, у L2 – 3,5 и 12 мм, у L3 – 4 мм.

Для экранирования каскадов конвертера к плате припаивают стенки и перегородки высотой 12 мм из меди или латуни толщиной 0,3-0,5 мм с вырезами и отверстиями под выводы элементов. Выходную цепь преобразователя экранировать необязательно. После налаживания монтаж закрывают сверху крышкой из того же материала с отверстиями для доступа к роторам конденсаторов С1, С5, С9. С целью повышения механической прочности антенный и выходной кабели закрепляют на плате проволочными скобами.

Налаживание конвертера начинают с проверки потребляемого тока, который должен быть равен примерно 10 мА. Для питания на этом этапе желательно использовать гальванические элементы, что позволит избежать возможного влияния пульсаций и наводок от стабилизатора. Затем убеждаются в работе гетеродина, для чего подсоединяют выход конвертера к входу телевизора, включенного на свободный канал. При исправной работе гетеродина подача питания на конвертер приводит к увеличению звуковых шумов, а вращение ротора конденсатора С9 – к изменению их интенсивности и вспышкам на экране телевизора. Если этого не происходит, в качестве конденсатора С11 включают отрезок коаксиального кабеля длиной 35 мм. Нужного результата добиваются, понемногу укорачивая его острым ножом (если диаметр кабеля менее 3 мм, необходимо следить за тем, чтобы после подрезки оплетка не оказалась соединенной с центральным проводником). В случае неудачи описанную процедуру повто-

ряют при увеличенном эмиттерном токе транзистора VT4, для чего уменьшают сопротивление резистора R6 до 1,5 кОм.

Добившись устойчивой работы гетеродина, настраивают его на нужную частоту. Для этого антенный кабель подключают к левой (по схеме) обкладке конденсатора C6, предварительно отпаяв его от линии L2. Вращая ротор конденсатора C9, добиваются появления хотя бы слабого изображения на экране телевизора при приеме в выбранном канале МВ. Восстановив соединение конденсатора C6 с линией L2, подключают антенный кабель через конденсатор емкостью 10-30 пФ к эмиттеру транзистора VT2 и, вращая ротор конденсатора C5, настраивают контур УВЧ по наилучшему изображению на экране. Если резонансные явления отсутствуют, то есть положение ротора конденсатора C5 не влияет на качество изображения, то корректируют индуктивность линии L2, изменив высоту ее расположения над платой. Затем подают сигнал на вход конвертера и таким же образом настраивают входной контур L1C1.

Далее вместо резистора R2 включают последовательно соединенные постоянный резистор сопротивлением 820 Ом и переменный сопротивлением 10 кОм. Изменяя последним эмиттерный ток транзистора VT1 и подстраивая входной контур, добиваются максимальной чувствительности конвертера по наиболее высокому качеству изображения. Измерив полное сопротивление резисторов в цепи эмиттера, заменяют их одним резистором с наиболее близким номиналом.

На распространение ДМВ весьма ощутимо влияют метеорологические условия. Поэтому в местности, расположенной в зоне неуверенного приема, режим транзистора VT1 по наилучшей чувствительности желательно подбирать при установившейся погоде за несколько часов до или после захода солнца.

Конвертер для диапазона СВЧ

На рис. 6.19 приведена схема простейшего конвертера на СВЧ. Схема более сложного варианта подобного конвертера изображена на рис. 4.1. Там же вы найдете ссылку на сайт в Интернет, из которого можно загрузить подобные схемы конвертеров.

По заверению автора разработки (UO5OHX), конвертер предназначен для преобразований сигналов с частотой 2,5-2,7 ГГц в сигналы ПЧ метрового телевизионного диапазона.

Транзистор VT1 выполняет роль одновременно и УВЧ и смесителя. Транзистор VT2 является гетеродином, настройка которого на заданную частоту устанавливается длиной линии L2, емкостью конден-

сатора С4 и входной емкостью VT2. Транзистор VT2 задействован по схеме с общим коллектором и имеет резистор R3 в качестве нагрузки в цепи эмиттера. Одновременно R3 включен в цепь эмиттера транзистора VT1 – таким путем сигнал с гетеродина VT2 подается на эмиттер смесителя VT1.

Транзисторы VT3 и VT4 представляют собой каскодный усилитель промежуточной частоты. Выход ПЧ осуществляется через конденсатор С9.

Конвертер выполнен на плате из фольгированного стеклотекстолита. Катушка L1 содержит 3 витка провода Ø 0,8 мм, намотана на болванке диаметром 3 мм. Катушка L3 содержит 10 витков провода Ø 0,4 мм, намотана на каркасе диаметром 3 мм, отвод выполнен от середины катушки. L4 содержит 14 витков провода Ø 0,4 мм, намотана на каркасе диаметром 3 мм.

Конвертер предназначен для установки его непосредственно возле вывода антенны, поэтому напряжение питания (+12В) подается к конвертеру по кабелю питания антенны.

Налаживание конвертера очень простое – необходимо любым известным вам методом установить требуемую частоту гетеродина (VT2).

НАСТРОЙКА УВЧ

Настройка УВЧ любого приемного устройства должна проводиться после настройки и проверки работоспособности гетеродина и смесителя, то есть в последнюю очередь.

Настройку приемного тракта (или любого УВЧ) надо начинать с установки режимов первых двух транзисторов (например, VT1 и

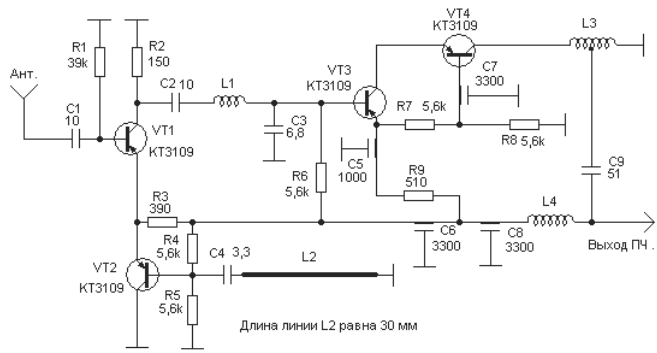


Рис. 6.19. Простейший конвертер для диапазона СВЧ

VT2) по постоянному току. Для этого подбором соответствующих резисторов следует установить коллекторные токи транзисторов в пределах 2-2,5 мА.

После этого включается в работу все приемное устройство полностью. Если вы настраиваете конвертер к имеющемуся уже радиоприемнику, то смеситель подключается к входу этого коротковолнового приемника, настроенного на нужную частоту. Дальнейшую настройку следует проводить с использованием сигнала гетеродина. Затем, постепенно уменьшая емкость подстроечных конденсаторов, настроить полосовой фильтр по максимуму шума. Такая процедура регулировки гарантирует от настройки УВЧ на зеркальный канал.

Грубую настройку входного контура и первого каскада УВЧ можно также выполнить с помощью генератора шума. Окончательно входной контур можно настроить только при наличии входного сигнала, поданного на УВЧ от антенны по фидеру, который должен иметь то же самое волновое сопротивление, для работы с которым предназначается данный УВЧ. В крайнем случае для такой настройки можно зашунтировать вход конвертера резистором 75 Ом и в качестве антенны подключить отрезок провода длиной 10-15 см. Можно также попытаться принять сигналы радиостанций нужного диапазона на нормальную наружную антенну.

Для более точной настройки входного контура УВЧ наиболее удобно воспользоваться шумовым источником сигнала, так как при этом на процесс настройки не влияет нестабильность частоты и уровня принимаемого сигнала. В качестве такого источника мож-

но использовать ламповый шумовой диод типа 2Д2С. Основное достоинство данного источника заключается в том, что он генерирует шумы известной мощности, и поэтому его можно использовать для измерения коэффициента шума приемника. К недостаткам можно отнести то, что максимальная интенсивность шума такого источника невелика (20-50 kT_0), к тому же чем больше интенсивность шума, тем больше температура катода и тем, следовательно, меньше срок службы диода.

Окончательная настройка производится с помощью измерительного генератора шума.

ГЛАВА 7.
БЛОКИ ЗАДАЮЩИХ ГЕНЕРАТОРОВ

Умножители частоты 164
Схемы простых умножителей частоты 166
Схемы двухтактных удвоителей 167
Умножители нечетных гармоник 168
Умножитель частоты с ФАПЧ 169
Умножитель частоты на MC12179 176
Синтезатор частоты на LM7001 178
Микросхемы серии LM7001 для синтезатора частот 179
Устройства для управления частотой задающего генератора 182
Схема электронной настройки 182
Модуляторы для микрофонов (динамических и угольных) 184
Модулятор для цифровой связи 185
Настройка модулятора 188
Модулятор на МС с ФАПЧ 189
Схема модема 189
Тональный генератор 190
Настройка модулятора 190
Применяемые варикапы 191

В главе 5 достаточно подробно рассмотрены принципы построения схем различных типов генераторов, но при этом делался упор на то, что эти генераторы должны работать в качестве гетеродинов (именно *первых* гетеродинов) УКВ радиоприемников. В этой главе также приводились некоторые математические формулы, позволяющие выполнить простейший расчет элементов схемы генератора.

В этой же главе мною будут приводиться только те сведения, которые являются специфическими именно для задающих генераторов, работающих в составе УКВ передатчиков. Очень подробно тема задающих генераторов освещена в книге В. Полякова [5]. Настоятельно советую прочитать.

По качеству излучаемого в эфир сигнала обычно корреспонденты судят и об умении, и о способностях владельца радиостанции. Следует помнить, что качество сигнала во многом определяется задающим генератором передатчика.

Основное требование, предъявляемое к задающему генератору, – это высокая стабильность частоты.

Уход частоты за время проведения самой долгой связи не должен превосходить 50-200 Гц, лишь в этом случае корреспондент не будет вынужден подстраивать приемник. Относительная нестабильность частоты при таком уходе должна быть не хуже $5 \cdot 10^{-5}$ – $3 \cdot 10^{-6}$. Если первую цифру получить сравнительно несложно, то вторую – можно лишь при тщательном выборе схемы, проектировании удобного расположения элементов и аккуратном изготовлении генератора.

Кроме того, следует учитывать задачи, которые будет выполнять разрабатываемый вами передатчик. Если передатчик разрабатывается только для работы микрофоном с частотной модуляцией, то требования могут быть не очень жесткими. Другое дело, если передатчик предназначается для работы цифровыми видами связи в сети, тогда требования должны быть самыми жесткими.

Другое, не менее важное требование состоит в отсутствии модуляции сигнала генератора шумом, фоном, изменениями напряжения питания и т.д.

Посмотрим, как удовлетворить поставленным требованиям. Любой генератор содержит колебательную систему и активный элемент, служащий для усиления мощности сигнала, снимаемого с колебательной системы. Усиленный сигнал через цепь обратной связи подается снова в колебательную систему, компенсируя ее потери. Они обратно пропорциональны добротности колебательной системы. Наивысшую добротность имеют кварцевые резонаторы, кроме того,

параметры кварца мало зависят от температуры. Поэтому кварцевые генераторы могут иметь относительную нестабильность частоты до 10^{-7}.

Для возбуждения колебаний в контуре надо выполнить два условия: баланс амплитуд и баланс фаз.

Условие баланса амплитуд требует, чтобы энергия, подводимая к контуру от активного элемента, в точности равнялась потерям энергии в самом контуре и цепях связи с другими элементами генератора.

При более слабой обратной связи колебания затухают и генерация прекращается, а при более сильной – амплитуда колебаний растет и активный элемент (обычно транзистор) либо входит в насыщение, либо закрывается напряжением, вырабатываемым цепью стабилизации амплитуды. В обоих случаях усиление уменьшается, восстанавливая баланс амплитуд. Связь контура с остальными элементами схемы генератора выгодно делать слабой, чтобы возможные нестабильности этих элементов меньше влияли на частоту колебаний. Вносимые цепями связи потери в контур получаются малыми, а его нагруженная добротность – максимально высокой.

Условие баланса фаз состоит в том, чтобы колебания, усиленные активным элементом, подводились к контуру синфазно с его собственными. Следовательно, общий фазовый сдвиг по петле обратной связи должен составлять 0°. Любой транзисторный усилитель вносит некоторую задержку усиливаемого сигнала из-за конечного времени прохождения носителей тока, влияния паразитных емкостей и т.д. Это приводит к запаздыванию по фазе сигнала обратной связи. Оно тем меньше, чем больше отношение граничной частоты транзистора к генерируемой частоте. Поэтому в задающих генераторах следует применять транзисторы с граничной частотой, по крайней мере в 10-20 раз выше генерируемой. Оставшийся фазовый сдвиг компенсируется контуром.

В реальном генераторе колебания происходят не на собственной частоте контура, а на той, где его фазовый сдвиг противоположен и равен сдвигу фазы в активном элементе и цепях связи. При этом имеющееся частотное отклонение тем меньше, чем круче фазовая характеристика контура, а следовательно, и больше его добротность. *Таким образом, существенного улучшения стабильности частоты можно добиться, применив контур высокой добротности и высокочастотный транзистор, как можно слабее связанный с контуром.*

Остается еще собственная нестабильность резонансной частоты контура. Она вызвана изменениями температуры и механическими перемещениями элементов контура относительно друг друга. Изменение индуктивности и емкости при нагреве на 1°С характеризуются температурными коэффициентами индуктивности и емкости (ТКИ и ТКЕ). В правильно спроектированном генераторе температурные изменения индуктивности и емкости должны быть равны и противоположны по знаку – в этом и состоит принцип температурной компенсации. ТКИ всех катушек, как правило, *положителен,* что объясняется увеличением их геометрических размеров при нагреве. Наименьший ТКИ у катушек с керамическими каркасами, изготовленных методом вжигания проводящих витков. Небольшой ТКИ и у катушек, намотанных на керамических каркасах с большим натяжением провода. Отрицательным ТКЕ обладают керамические конденсаторы с красным ($-700 \cdot 10^{-6}$) и голубым ($-50 \cdot 10^{-6}$) цветом окраски. Обычно в контур включают основной конденсатор с небольшим ТКЕ (серый или голубой) и термокомпенсирующий конденсатор меньшей емкости с большим отрицательным ТКЕ (красный). Подбирая соотношения их емкостей, добиваются примерного постоянства резонансной частоты контура при нагреве. Колебательный контур генератора желательно поместить в закрытую металлическую коробку-экран. В особо важных случаях контур или даже весь задающий генератор помещают в термостат.

Монтаж генератора является исключительно ответственной операцией и его следует выполнять жестким одножильным проводом, соединительные проводники должны быть по возможности короткими. *Не следует выбирать контур с малой индуктивностью и большой емкостью* – это не способствует повышению добротности и увеличивает влияние паразитной индуктивности выводов катушки и конденсаторов. Механическая конструкция генератора должна полностью исключать возможность хотя бы малого перемещения его деталей относительно друг друга. Переменный конденсатор надо выбирать наилучшего качества или, в обоснованных случаях, вообще отказаться от него, применив электронную настойку.

УМНОЖИТЕЛИ ЧАСТОТЫ

Для работы любительских радиостанций на высокочастотных участках УКВ и СВЧ диапазонов гетеродины приемников и передатчиков становятся многокаскадными. Задающий генератор, который

является первым каскадом гетеродина, обычно работает на довольно низкой частоте. Делается это по разным причинам:

- на низких частотах проще подобрать необходимый кварцевый резонатор или создать более благоприятные условия для стабилизации частоты в генераторах с параметрической стабилизацией;
- на низких частотах легче организовывать управление частотой генератора;
- отсутствие у радиолюбителей высокочастотных кварцевых резонаторов.

Многокаскадный гетеродин состоит из генератора и последующих нескольких каскадов умножения частоты до необходимой рабочей величины. Так, например, если нам необходимо для КВ радиоприемника, имеющего любительский диапазон 21 МГц, разработать конвертер, способный принимать сигналы радиостанций в диапазоне 145 МГц, то нужно создать гетеродин с рабочей частотой 123 МГц. Получить такую рабочую частоту можно несколькими способами, с использованием самых разнообразных кварцевых резонаторов. Одним из вариантов может быть применение КР на частоту 13,66 МГц. В этом случае собственно генератор должен генерировать частоту 13,66 МГц, следующие два каскада должны выполнить умножение этой частоты в 9 раз, то есть каждый из каскадов должен умножать частоту на 3, или, как говорят, каждый из этих каскадов должен работать в режиме *утроителя* частоты.

Как правило, умножительные каскады в большее число раз в любительской практике используются редко.

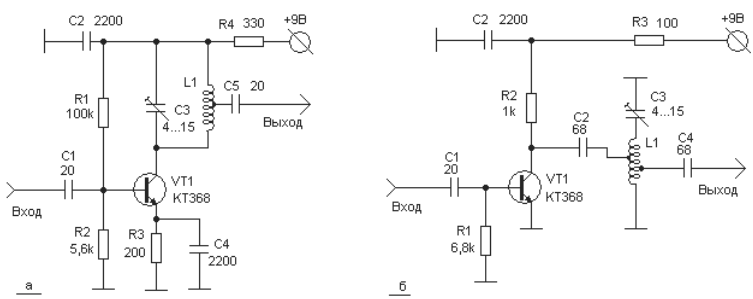


Рис. 7.1. Схемы умножителей частоты

Схемы простых умножителей частоты

Фактически умножитель частоты не является каким-то необычным, специальным каскадом, а представляет собой обычный усилительный каскад высокой частоты.

На рис. 7.1 приведены две схемы простых умножителей частоты.

Схема на рис. 7.1а представляет собой обычный каскад УВЧ. Резисторами R1, R2 и R3 устанавливается режим работы транзистора VT1. Контур L1C3 должен быть настроен на частоту нужной гармоники электромагнитных колебаний, поступающих на этот каскад через C1 от каскада предыдущего. Выделенный в контуре L1C3 сигнал нужной частоты подается к следующему каскаду через конденсатор C5. Резистор R4 и конденсатор C2 предотвращают попадание ВЧ энергии в цепи питания (являются блокировочными элементами).

Схема на рис. 7.1б уже имеет значительные отличия от предыдущей схемы. Главное отличие в том, что транзистор VT1 в этой схеме работает в ключевом режиме, то есть ток через транзистор протекает только во время прохождения через базу транзистора импульса положительного полупериода электромагнитных колебаний, которые поступают через C1. Контур L1C3 является параллельной нагрузкой, настроенной на частоту нужной гармоники. Выделенный в этом контуре сигнал нужной частоты подается к следующему каскаду через C4.

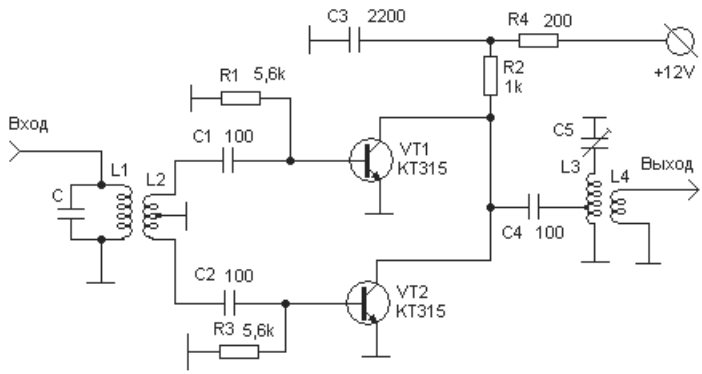


Рис. 7.2. Схема удвоителя частоты

Схемы двухтактных удвоителей

Требование о необходимости содержания в сигнале гетеродина минимальных шумов, которые зависят от наличия в сигнале большого числа гармоник, поставило задачу уменьшить число этих гармоник.

Выполнить поставленную задачу удалось с помощью специальных двухтранзисторных умножителей, в которых эти два транзистора включены по двухтактной схеме.

На рис. 7.2 приведена принципиальная схема двухтактного удвоителя частоты.

Транзисторы на схеме рис. 7.2 включены по так называемой двухтактной схеме. Дело в том, что на базы этих транзисторов поступают противофазные сигналы и в течение одного из полупериодов поступающего сигнала работает транзистор VT1, а в течение второго полупериода работает транзистор VT2. Поскольку эти два транзистора работают на общую для них нагрузку, то в этой нагрузке, за один период частоты поступающего на каскад сигнала, возникают два периода уже новой, удвоенной частоты.

Если поступающий на такой каскад сигнал достаточно сильный, то точно таким же образом на выходе можно выделить и четвертую гармонику поступающего на вход сигнала.

Как вы уже заметили, двухтактный удвоительный каскад выделяет в своей нагрузке *только четные гармоники*. Все *нечетные гармоники подавляются* и в последующем сигнале уже не присутствуют.

Сигнал, который должен быть удвоен, выделяется в контуре L1C. Поверх катушки L1 наматывается катушка L2, выполненная из двух отдельных проводов. Делается катушка L2 следующим образом. Нужно отмерить и отрезать два одинаковых куска изолированного тонкого провода, длина которых должна быть достаточной для намотки поверх катушки L1 3-5 витков, из которых будет состоять катушка L2. Затем два конца обоих проводов зажимаются, и эти два провода свиваются в единый жгут. После намотки катушки L2 получившимся жгутом и закрепления ее витков, начало одного из проводов соединяется с концом другого провода. Таким путем образуется средняя точка катушки L2, которая соединяется с корпусом (заземляется). Оставшиеся конец первого провода и начало второго подключаются через конденсаторы C1 и C2 к базам транзисторов VT1 и VT2.

Таким же образом организуется противофазная подача сигналов к базам VT1 и VT2.

На рис. 7.3 приведена принципиальная схема второго варианта двухтактного удвоителя частоты.

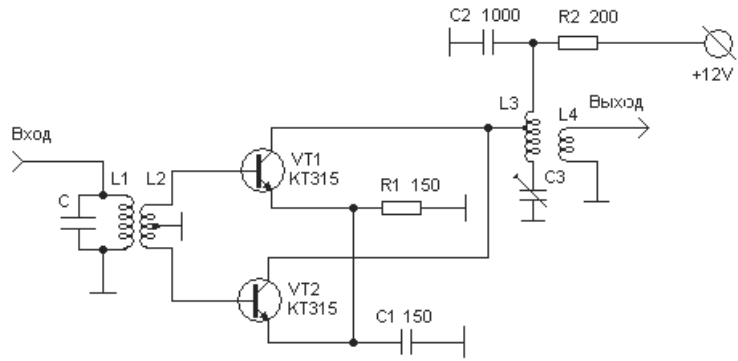


Рис. 7.3. Второй вариант схемы удвоителя частоты

Схема этого варианта несколько проще и содержит меньшее количество деталей, но работает так же эффективно. Как вы уже заметили, нагрузка удвоительного каскада, роль которой выполняет контур L3C3, включена в этом варианте последовательно. В таком случае нужно всегда помнить, что выходные емкости транзисторов складываются и отвод для подключения катушки должен располагаться ближе к заземленному по ВЧ концу катушки.

Ток через транзисторы, а вместе с ним и усиление удвоенного сигнала, регулируются подбором величины сопротивления резистора R1. Емкость конденсатора C1 обычно берется в пределах 120-200 пФ.

УМНОЖИТЕЛИ НЕЧЕТНЫХ ГАРМОНИК

Если двухтактную схему умножителя частоты несколько преобразовать, то она станет служить умножителем нечетных гармоник и подавлять гармоники четные.

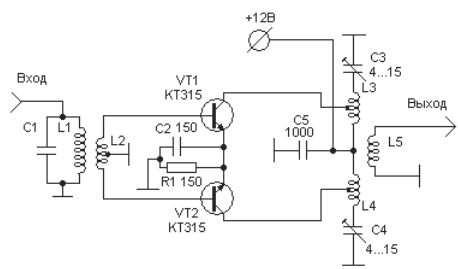


Рис. 7.4. Схема двухтактного утроителя частоты

На рис. 7.4 приведена схема двухтактного утроителя частоты.

Основное отличие схемы этого умножителя состоит в том, что в цепях коллекторов и одного и другого транзисторов (VT1 и VT2) располагается по одному контуру (L3 и L4), настроенному на нужную гармонику. Каждый из этих контуров настраивается своим собственным подстроечным конденсатором (C3 и C4). В точке подвода питания обязательно должен находиться блокировочный конденсатор C5. В остальном это обычный двухтактный умножитель.

На рис. 7.5 показана схема еще одного двухтактного утроителя. В этой схеме в цепи и одного и другого транзистора располагается один контур L3C3. Питание подается в отвод от средней точки катушки L3 обязательно через ВЧ дроссель Др1.

УМНОЖИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ С ФАПЧ

Система фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) – это весьма важный и полезный узел, выпускаемый в виде отдельной интегральной схемы многими фирмами-изготовителями. ФАПЧ содержит фазовый детектор, усилитель и генератор, управляемый напряжением (ГУН), и представляет собой сочетание в одном корпусе аналоговой и цифровой техники. ФАПЧ применяется для тонального декодирования, демодуляции АМ- и ЧМ-сигналов, умножения частот, частотного синтеза и во многих других случаях.

В этой главе будет рассмотрено применение ФАПЧ для умножения частоты.

Уже с давнего времени ФАПЧ перестала быть уделом профессионалов. С появлением на рынке микросхем ФАПЧ радиолюбители все больше начинают использовать эти устройства в своих конструкциях. Практическое применение ФАПЧ становится среди радиолюбителей-конструкторов модой, и в любое радиотехническое изделие пытаются встроить ФАПЧ, хотя в некоторых случаях в результате

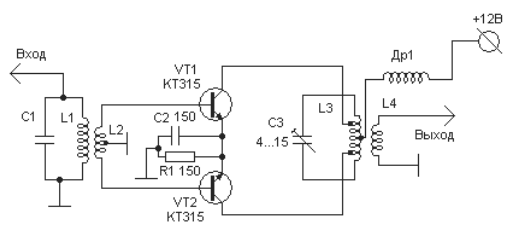


Рис. 7.5. Другой вариант схемы утроителя частоты

получается ухудшение характеристик. Дело в том, что ФАПЧ шумит. Одни микросхемы ФАПЧ шумят меньше, другие – больше, но все равно шумят, потому что возможности создания шума заложены в саму основу ФАПЧ.

Попробуем разобраться в основах работы ФАПЧ.

На рис. 7.6 показана классическая блок-схема ФАПЧ. Основные компоненты ФАПЧ: фазовый детектор, НЧ-фильтр, усилитель сигнала и ГУН (Генератор, Управляемый Напряжением). При совместной работе эти компоненты создают так называемый *контур регулирования ФАПЧ*.

Фазовый детектор – устройство, которое осуществляет сравнение двух входных частот (одна из которых эталонная) и формирует выходной сигнал, пропорциональный их фазовой разности (если, например, частоты различаются, то на выходе появится периодический сигнал на разностной частоте). Если $f_{ВХ}$ не равна $f_{ГУН}$, то на выходе фазового детектора появляется сигнал.

Этот сигнал поступает на **НЧ–фильтр,** а затем и на **усилитель**. Отфильтрованный и усиленный сигнал фазовой ошибки будет воздействовать на частоту ГУН, изменяя ее в направлении $f_{ВХ}$. При нормальных условиях ГУН быстро производит «захват» частоты $f_{ВХ}$, поддерживая постоянный фазовый сдвиг по отношению к входному сигналу.

Если ФАПЧ используется как умножитель частоты, то между выходом ГУН и фазовым детектором включают делитель частоты на величину **n**, обеспечивая таким образом умножение входной эталонной частоты $f_{ВХ}$ на величину **n**.

Рассмотрим подробнее каждый из компонентов ФАПЧ.

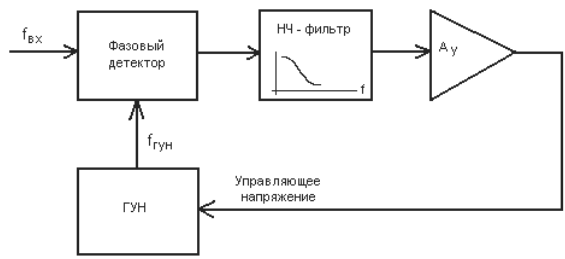


Рис. 7.6. Схема фазовой автоподстройки частоты

Фазовый детектор

Самым простым фазовым детектором является цифровой детектор, который представляет собой простой вентиль ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ, схематическое изображение которого показано на рис. 7.7б. На рис. 7.7а схематично показано, как образуется сигнал на выходе ФД. На рис. 7.7в показана зависимость выходного напряжения от разности фаз при использовании фильтра низких частот и прямоугольного входного колебания со скважностью 50%.

Фазовый детектор, построенный на элементе ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ, всегда генерирует выходное колебание, которое в дальнейшем должно фильтроваться с помощью фильтра контура регулирования. Таким образом, ФАПЧ с фазовым детектором такого типа содержит контурный фильтр, работающий как фильтр нижних частот, сглаживающий логический выходной сигнал. В таком контуре всегда присутствует некоторая остаточная пульсация и, следовательно, периодические фазовые изменения. В тех схемах, где ФАПЧ используется для умножения или синтеза частот, к выходному сигналу добавляются еще и «боковые полосы фазовой модуляции». Фазовые изменения и фазовая модуляция вызывают явление, которое мы называем шумом генератора.

Фильтр НЧ

Состоит, как правило, из R и C элементов. В зависимости от числа элементов и выполняемых функций, фильтры могут быть первого или второго порядка. Часто используются различные схемы активных НЧ фильтров, выполненные на транзисторах или операционных усилителях. Положительным свойством таких фильтров является то, что активные фильтры почти не вносят ослабления сигнала.

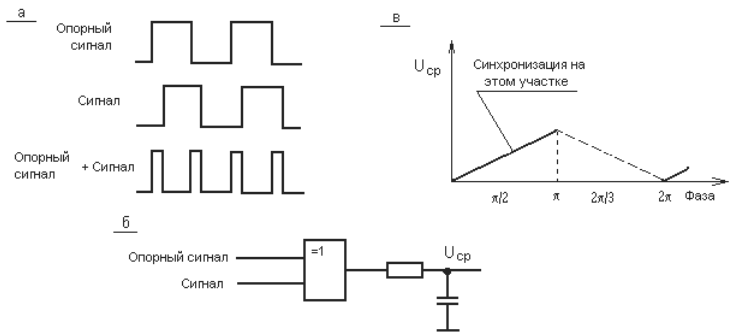


Рис. 7.7. Фазовый детектор

Усилитель

В качестве усилителя можно использовать операционный усилитель типа К140УД7 и другие. Можно использовать построенные на транзисторах дифференциальные усилители различной сложности.

Генераторы, управляемые напряжением

Важным компонентом ФАПЧ является генератор, частотой которого можно управлять, используя выходной сигнал фазового детектора. Некоторые ИМС ФАПЧ содержат ГУН (например, 564ГГ1). В принципе, в качестве ГУН можно использовать любой из транзисторных генераторов, частотой которого можно управлять посредством варикапа.

Зависимость частоты ГУН от управляющего напряжения, используемого в ФАПЧ, может не обладать высокой линейностью, однако в случае большой нелинейности коэффициент усиления в контуре регулирования будет изменяться в соответствии с частотой сигнала, и придется обеспечивать больший запас устойчивости.

Особенность проектирования ФАПЧ

Фазовый детектор вырабатывает сигнал ошибки, соответствующий фазовому рассогласованию между входным и опорным сигналами. Частотой ГУН можно управлять, подавая на его вход соответствующее напряжение. Казалось бы, что здесь можно поступить так же, как и в любом другом усилителе с обратной связью, вводя контур регулирования с некоторым коэффициентом передачи.

Однако имеется одно существенное отличие. В усилителе с обратной связью регулируемая с помощью обратной связи величина совпадает с величиной, измеряемой с целью формирования сигнала ошибки, или по крайней мере ей пропорциональна.

В системах ФАПЧ осуществляется интегрирование. Мы измеряем фазу, а регулируем частоту, но фаза является интегралом от частоты. За счет этого в контуре регулирования появляется фазовый сдвиг 90°.

Такой интегратор, включенный в контур обратной связи, существенным образом влияет на работу схемы – дополнительное запаздывание по фазе на 90° на частотах, где коэффициент усиления равен единице, вызывает возникновение самовозбуждения. Простое решение заключается в том, чтобы не включать в контур компоненты, которые дают дополнительное запаздывание по фазе, по крайней мере, на тех частотах, где коэффициент усиления близок к единице. Это

один из подходов, и он приводит к тому, что называется **контуром первого порядка**.

Блок-схема с контуром первого порядка в этом случае выглядит точно так же, как ранее приведенная блок-схема ФАПЧ (рис. 7.6), но без фильтра нижних частот.

Хотя контуры первого порядка во многих ситуациях очень удобны, они не обладают необходимыми свойствами накопителя энергии, которые позволяют генератору, управляемому напряжением, сглаживать помехи и флуктуации входного сигнала. Более того, контур первого порядка не сохраняет постоянным фазовое соотношение между опорным сигналом и сигналом ГУН, так как выход фазового детектора непосредственно управляет ГУН.

В контур второго порядка вводится дополнительная фильтрация на низкой частоте с целью предотвращения неустойчивости. Такой контур обладает свойством накопителя энергии («маховика») и, кроме того, уменьшает «диапазон захвата» и увеличивает время захвата.

Практически во всех системах применяют контуры второго порядка, поскольку в большинстве применений система ФАПЧ должна обеспечивать малые флуктуации базы выходного сигнала, а также обладать некоторыми свойствами памяти или «маховика». Контуры второго порядка могут иметь высокий коэффициент передачи на низких частотах, что обеспечивает повышенную устойчивость (по аналогии с достоинствами высокого коэффициента усиления в усилителях с обратной связью).

Разработка умножителя частоты с ФАПЧ

Формирование частоты, кратной фиксированной входной частоте, является одним из наиболее распространенных применений ФАПЧ. В частотных синтезаторах частота выходного сигнала формируется за счет умножения частоты, стабилизированной кварцевым резонатором, на число **n**; число **n** можно задавать в цифровом виде, то есть можно получить гибкий источник сигналов, которым можно управлять даже с помощью компьютера или простого контроллера.

В данном примере попытаемся использовать ФАПЧ, чтобы получить довольно высокую частоту диапазона ДМВ, стабилизированную низкочастотным кварцевым резонатором. Итак, имеем кварцевый резонатор на частоту 6,8 МГц, микросхему КР193ИЕ6 (делитель на 64, работает на частотах до 1000 МГц), а также микросхему КР1564ЛП5, которую будем использовать в качестве фазового детектора.

Начнем со стандартной схемы ФАПЧ, в которой между выходом ГУН и фазовым детектором включен счетчик-делитель на **n** (рис. 7.8).

На этой схеме для каждого функционального блока указан коэффициент передачи. При расчете контура ФАПЧ эти коэффициенты используются для проведения расчетов по устойчивости. Имеются специальные формулы для расчета каждого из коэффициентов передачи. Общий коэффициент передачи контура ФАПЧ будет равен произведению коэффициентов передачи всех функциональных блоков контура. По результатам расчета величины общего коэффициента судят об устойчивой работе данной схемы контура.

Наибольшие трудности в этих расчетах приходятся на долю расчета элементов НЧ фильтра. Для большинства радиолюбителей, не имеющих возможности заняться расчетом устойчивости, приходится подбирать компоненты фильтра до тех пор, пока контур не заработает. Попробуем рассмотреть назначения элементов фильтра. На рис. 7.9 приведена одна из возможных схем фильтра НЧ.

Произведение R1×C0 определяет время сглаживания контура, а R0/R1 – демпФирование, то есть отсутствие перегрузки в скачкообразном изменении частоты. Подбор величин можно начинать с R0 = 0,2 R1. На рис. 7.9,б приведена схема с дополнительным конденсатором C1. Один из возможных вариантов этого фильтра может иметь следующие данные: R1 = 10 К, R0 = 10 К, C0 = 1000 и C1 = 0,033 мк.

Рассмотрим принципиальную схему умножителя частоты с ФАПЧ, в которой имеется кварцевый резонатор на частоту 6,8 МГц, микросхема КР193ИЕ6 (делитель на 64, работает на частотах до 1000 МГц), а также микросхема КР1564ЛП5, которую будем использовать в качестве фазового детектора.

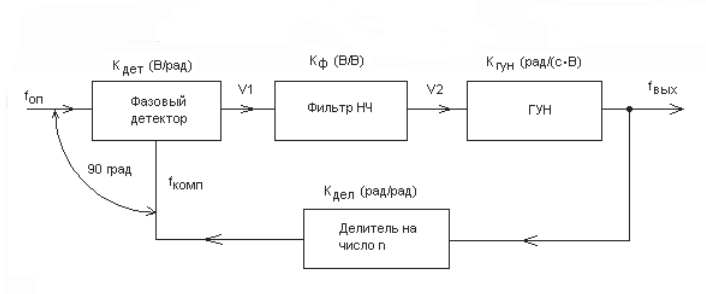


Рис. 7.8. Блок-схема умножителя частоты

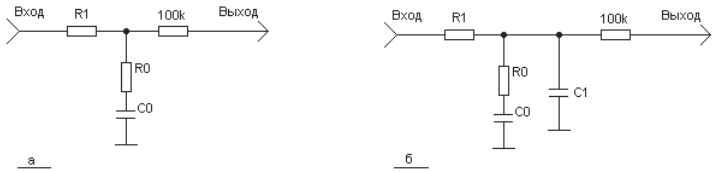


Рис. 7.9. Схема фильтра НЧ

На рис. 7.10 приведена одна из возможных принципиальных электрических схем умножителя частоты на 64 с применением ФАПЧ, в которой задействованы перечисленные выше компоненты.

Эта схема не является отработанной и приведена мною чисто в целях иллюстрации возможного варианта умножителя с применением ФАПЧ.

Фазовый детектор выполнен на МС DD1 74HC86 (564ЛП5). На элементе этой микросхемы DD1.1 выполнен генератор с кварцевым резонатором Z1. На элемент DD1.3, который работает в режиме повторителя, поступает сигнал с МС делителя частоты ГУН. Разностный сигнал выявляется на элементе DD1.2 и подается на активный НЧ фильтр, выполненный на транзисторах VT1 и VT2. R10 и C6 являются дополнительными элементами НЧ фильтра. На варикап VD1 разностный сигнал поступает через R10. ГУН выполнен на транзисторе VT3, а на VT4 собран буфер – усилитель частоты ГУН. С VT4

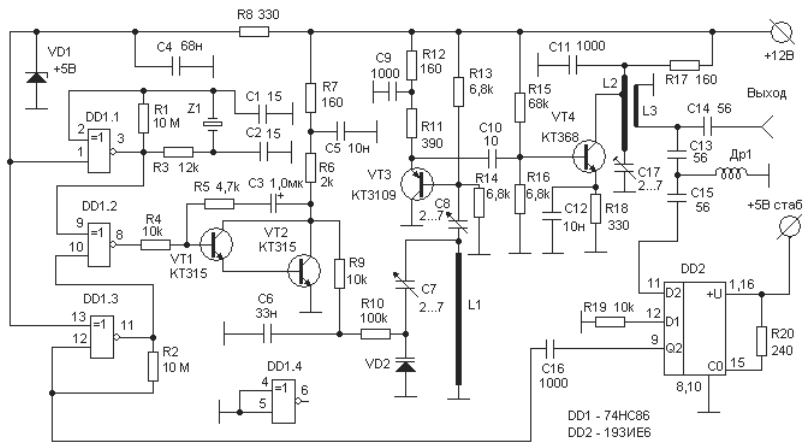


Рис. 7.10. Схема умножителя частоты с ФАПЧ

сигнал подается через С14 на выход, а через фильтр ВЧ С13Др1-С15 – на делитель частоты ГУН, выполненный на DD2. С выхода делителя частоты сигнал подается на фазовый детектор через конденсатор С16.

О процессе захвата. Для выполнения процесса «захвата» частоты необходимым условием является достаточное напряжение сигнала рассогласования после НЧ фильтра. Всегда следует помнить, что НЧ фильтр на LC элементах вносит большое ослабление сигнала. Контур первого порядка всегда будет синхронизироваться, поскольку там отсутствует ослабление сигнала рассогласования на низкой частоте. Синхронизация контура второго порядка зависит от типа фазового детектора и полосы пропускания фильтра нижних частот. Кроме того, фазовый детектор по схеме ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ имеет ограниченный диапазон захвата, зависящий от постоянной времени фильтра.

Процесс захвата происходит следующим образом: когда сигнал фазового рассогласования приближает частоту ГУН к опорной частоте, его изменения становятся более медленными, и наоборот. Сигнал рассогласования поэтому является асимметричным и меняется более медленно в той части цикла, в течение которой $f_{ГУН}$ ближе подходит к $f_{ОП}$. В результате появляется ненулевая средняя компонента, то есть постоянная компонента, которая и вводит ФАПЧ в синхронизм. Если графическим путем проанализировать управляющее напряжение ГУН в процессе захвата, то можно получить что-то похожее на сигнал, показанный на рис. 7.11.

Каждый процесс захвата индивидуален и каждый раз он выглядит по-разному.

О полосе захвата и слежения. При использовании фазового детектора по схеме ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ полоса захвата ограничена постоянной времени фильтра нижних частот. В этом есть определенный смысл, так как, если различие по частоте велико, сигнал рассогласования будет ослабляться фильтром настолько, что контур никогда не сможет осуществить захват. Очевидно, что увеличение постоянной времени фильтра уменьшает полосу захвата, поскольку это приводит к пониженному коэффициенту передачи контура.

Умножитель частоты на MC12179

Фирма MOTOROLA изготавливает серийно микросхему ФАПЧ типа MC12179, которая в своем составе уже имеет следующие ком-

поненты, необходимые для создания полноценного контура ФАПЧ, а именно:

- в составе микросхемы имеются все элементы, необходимые для организации работы внешнего генератора с кварцевой стабилизацией частоты;
- в составе микросхемы имеется фазовый детектор;
- в составе микросхемы имеется делитель частоты на 256, что позволяет использовать эту МС как умножитель частоты до частот 2500 МГц;
- в составе микросхемы предусмотрен вход для частоты ГУН и выход сигнала рассогласования к НЧ фильтру.

Обратите внимание, что фильтра НЧ в составе микросхемы нет, его в каждом отдельном случае следует проектировать в соответствии с индивидуальными требованиями к умножителю.

На рис. 7.12 показан схематически контур ФАПЧ с микросхемой MC12179.

Кварц Z1 может выбираться в пределах от 5 до 11 МГц, при этом на выходе умножителя можно получить частоты в диапазоне от 2400 до 2800 МГц.

Схемы возможных для применения НЧ фильтров показаны на рис. 7.13.

Как сообщил мне в одном из своих писем Александр Пожарский (RK3DTI), которому я исключительно благодарен за ряд ценной информации, умножитель частоты с ФАПЧ на MC12179 создает шумы

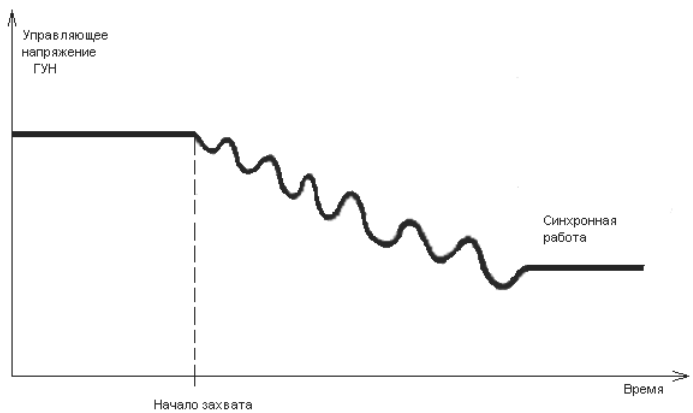


Рис. 7.11. График процесса захвата частоты

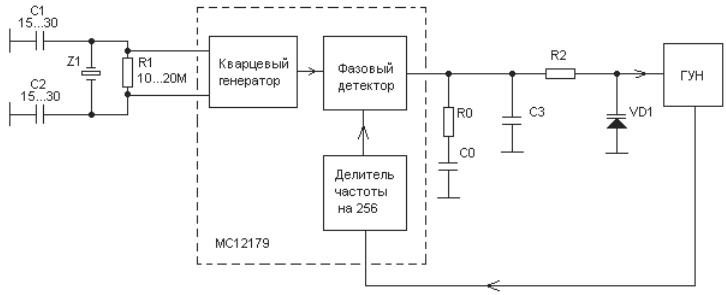


Рис. 7.12. Схема контура ФАПЧ с MC12179

во много раз меньшие, чем умножитель по описанной выше схеме с отдельным делителем частоты.

СИНТЕЗАТОР ЧАСТОТЫ НА LM7001

В журнале «Радио» №4 за 2003 год была опубликована статья Алексея Темерева (UR5VUL) «УКВ синтезатор частот». Описанная в этой статье схема синтезатора частоты для диапазона 145 МГц выполнена на микросхеме LM7001J, используемой различными фирмами в бытовых радиоприемниках.

Синтезатор предназначен для работы в приемопередающих устройствах ЧМ с промежуточной частотой 10,7 МГц. Он обеспечивает формирование сигнала с частотой 133,3-135,3 МГц в режиме приема и 144-146 МГц в режиме передачи с шагом сетки частот 25 кГц. В нем также предусмотрена возможность сканирования в режиме приема во всем диапазоне рабочих частот.

Синтезатор имеет энергонезависимую память на три пользовательские частоты. В нем также «зашиты» 9 репитерных каналов (R0-R8). В режиме передачи в синтезаторе осуществляется частотная модуляция ВЧ сигнала. Питают синтезатор напряжением 8-15 В. Ток

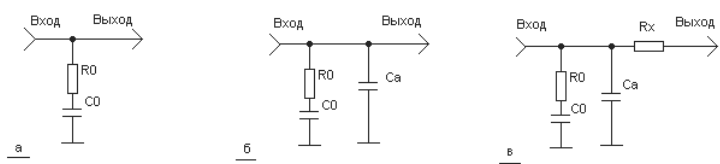


Рис. 7.13. Возможные схемы НЧ фильтров

потребления – не более 50 мА. Уровень ВЧ сигнала на его выходе при нагрузке 50 Ом составляет не менее 0,1 В.

Эта очень интересная конструкция должна заинтересовать многих радиолюбителей.

Далее привожу очень краткое описание МС LM7001J. Более подробное описание смотрите в журнале «Радио» №4 за 2003 год или в Интернет на сайте по адресу www.promelec.ru .

МИКРОСХЕМЫ СЕРИИ LM7001 ДЛЯ СИНТЕЗАТОРА ЧАСТОТ

Микросхемы LM7001J и LM7001JM предназначены для построения частотных синтезаторов с системой ФАПЧ, применяемых в бытовых радиоприемных устройствах. Обе микросхемы идентичны по схеме и параметрам и отличаются лишь конструкцией корпуса – у LM7001J корпус DIP16 для обычного монтажа, у LM7001JM – MFP20 для поверхностного монтажа (обе микросхемы пластмассовые).

Назначение выводов микросхем представлено в табл. 7.1.

Таблица 7.1. *Назначение выводов*

Номер вывода	Наименование вывода для LM7001J	Наименование вывода для LM7001JM
1	X_{out}	X_{out}
2	X_{in}	X_{in}
3	CE	Свободный
4	CL	CE
5	Data	CL
6	SC	Data
7	BS_{out1}	SC
8	BS_{out2}	BS_{out1}
9	BS_{out3}	BS_{out2}
10	AM_{in}	BS_{out3}
11	FM_{in}	Свободный
12	$U_{пит1}$	AM_{in}
13	$U_{пит2}$	Свободный
14	Pd1	FM_{in}
15	Pd2	Свободный
16	Общий	$U_{пит1}$
17	--	$U_{пит2}$
18	--	Pd1
19	--	Pd2
20	--	Общий

Выводы X_{out} и X_{in} – выход и вход усилителя сигнала образцовой частоты; к этим выводам подключают кварцевый резонатор. Вывод CE – вход сигнала разрешения записывания. CL – вход тактовых импульсов записывания. Data – информационный вход. SC – Syncro Control – выход сигнала контрольной частоты 400 кГц. BS_{out1}-BS_{out3} – band-switching – выходы управления внешними устройствами (выход BS_{out1}, кроме этого, – выход сигнала частоты 8 Гц); с помощью этих сигналов выполняется коммутация диапазонов AM_{in} и FM_{in} – входы программируемого делителя частоты, иначе говоря, входы сигналов АМ и ЧМ. Pd1 и Pd2 – выходы частотно-фазового детектора в режимах FM и AM соответственно.

Функциональная схема прибора изображена на рис. 7.14. Управляющая последовательность битов, поступающая на приемный сдвиговый регистр, определяет значение шага частотной сетки синтезатора, коэффициент деления программируемого делителя частоты, режим его работы и состояние выходов BS_{out1}-BS_{out3}.

Выходной сигнал генератора, управляемого напряжением (ГУН), поступает на один из входов – AM_{in} или FM_{in}. Неиспользуемый вход блокируется во избежание паразитных наводок. Делители частоты уменьшают частоту сигналов образцового генератора и входного сигнала в необходимое число раз – до значения частотного шага сетки. Фазовый детектор сравнивает оба сигнала и формирует сигнал ошибки, уровень которого пропорционален разности фаз между ними. Сигнал ошибки снимают с выходов Pd1 и Pd2 в зависимости от выбранного режима работы микросхемы.

Основные технические характеристики МС LM7001J

Номинальное напряжение питания, В 4,5-6,5
Входное напряжение высокого уровня, В, по входам
CE, CL, Data.....2,2-6,5
Входное напряжение низкого уровня, В, по входам
CE, CL, Data.....0 - 0,7

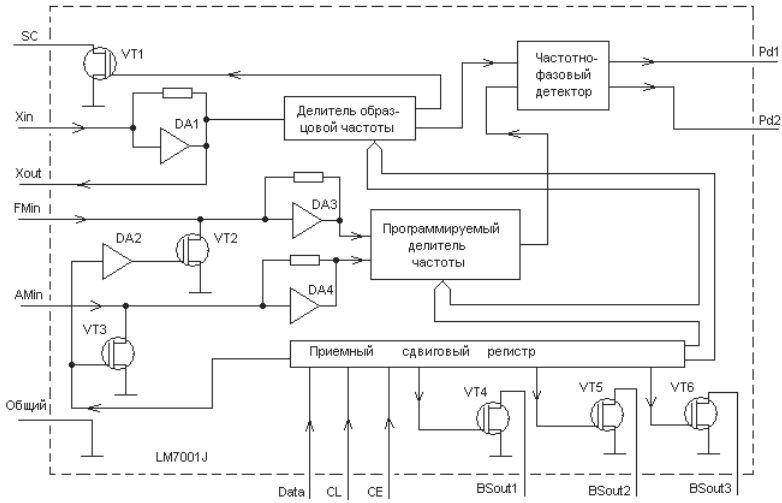


Рис. 7.14.Функциональная схема LM7001J

Максимально допустимое напряжение, подводимое к выходу SC, В 6,5
Максимальное допустимое напряжение, подводимое к выходам BS_{out1}-BS_{out3}, В 13
Максимально допустимый выходной ток выхода SC, мА 3
Максимально допустимый входной ток входов BS_{out1}-BS_{out3}, мА 3
Частотный интервал входа AM_{in}, МГц 0,5-10
Частотный интервал входа FM_{in}, МГц, при шаге частотной сетки 25, 50, 100 кГц 45-130
1, 5, 9, 10 кГц 5-30
Чувствительность по входам AM_{in} и FM_{in}, В (эфф.) 0,1-1,5
Типовое значение входного сопротивления по входам AM_{in} и FM_{in}, кОм 500
Общий потребляемый ток, мА 40

Микросхема может работать с семью стандартными значениями шага частотной сетки – 1, 5, 9, 10, 25, 50 или 100 кГц (при частоте образцового генератора 7200 кГц. Введение управляющей последовательности битов происходит последовательно, начиная с младшего бита коэффициента деления частоты программируемого делителя, который может работать в двух режимах – AM и FM.

УСТРОЙСТВА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЧАСТОТОЙ ЗАДАЮЩЕГО ГЕНЕРАТОРА

Схема электронной настройки

Перестройка частоты задающего генератора с параметрической стабилизацией частоты обычно выполняется при помощи конденсатора переменной емкости с воздушным диэлектриком. Иногда применяется перестройка частоты изменением индуктивности контурной катушки ЗГ.

Очень удобно перестраивать частоту задающих генераторов электронным способом – с помощью варикапа или, что лучше, варикапной матрицы. Одна из самых распространенных схем электронной перестройки показана на рис. 7.15.

В качестве матрицы здесь используются два отдельных варикапа, включенные навстречу друг другу. В итоге схема двух соединенных подобным образом варикапов эквивалентна схеме варикапной матрицы. Благодаря встречному включению варикапов для переменного тока уменьшается зависимость частоты от амплитуды высокочастотного напряжения.

Если используется именно варикапная матрица, то параметры контура для нее несложно рассчитать. Например, у матрицы КВС111Б емкость изменяется от 20 до 40 пФ при изменении смещения от +9 до +2 В. Изменение емкости составляет 20 пФ. Если перекрытие по частоте должно быть, скажем, 6%, то необходимое изменение емкости составит 12 % (вдвое больше, так как индуктивность контура не изменяется). Отсюда находим полную емкость контура C = 20 пФ / 0,12 = 167 пФ. Индуктивность контура рассчитывается по общеизвестной формуле Томсона: $L = 1 / (2\pi f)^2 C$.

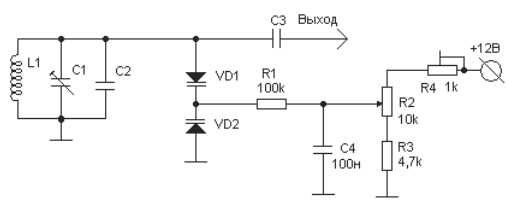


Рис. 7.15. Схема электронной настройки контура

Чтобы не ухудшилась стабильность частоты, напряжение смещения варикапов должно быть очень хорошо стабилизировано и отфильтровано. Это очень важно.

Для небольшой перестройки контура вместо варикапов можно использовать обычные кремниевые диоды. Но в этом случае диоды должны подбираться под нужную величину перекрытия по частоте. Дело в том, что не у всех однотипных диодов собственная емкость при изменении запирающего напряжения изменяется на одну и ту же величину.

На рис. 7.16 показана схема электронного сдвига частоты, что очень часто используется при переходе с приема на передачу. Например, при приеме генератор должен выдавать частоту 133,3 МГц, а при передаче – 144 МГц.

Варикап в этом случае подключается через конденсатор небольшой емкости, поскольку требуемый сдвиг частоты невелик. В верхнем положении переключателя S1 (передача) на варикап подается фиксированное напряжение смещения с делителя R3R4. При переходе на прием (нижнее положение) смещение изменяется переменным резистором R5, сдвигая частоту. Пределы перестройки можно подобрать, изменяя емкость конденсатора C5 или соотношение сопротивлений делителя R2-R6.

На рис. 7.17 в качестве иллюстрации к теме об электронной перестройке частоты показана действующая схема генератора с одним из возможных вариантов электронной перестройки частоты.

Электронная перестройка частоты выполняется переменным резистором R4. В качестве варикапов используются диоды VD2 и VD3 типа Д220. Вместо этих диодов можно использовать также диоды многих других типов.

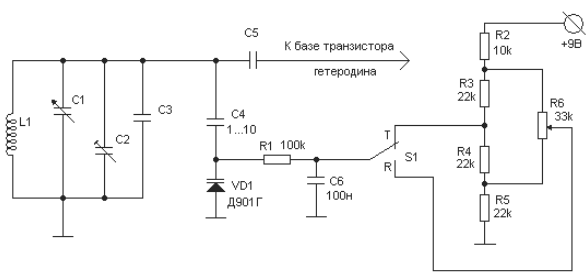


Рис. 7.16. Схема электронного сдвига частоты

Модуляторы для микрофонов (динамических и угольных)

Модулятором называется такой электронный аппарат, который накладывает на излучаемую генератором высокую частоту сигналы с более низкой частотой. В результате на выходе генератора получаются частотно-модулированные электромагнитные колебания.

На рис. 7.18 приведена схема частотного модулирования задающего генератора. В качестве модулятора используется простой предварительный УНЧ с динамическим микрофоном на входе.

На транзисторах VT1 и VT2 выполнен двухкаскадный УНЧ с микрофоном М1 на входе. С выхода УНЧ усиленный сигнал от микрофона подается на варикап VD1, емкость которого изменяется под воздействием поступающего на него звукового сигнала, в результате чего в контуре L1C6 происходят изменения, вызывающие наложение звукового сигнала на излучаемые генератором электромагнитные колебания. Генератор выполнен по трехточечной схеме на транзисторе VT3.

Если вдруг у вас появилось желание использовать угольный микрофон от старого телефонного аппарата, то можно воспользоваться схемой предназначенного для этих целей модулятора, опубликованной в [2]. На рис. 7.19 приведена схема модулятора, использующая угольный микрофон.

Частотный модулятор предназначен для работы с задающим генератором УКВ ЧМ передатчика. Резистором R1 подбирается величина тока через микрофон, а переменным резистором R4 подбирается величина смещения, обеспечивающая качественный звуковой сигнал.

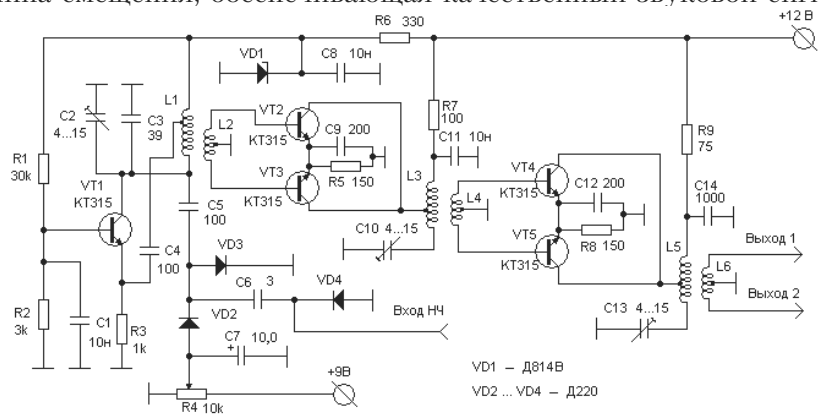


Рис. 7.17. Схема генератора с умножителями частоты

Конденсатором переменной емкости С3 и резистором R4 устанавливается оптимальный режим частотной модуляции.

МОДУЛЯТОР ДЛЯ ЦИФРОВОЙ СВЯЗИ

Некоторые виды цифровой радиосвязи используют для получения необходимой информации НЧ сигналы. Для этого используется специальный аппарат, называемый **модемом**. Слово «модем» по своему составу является сложным словом и состоит из двух составляющих – слова «модулятор» и «демодулятор».

Модулятор выполняет функцию наложения цифрового сигнала на частоту задающего генератора, а демодулятор выполняет роль своеобразного детектора принимаемых из эфира цифровых сигналов. О демодуляторе рассказывалось в главе 2.

В этом разделе я расскажу о модуляторе, который применяется в разработанной мною конструкции универсального модема MODEM22, предназначенного для цифровых видов радиосвязи.

Описание конструкции и схемы модема MODEM22 можно найти в моей книге «Компьютер на любительской радиостанции» [6] или в Интернет по адресу http://ra3xb.narod.ru/ .

Многочисленные тесты модема MODEM22 и его аналогов показали, что этот модем является на сегодняшний день ЛУЧШИМ среди других любительских разработок, превосходит во много раз известные мне любительские модемы, выполненные с применением детекторов на микросхемах 564ГГ1 и 155АГ1, по качеству приема сигналов и по простоте настройки.

Чтобы уяснить роль модулятора в работе радиостанции цифровой связи, следует знать, что при работе цифровыми видами связи в состав радиостанции непременно должен входить компьютер. Именно

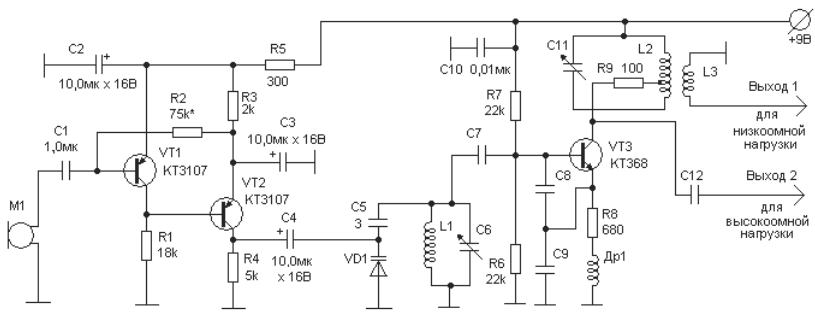


Рис. 7.18. Схема модуляции задающего генератора

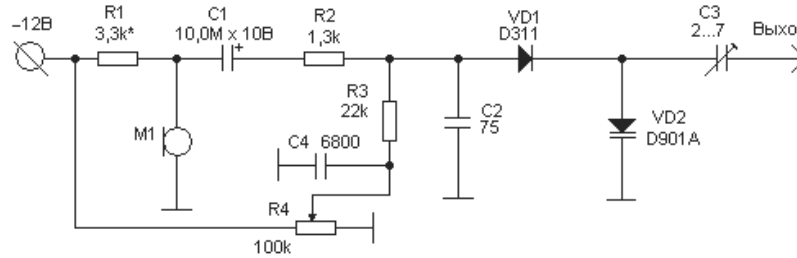


Рис. 7.19. Схема модулятора для угольного микрофона

компьютер выдает на передатчик цифровые сигналы в виде очень коротких токовых и бестоковых посылок. В токовых посылках сигнал характеризуется длительностью посылки и величиной напряжения. В бестоковой посылке присутствует только длительность этой посылки при нулевой величине напряжения.

Чтобы эти компьютерные сигналы могли начать воздействовать на задающий генератор передатчика, необходим специальный аппарат, называемый модулятором.

На рис. 7.20 представлена блок-схема модема, все детали различных узлов модема рассчитаны на его работу со средней частотой около 2000 Гц. Модем работает на звуковых (аудио) частотах и совмещает в себе две основные составные части — передающую часть (модулятор) и приемную часть (демодулятор). Модулятор, в свою очередь, включает в себя устройство для включения и выключения передатчика и собственно модулятор – устройство для подачи на варикап задающего генератора радиопередатчика с частотной модуляцией (либо на микрофонный вход SSB передатчика) посылок от тонального генератора (U1). Демодулятор включает в себя полосовой фильтр на операционных усилителях (U2), специальный частотный детектор (U3) и выходной узел (U4). Предполагается изготовление каждого из узлов модема на отдельной плате, что позволит в дальнейшем безболезненно заменять неудачно выполненные узлы.

Подключение модема к компьютеру должно выполняться через стандартный COM- порт с интерфейсом RS-232-C. Официальное ограничение по длине для соединения экранированным кабелем по стандарту RS-232-C составляет 15,2 м. На практике это расстояние должно быть как можно короче. Уровни напряжений на линиях разъема для логического нуля следует считать –12 –3 В, для логической

единицы +3+12 В. Промежуток от –3 до +3 В соответствует неопределенному значению. Каждый COM порт имеет свой собственный разъем, который может иметь либо 25 контактов (DB25), либо 9 контактов (DB9).

На блок-схеме слева указаны номера контактов разъема COM-порта для вариантов применения DB25 и DB9, справа указаны гнезда приемопередатчика (трансивера), к которым подводится или от которых берется сигнал.

С контакта 4 (7) разъема COM-порта (здесь и далее первая цифра относится к разъему с 25 контактами, а цифра в скобках – к разъему с 9 контактами) берется сигнал для управления переключением передатчика прием/передача. Назначение этого контакта в системе RS-232-C – запрос для передачи, наименование – RTS (Request to send). Далее через диод VD1 и резистор R1 сигнал поступает на транзисторный переключатель, выполненный на транзисторе VT1. К цепи коллектора этого транзистора подключается катушка от реле «прием/передача», установленного на трансивере. При подаче на базу транзистора VT1 положительного напряжения реле срабатывает и включает трансивер на передачу.

Блок U1 представляет собой тональный генератор, который и является в данном случае **модулятором**. Сигналы для манипуляции тонального генератора берутся с контакта 20 (4) разъема. Назначение этого контакта – готовность выходных данных – DTR (Data Terminal Ready). С контакта 20 (4) сигнал через диод VD2 и резистор R7 поступает на базу транзисторного ключа на VT2, к коллектору которого подключается вход электрической цепочки, через которую выполняется манипулирование частотой тонального генератора У1. Далее

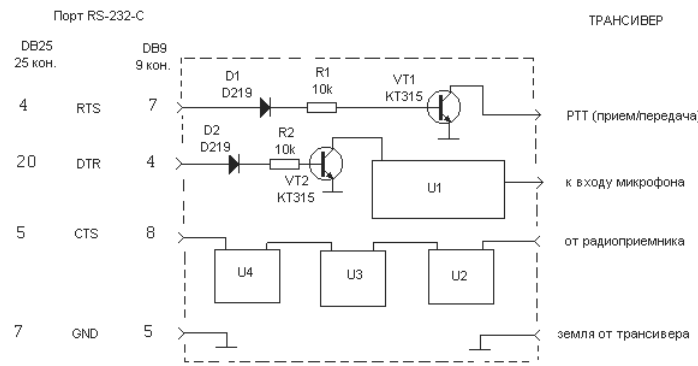


Рис. 7.20. Блок- схема модема

сигналы манипулируемого тонального генератора подаются на варикап задающего генератора радиопередатчика с частотной модуляцией либо на микрофонный вход передатчика, работающего в режиме SSB. Генератор при включенном терминале генерирует тон высокой частоты.

Тональный генератор U1, который является модулятором в данной конструкции модема, выполнен по одному из широко известных вариантов. Принципиальная электрическая схема тонального генератора представлена на рис. 7.21.

Генератор выполнен на транзисторах VT1 и VT2 типа КТ315Б по схеме с обратной связью через двойной Т-мост, обладает высокой стабильностью и достаточно хорошим качеством сигнала при питании от стабилизированного источника. Конденсаторы С1, С2 и С3 должны иметь допуск не хуже 10%. На операционном усилителе DA1 типа К140УД6 выполнен полосовой фильтр, назначением которого является улучшение синусоидальности выходного сигнала. Для настройки частотомер подключается к точке выхода, регулировкой R10 устанавливается величина нижней частоты, а регулировкой R9 (при замкнутой на землю точки входа «управление») устанавливается величина верхней частоты. Изменением величины резистора R7 можно корректировать качество синусоиды генерируемого сигнала (только при осциллографическом контроле). Резистором R18 добиваются равной амплитуды для сигналов высокой и низкой частоты.

Настройка модулятора

Настройка модулятора чрезвычайно простая. Привожу необходимые этапы настройки.

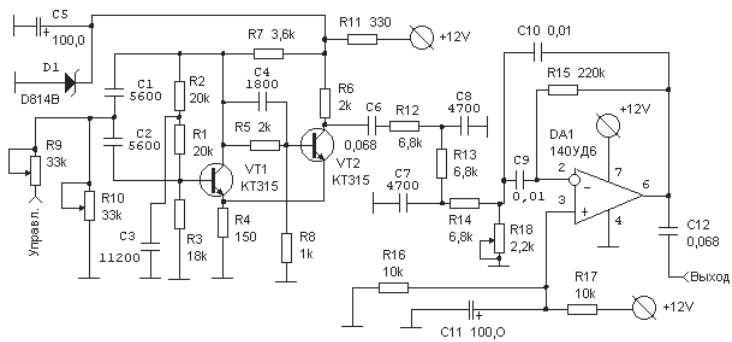


Рис. 7.21. Схема тонального генератора

1. Начать настройку модема следует с выбора величин рабочих частот. При расчетах следует за основу взять характеристики узкополосого НЧ фильтра, установленного на вашем радиоприемнике. Предположим, что радиоприемник на вашей станции имеет узкополосый фильтр с шириной полосы 3000 Гц и пропускает частоты от 1000 до 3000 Гц. В этом случае величина средней частоты будет равна 2000 Гц. Учитывая величину сдвига частот, равную 1000 Гц, определяем, что нижняя частота должна быть 1500 Гц, а верхняя – 2500 Гц.
2. Настройка тонального генератора (см. рис. 7.21) выполняется с использованием частотомера. Частотомер подключается к точке выхода генерируемого звукового сигнала. Регулировкой величины сопротивления резистора R10 устанавливается величина нижней частоты (1500 Гц), а регулировкой R9 (при замкнутой на землю точке входа «управление») устанавливается величина верхней частоты (2500 Гц). Изменением величины резистора R7 можно корректировать качество синусоиды генерируемого сигнала (только при осциллографическом контроле). Резистором R18 добиваются равной амплитуды для сигналов высокой и низкой частоты. Помните, что для RTTY используется разнос частот, равный величине 170 Гц, а AMTOR, PACTOR и Packet Radio (300 Бод) работают при разносе частот на величину 200 Гц, Packet Radio (1200 Бод) использует разнос частот 1000 Гц.

МОДУЛЯТОР НА МС С ФАПЧ

Схема модема

Модулятор, выполненный на микросхеме типа 561ГГ1 с ФАПЧ, входит в состав модема, блок-схема которого представлена на рис. 7.22. Все детали различных узлов модема рассчитаны на его работу в режиме Packet Radio со скоростью 300 Бод и со средней звуковой частотой примерно 1000 Гц. Модем работает на звуковых (аудио) частотах и совмещает в себе две основные составные части – передающую часть (модулятор) и приемную часть (демодулятор).

Модулятор включает в себя устройство для включения и выключения передатчика и собственно модулятор – устройство для подачи на вход передатчика посылок от тонального генератора. Собственно генератор обозначен как U1, выходной каскад генератора – U1.1.

Демодулятор включает в себя полосовой фильтр на операционных усилителях (U2), специальный частотный детектор (U3) и выходной узел (U4). Схемы, относящиеся к демодулятору, не имеют отношения к нашей теме и рассматриваться не будут.

Тональный генератор

Тональный генератор U1 представлен на рис. 7.23.

Собственно генератор звуковых частот выполнен на микросхеме с ФАПЧ 561ГГ1 (564ГГ1). Резисторами R1 и R2 устанавливаются величины необходимых частот. На микросхеме 561ИР2 выполнен узел, который осуществляет функцию формирователя синусоиды. Для целей формирования синусоиды служат резисторы R4, R5, R6 и R7.

Для улучшения частотных характеристик генерируемого сигнала к генератору добавлен каскад U1.1 на транзисторе КТ315, который служит фильтром нижних частот и позволяет регулировать величину амплитуды выходного сигнала. Схема этого каскада представлена на рис. 7.24.

Настройка модулятора

Изготовленный модулятор следует тщательно настроить. Настройка выполняется за несколько этапов.

1. Начать настройку модулятора следует с выбора величин рабочих частот. За основу при расчетах можно взять характеристики узкополосого (телеграфного) фильтра. Работать предполагается всеми видами цифровой связи. Предположим, что радио-

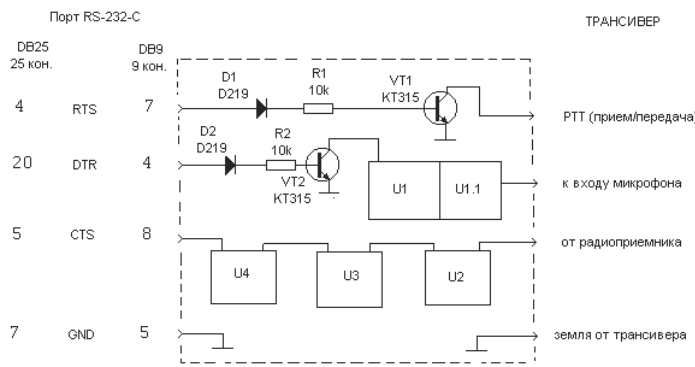


Рис. 7.22. Блок-схема модема

приемник на вашей станции имеет узкополосый фильтр с шириной полосы 300 Гц и пропускает частоты от 1000 до 1300 Гц. В этом случае величина средней частоты будет равна 1150 Гц. Учитывая величину сдвига частот, равную 200 Гц, определяем, что нижняя частота должна быть 1050 Гц, а верхняя – 1250 Гц. Для варианта спутниковой связи нижняя частота должна быть примерно 1500 Гц, а верхняя – 2500 Гц, при разносе частот 1000 Гц.

2. Далее проводим настройку тонального генератора (см. рис. 7.23). Для настройки частотомер подключается к точке выхода, регулировкой R1 устанавливается величина нижней частоты (например, 1050 Гц), а регулировкой R2 (при замкнутой на землю точке «вход») устанавливается величина верхней частоты (например, 1250 Гц). Величина амплитуды выходного сигнала должна измеряться вольтметром, подключенным к выходу тонального генератора.

На этом настройка собственно модулятора закончена.

Применяемые варикапы

В большинстве схем этой главы используются варикапы, поэтому мною принято решение предоставить вам имеющуюся у меня информацию по этим электронным приборам.

Конструктивное исполнение варикапа может быть следующим: металлический, металлостеклянный или пластмассовый герметичный корпус со стеклянными изоляторами и гибкими или жесткими выводами и болтом для крепления. Варикапы КВ102А-КВ102Д

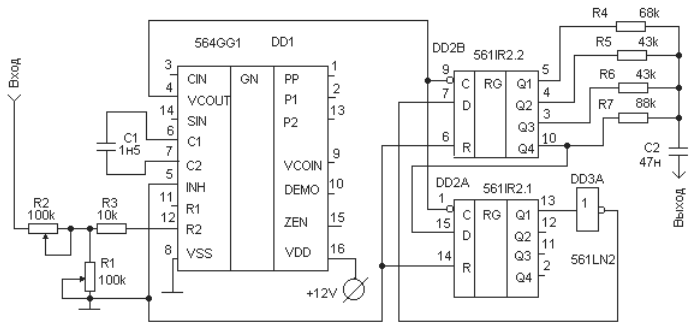


Рис. 7.23. Принципиальная электрическая схема тонального генератора

и КВ104А-КВ104Е имеют бескорпусную конструкцию. Варикапы КВ109А-КВ109Г и варикапные матрицы КВС111А и КВС111Б изготовляют в пластмассовом корпусе.

Пайка и изгибание выводов разрешается не ближе 5 мм от корпуса. Запрещается нарушать заделку выводов бескорпусных диодов. Для повышения надежности рекомендуется выбирать нагрузки, не превышающие 0,7-0,8 предельных.

Рабочее положение – любое.

Основное назначение – работа в качестве перестраиваемой емкости в аппаратуре широкого назначения.

Варикапы КВ102А-КВ102Д имеют положительный вывод, маркируемый оранжевой точкой. Варикапные матрицы КВС111А и КВС1-11Б имеют положительный вывод, маркируемый цветными точками: КВС111А – белой, КВС111Б – оранжевой. Изгибание выводов разрешается не ближе 1,5 мм от корпуса с радиусом изгиба не менее 1,5 мм.

Варикапные матрицы предназначены для использования в качестве подстроечных конденсаторов в УКВ блоках приемников и селекторах каналов телевизоров.

Параметры варикапов приведены в табл. 7.2.

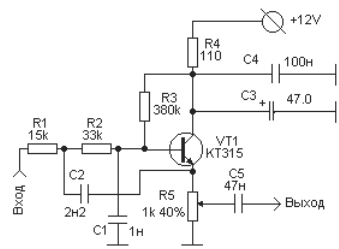


Рис. 7.24. Фильтр нижних частот

Таблица 7.2. *Параметры варикапов*

Тип	Сн, пФ	Q, мин	При		При t, °С	Предельный режим		
			Uобр, В	f, МГц		Uобр. макс, В	Рмакс, мВт	При t, °С
КВ101А	160-240	12	0,8	10	25	80	100	50
КВ102А КВ102Б КВ102В КВ102Г КВ102Д	14-23 19-30 25-40 19-30 19-30	40 40 40 100 40	4	50	25	45 80	90	50
КВ103А КВ103Б	18-32 28-48	40	4	50	25	80	5000 2000	50 85
КВ104А КВ104Б КВ104В КВ104Г КВ104Д КВ104Е	90-120 106-144 128-192 95-143 128-192 95-143	100 100 100 100 100 150	4	10	25	45 45 45 80 80 45	100 65	50 85
КВ105А КВ105Б	400-600	500	4	1	25	90 50	150 75	50 100
КВ106А КВ106Б	20-50 15-35	40 60	4	50	25	120 90	7000 5000	75 75
КВ107А КВ107Б КВ107В КВ107Г	10-40 30-65	20	2-9 6-18 2-9 6-18	10	25	5,5-16 13-31 5,5-13 5,5-16	100	50
КВ109А КВ109Б КВ109В КВ109Г	2,3-2,8 2-2,3 8-16 8-17	300 300 160 160	3	50	25	25	5	50
КВ110А КВ110Б КВ110В КВ110Г КВ110Д КВ110Е	12-18 14,4-21,6 17,6-26,4 12-18 14,4-21,6 17,6-26,4	300 300 300 150 150 150	4	50	25	45	100	50
КВ115А КВ115Б КВ115В	100-700	-	-	-	25 25 25	-	-	-
КВС111А КВС111Б	26,4-39,6 26,4-39,6	200 150	4	50	25	30	-	-

ГЛАВА 8.
СМЕСИТЕЛИ ЧАСТОТ ДЛЯ ПЕРЕДАТЧИКОВ

Диапазон 145 МГц..... 195
Схема с двухтактным смесителем 195
Схема со смесителем на транзисторе 197
Настройка гетеродина и смесителя 145 МГц 200
Диапазон 435 МГц..... 203
Смеситель на двухзатворном транзисторе 203
Схема с двухтактным смесителем 204
Еще одна схема смесителя 206
Диапазон 1296 МГц 207

Все основные вопросы создания смесителей высоких частот были рассмотрены в четвертой главе этой книги. В этой главе рассмотрим только несколько практических схем передающих устройств, содержащих в своем составе смесители высоких частот.

ДИАПАЗОН 145 МГЦ

Схема с двухтактным смесителем

На рис. 8.1 показана принципиальная электрическая схема гетеродина УКВ радиостанции с плавным изменением частоты. Плавная перестройка по частоте в пределах заданного диапазона здесь решается путем сложения высокой частоты, полученной от кварцевого генератора, с частотой генератора плавного диапазона, излучающего колебания с более низкой частотой. Дело в том, что создать стабильный генератор с плавной перестройкой частоты в сравнительно большом диапазоне можно только на сравнительно низких частотах (3-15 МГц).

Поэтому, например, чтобы получить генератор на диапазон 145 МГц с плавным перекрытием диапазона в пределах 2 МГц (144-146 МГц), можно создать стабилизированный кварцем генератор на частоту 130 МГц, к которому затем прибавлять частоту плавного генератора, работающего в диапазоне 14-16 МГц. Схема такого аппарата показана на рис. 8.1.

Будем считать, что по данной схеме мы должны создать УКВ передатчик с плавным перекрытием диапазона частот 144-146 МГц.

Выбираем кварцевый резонатор Z1 на частоту 15 МГц. Генератор на транзисторе VT1 работает на собственной частоте кварца. Каскад

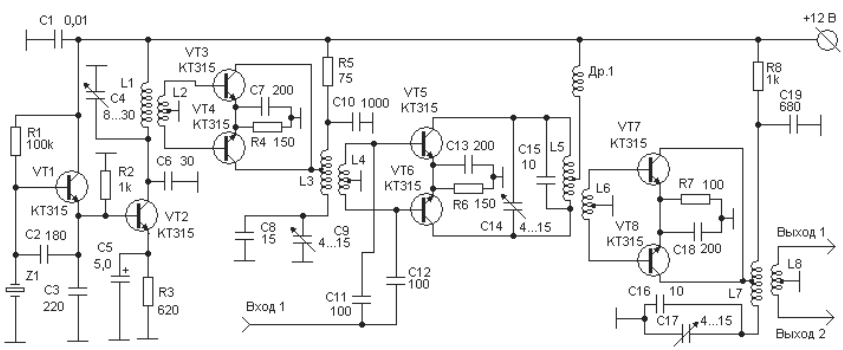


Рис. 8.1. Схема гетеродина со смесителем

на VT2 работает как удвоитель, контур L2C4 должен быть настроен на частоту 30 МГц.

Двухтактный каскад на VT3 и VT4 является удвоителем, контур L3C8C9 должен быть настроен на частоту 60 МГц. С этого контура через две обмотки катушки L4 сигналы в противофазе поступают на базы транзисторов VT5 и VT6. Сюда же, на базы этих транзисторов, через конденсаторы C11 и C12 поступает сигнал от генератора с плавной перестройкой диапазона (ГПД), который может перестраиваться в пределах от 12 до 13 МГц. Этот генератор на схеме не показан, сигнал от него поступает на **Вход 1**. Контур L5C14C15 должен быть настроен на частоту 72,5 МГц, то есть на середину перестраиваемого диапазона.

Обычно сигнал на выходе двухтактного смесителя бывает достаточно сильным, так что прямо с катушки L5 через две обмотки катушки L6 сигналы (в диапазоне 72-73 МГц) в противофазе поступают на базы транзисторов VT7 и VT8, которые работают совместно как двухтактный удвоитель частоты. Контур L7C16C17 должен быть настроен на частоту 143 МГц.

С катушки связи L8 сигнал берется для последующего усиления.

Если сигнал на выходе получается слабым, можно увеличить усиления каскадов двухтактного удвоения путем уменьшения величин сопротивления резисторов R4 и R7. При этом следует контролировать температуру нагрева транзисторов в этих каскадах. При малых сопротивлениях этих резисторов (меньше 75 Ом) транзисторы выходят из строя.

Эту схему можно использовать с другим кварцем, выбрать другой диапазон перестройки ГПД, при этом схема будет нормально работать до частоты порядка 180 МГц. На самых высоких частотах желательно применить более высокочастотные транзисторы в последних двух каскадах.

Настройку описанного выше устройства следует начать с проверки работоспособности кварцевого резонатора и настройки контура L1C4 на частоту нужной гармоники. Проверить работоспособность кварца очень просто. Для этого можно через резистор 10 кОм подключить вольтметр переменного тока к выводу эмиттера VT1 и, закорачивая между собой выводы кварца, наблюдать при этом исчезновение ВЧ напряжения. Настроить контур L1C4 на нужную частоту можно с помощью гетеродинного измерителя резонанса (ГИР), описание и схему которого найдете в главе 10. Необходимое количество витков и другие параметры контурной катушки можно рассчитать с

помощью программы INDUKTIW. Подстройку контура конденсатором С4 нужно выполнять по максимуму показания прибора ГИР, находящегося в режиме волномера и предварительно настроенного на нужную частоту. Или по показаниям вольтметра переменного напряжения с подключенным на вход этого вольтметра высокочастотным пробником (см. главу 10). Коллекторный ток VT1 должен быть порядка 5-8 мА, устанавливается резистором R3.

Контур L3C8C9 (и все последующие контуры) настраивается аналогично контуру L1C4. Ток (суммарный) через два транзистора, соединенных по двухтактной схеме, может быть в пределах 10-20 мА и зависит от величины сопротивления резистора в цепи эмиттеров.

Схема со смесителем на транзисторе

Очень часто радиолюбители в своих конструкциях, в целях упрощения схемы, идут на уменьшение количества деталей и каскадов, что не всегда дает хорошие результаты. Получается простота за счет качества сигнала и удобства настройки. С другой стороны, когда аппарат работает в режиме малых токов, бывает меньше помех, и это улучшает качество сигнала.

На рис. 8.2 приведена электрическая принципиальная схема передающей части одной из УКВ радиостанций на диапазон 145 МГц. Схема включает в себя гетеродин, смеситель и один из каскадов передающей части станции.

Аналогию приведенной схеме можно найти в [1]. На рис. 8.2 гетеродин выполнен на транзисторах VT1-VT4, смеситель – на транзи-

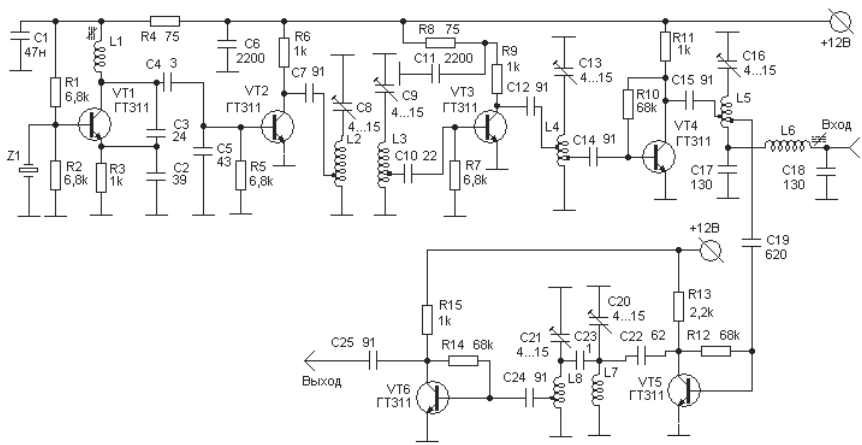


Рис. 8.2. Схема со смесителем на транзисторе

сторе VT5 и первый каскад усиления сигнала передачи выполнен на транзисторе VT6. Далее сигнал должен подаваться на последующие каскады усиления и усилитель мощности.

Гетеродин построен по традиционной схеме, состоящей из кварцевого автогенератора, выполненного на кварцевом резонаторе 6,8 МГц, и цепочки умножителей. Для снижения уровня помех на паразитных частотах в выходном сигнале гетеродина применен способ возбуждения кварцевого резонатора на третьей механической гармонике. Задающий генератор собран по емкостной трехточечной схеме с кварцевым резонатором в цепи обратной связи.

Схемы с кварцевым резонатором в цепи обратной связи хорошо работают на высоких гармониках основной частоты, но требуют нейтрализации паразитной емкости.

При приближении к частоте последовательного резонанса эквивалентное сопротивление кварцевого резонатора резко уменьшается. Это приводит к замыканию цепи обратной связи, и мы получаем схему обычного LC-генератора.

В коллекторной цепи генераторного каскада располагается контур L1C3C2, настроенный на частоту третьей гармоники. Катушка L1 этого контура настраивается цилиндрическим ферритовым сердечником. Следует иметь в виду, что в состав этого контура также входит выходная емкость транзистора VT1.

Необходимость применения настроенного на соответствующую гармонику контура в автогенераторе вызвана тем, что с ростом номера механической гармоники эквивалентное последовательное сопротивление возрастает и условия самовозбуждения ухудшаются. При отсутствии контура самовозбуждение всегда происходило бы на наиболее выгодной с энергетической точки зрения основной резонансной частоте кварца. Настройкой контура удается создать наилучшие условия для самовозбуждения на необходимой нам гармонике. Стабильность работы генератора определяется добротностью резонатора на соответствующей механической гармонике. Чем выше добротность, тем меньше эквивалентное сопротивление на частоте последовательного резонанса. При расстройке контура относительно резонансной частоты кварцевого резонатора эквивалентное сопротивление последнего быстро увеличивается, однако полному разрыву цепи обратной связи мешает наличие паразитной емкости кварцедержателя, собственно кварцевой пластины, а также емкость между базовым выводом транзистора и землей. Они образуют емкостный делитель, благодаря которому могут выполняться условия самовоз-

буждения на частотах, отличных от резонансной частоты кварцевого резонатора. Этот фактор необходимо учитывать, если надо возбудить малоактивный резонатор или получить генерацию на более высокой механической гармонике (5, 7 и т.д.).

Иногда для нейтрализации шунтирующего действия паразитной емкости параллельно кварцевому резонатору подключают дополнительную катушку индуктивности с таким расчетом, чтобы на частоте нужной гармоники эта индуктивность и паразитная емкость образовали параллельный резонансный контур. Этот вариант был описан в главе 5 настоящей книги.

С кварцевого генератора сигнал с частотой 20,5 МГц поступает на первый умножитель – утроитель частоты, выполненный на транзисторе VT2. Умножитель собран по схеме с общим эмиттером. Цепь создания автоматической подачи смещения выполнена на элементах схемы C4, C5 и R5. Она обеспечивает необходимый угол отсечки коллекторного тока и стабилизирует режим работы каскада на VT2. Нагрузкой первого умножителя служит полосовой фильтр, состоящий из контура L2C8 и контура L3C9. Применение полосового фильтра, а также малый коэффициент включения контура L2C8 в коллекторную цепь умножителя на VT2 обеспечивают высокую степень подавления первой гармоники основной частоты входного сигнала.

С выхода полосового фильтра сигнал через C10 поступает на последний умножитель, который работает в режиме удвоения частоты. Умножитель собран на транзисторе VT3 по схеме с общим эмиттером и не имеет каких-либо особенностей. В качестве нагрузки удвоителя работает контур L4C13.

Далее сигнал усиливается каскадом на транзисторе VT4 до амплитуды, необходимой для нормальной работы смесителей приемного и передающего трактов. Выходная частота гетеродина 123 МГц. На эту частоту настроен контур L5C16C17, расположенный параллельно в коллекторной цепи усилителя ВЧ на транзисторе VT4.

Далее сигнал гетеродина с контура L5C16 через конденсатор C19 подается на базу транзистора VT5. Сюда же, на базу транзистора VT4, поступает сигнал с частотой 21 МГц, который был сформирован во внешнем возбудителе. Это может быть либо телеграфный, либо AM или SSB сигнал. Внешний сигнал подается на **Вход** и поступает на смеситель через контур L5C16C17 и переходный конденсатор C19. Нагрузкой смесителя служит полосовой фильтр, состоящий из контура L7C20 и контура L8C21, настроенный на частоту 144 МГц.

Далее полученный в результате преобразования сигнал для передачи должен усиливаться до величины напряжения, достаточного для нормальной работы усилителя мощности.

Первый каскад такого усилителя находится в предлагаемой вам схеме. Каскад выполнен на транзисторе VT6 и является апериодическим усилителем, сигнал с которого через конденсатор С25 может подаваться для последующего усиления. Этот каскад работает в режиме класса А, чтобы без искажений усиливать SSB и АМ сигналы.

При подборе деталей для этой и подобных схем полезно учесть, что номиналы большинства конденсаторов некритичны. Это прежде всего относится к блокировочным конденсаторам, стоящим в цепях питания. Как указывалось, эти конденсаторы работают на частотах выше частоты собственного резонанса, где определяющую роль играет не емкость конденсатора, а его паразитная индуктивность. Поэтому емкость этих конденсаторов можно менять в пределах от 500 до нескольких тысяч пикофарад. Некритичны также емкости разделительных конденсаторов, осуществляющих связь транзисторов с резонансными контурами. Их значение можно без ущерба изменять, по крайней мере, в пределах от -50 до +100%.

Катушки L2 и L3 бескаркасные, намотаны на оправке диаметром 9 мм посеребренным проводом диаметром 0,8 мм. Катушки L2 и L3 имеют по восемь витков при длине намотки 14 мм. Катушка L2 имеет отвод от 1,25 витка, а катушка L3 от 3,75 витка, если считать от заземленного конца. Катушки L1 и L5 намотаны на каркасы диаметром 5 мм проводом ПЭВ-2 0,15, число витков 18. Для подстройки применены сердечники из карбонильного железа с резьбой М4.

В этом аппарате применены конденсаторы типов КМ и КТ, резисторы МТ и МЛТ.

Настройка гетеродина и смесителя 145 МГц

Основные положения приведенной ниже настройки можно применить к любой схеме УКВ многокаскадного гетеродина.

На первом этапе настройки любой конструкции рекомендуется тщательно проверить правильность монтажа.

Настройку следует начинать с кварцевого автогенератора. Прежде всего надо соединить базу транзистора VT1 с корпусом при помощи конденсатора емкостью 1000-5000 пФ. При этом кварцевый автогенератор превратится в обычный LC-генератор, частота генерации которого определяется контуром L1C3C2. Вращением сердечника катушки L1 надо установить частоту генерации, близкую к утроенной

частоте кварцевого резонатора. После этого блокирующий конденсатор отключается от базы транзистора VT1 и производится точная подстройка до положения, при котором вращение сердечника катушки L1 в наименьшей степени влияет на частоту генерации.

Если у вас отсутствует фирменный частотомер, то настройку любого УКВ гетеродина можно выполнить при помощи связного радиоприемника с качественной шкалой, гетеродинного измерителя резонанса (ГИР) и измерительной линии.

Довольно часто возникает необходимость изменить в небольших пределах частоту кварцевого резонатора. Проще всего это можно выполнить, если применен кварцевый резонатор с внешними металлическими обкладками, то есть без металлизации кварцевой пластины. Частоту такого резонатора можно без труда увеличить в пределах 3-5%, стачивая пластину на мелкозернистой наждачной бумаге. Понизить частоту такого резонатора до 0,5% номинального значения можно, натирая кусочком свинца или припоя центральную часть пластины. При этом надо учесть, что обработанная таким образом пластина подвержена старению в течение 2-3 суток, то есть точное значение частот кварца устанавливается не сразу после его подточки, а через 2...3 суток. После этого изменение частоты прекращается, и кварцевый резонатор работает достаточно стабильно. Значительно труднее корректировать частоту металлизированных кварцевых пластин. Если металлизация произведена серебром, то частоту резонатора можно повысить, уменьшая толщину покрытия с помощью чернильной резинки. При более прочном покрытии можно воспользоваться мелкозернистой абразивной бумагой**.** *Перед включением обработанного кварцевого резонатора в схему необходимо протереть пластину резонатора мягкой тряпочкой, смоченной в спирте.* Учтите, что с вытиранием (уменьшением толщины) слоя металлизации активность кварца уменьшается и в конце концов кварц прекратит свою работу. Будьте внимательны!

При настройке умножителей, как, впрочем, и всех остальных каскадов любой схемы, необходимо контролировать режимы работы транзисторов по постоянному току. Удобнее всего измерять напряжение на коллекторе, так как при известном сопротивлении резистора, стоящего в коллекторной цепи, легко определить ток, протекающий через транзистор:

$I = (E_п – E_к)/R_к$, где I – ток, протекающий через транзистор, мА; $E_п$ – напряжение источника питания, В; $E_к$ – напряжение на коллек-

торе транзистора, В; $R_к$ – сопротивление коллекторного резистора, кОм.

Особенность измерения режима заключается в том, что это измерение надо проводить в рабочем состоянии, то есть при наличии сигнала. Дело в том, что большинство транзисторов, примененных в радиостанции, работают в режиме больших сигналов, а это значит, что режимы работы по постоянному току и по высокой частоте взаимосвязаны. При этом подключение щупа измерительного прибора может повлиять на режим работы каскада по высокой частоте и, таким образом, ввести ошибку в измерения. Другая опасность заключается в том, что даже при измерении режима транзистора, работающего в режиме малых сигналов, при присоединении щупа возможно *самовозбуждение каскада*. Такое самовозбуждение может значительно повлиять на режим работы транзистора и, таким образом, исказить результаты измерений. Для того чтобы подобные эффекты не возникали, *надо производить измерения через резистор сопротивлением 10 кОм и более*. Резистор надо закрепить на кончике щупа, для того чтобы проводник, подключенный к схеме, имел минимальную длину.

Помните, что наличие добавочного резистора занижает показания вольтметра, однако возникающую погрешность нетрудно учесть. Для удобства измерений можно, например, перейти на меньший передел вольтметра, а затем, подобрав сопротивление внешнего резистора, вернуться к прежней шкале.

Налаживание первого утроителя, выполненного на транзисторе VT1, начинается с регулировки режима возбуждения. Подбором емкости конденсатора С5 надо добиться, чтобы постоянное напряжение на коллекторе транзистора составило 5-6 В. Это соответствует коллекторному току транзистора VT1 около 6 мА.

После этого следует приступить к настройке двухконтурного фильтра, состоящего из контуров L2C8 и L3C9. Настройка производится по максимуму коллекторного тока транзистора VT3, стоящего в следующей ступени умножителя. Необходимую степень возбуждения транзистора VT3 можно регулировать, изменяя точку подключения контуров фильтра к коллектору транзистора VT2 и базе транзистора VT3. При подборе отводов на катушках надо следить, чтобы оба контура были нагружены примерно в одинаковой степени. О значении нагруженной добротности контура можно судить по остроте настройки с помощью подстроечного конденсатора. Если один из контуров имеет более «тупую» настройку, то отвод на катушке следует перепаять ближе к заземленному выводу. При правильной настройке

постоянное напряжение на коллекторе транзистора VT3 должно составлять 5-6 В.

После того как контур L4C13 настроен на нужную частоту, переходят к настройке оконечного усилителя гетеродинного тракта, выполненного на транзисторе VT4. Прежде всего подбором сопротивления резистора R10 необходимо установить коллекторный ток транзистора VT4 в пределах 7-8 мА. Подбор надо производить при отсутствии сигнала возбуждения. После этого на транзистор VT4 надо подать возбуждение и с помощью высокочастотного пробника настроить контур L5C16. На этом настройка гетеродина заканчивается.

Настройку каскада на VT5 следует начинать после подачи на вывод **Вход** сигнала с частотой 21 МГц от внешнего возбудителя. Резистором R12 устанавливаем величину напряжения на коллекторе VT5 в пределах +7 В, что соответствует току 10 мА. Подобным же образом устанавливаем величину тока через транзистор VT6, равную 20 мА. Этот ток будет при напряжении на коллекторе +9 В.

ДИАПАЗОН 435 МГЦ

Смеситель на двухзатворном транзисторе

На рис. 8.3 показана схема смесителя передающей части радиостанции, в которой смеситель ВЧ выполнен на двухзатворном полевом транзисторе.

Смеситель выполнен на транзисторе VT1. Он обладает низким уровнем шумов и значительным усилением, что очень выгодно при смешивании сигналов для передатчика. На первый затвор транзистора через **Вход 2** поступает сигнал от кварцевого гетеродина с частотой 404 МГц. На второй затвор транзистора через **Вход 1** поступает

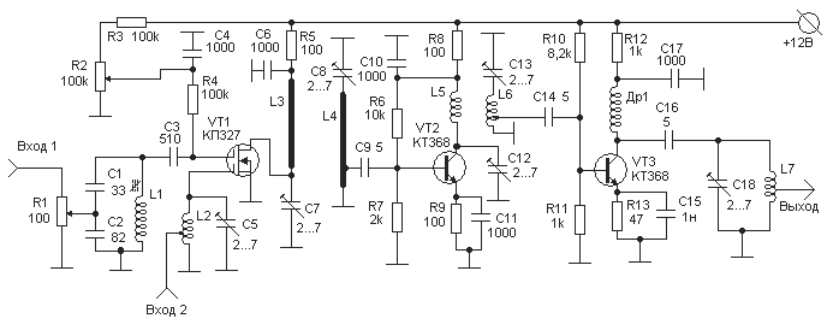


Рис. 8.3. Смеситель на полевом двухзатворном транзисторе

сигнал от ГПД с перестройкой в диапазоне 28-30 МГц. В контуре L3C7C6 выделяется суммарный сигнал в диапазоне 432-436 МГц.

Сигнал от внешнего аппарата поступает по фидеру на резистор R1, который служит для регулирования величины напряжения поступающего на смеситель сигнала. Конденсаторы C1 и C2 служат не только для настройки контура L1C1C2 на нужную частоту, но и для согласования сопротивления фидера с контуром L1C1C2.

Контур L1C1C2 настраивается на частоту 29 МГц, контур L2C5 – на частоту 404 МГц. Резистором R2 регулируется величина усиления смесительного каскада на VT1.

Полосовой фильтр, созданный контурами L3C7C6 и L4C8, настраивается на частоту 435 МГц. Последующие контуры (контуры в каскадах на VT2 и VT3) также настраиваются на эту частоту.

На транзисторах VT2 и VT3 собраны усилительные каскады, которые должны работать в классе А, чтобы без искажений усиливать сигналы SSB. Коллекторные токи через транзисторы этих каскадов должны устанавливаться резисторами R6 и R10 соответственно и выбираться из пределов 8-14 мА.

Катушка L1 имеет 12 витков провода диаметром 0,4 мм на каркасе диаметром 5 мм с ферритовым подстроечным сердечником. Линии L3 и L4 имеют длину 28 мм и выполнены из медного посеребренного провода диаметром 2 мм. Расстояние между этими контурами равно 10 мм. Катушки L5, L6 и L7 имеют 1,5 витка из провода диаметром 1 мм, диаметр намотки – 5 мм. Отводы в катушках L6 и L7 выполнены от 0,5 витка, считая от заземленного по ВЧ конца катушки.

На выходе устройства можно получить мощность порядка 50 мВт.

Схема с двухтактным смесителем

На рис. 8.4 приведена схема, состоящая из смесителя, выполненного по двухтактной схеме, и каскада последующего усиления полученного суммарного сигнала.

На **Вход 1** смесителя подается сигнал от внешнего передающего каскада, работающего в диапазоне частот 144-146 МГц. На **Вход 2** поступает сигнал с частотой 288 МГц от кварцевого гетеродина.

Контур L1C1C2 настраивается на частоту 288 МГц, причем емкости конденсаторов C1 и C2 выбираются исходя из условия наилучшего согласования этого контура с каскадом КГ, от которого поступает сигнал. Катушка L1 содержит 3 витка провода Ø 0,8 мм, намотанного на оправке Ø 5 мм. Катушка L2 состоит из трех витков провода Ø 0,3 мм, наматывается поверх нижнего по схеме витка катушки L2

сразу двумя скрученными между собой проводами. При этом начало одного провода соединяется с концом другого, и таким образом получается средняя (заземленная) точка катушки.

Катушки L3, L4, L5 и L6 выполнены в виде линий из куска медного посеребренного провода длиной по 28 мм каждая. Линии располагаются на высоте 5 мм от основания платы. У катушки L3 отвод, к которому подключается дроссель Др1, делается точно от середины. Дроссели Др1 и Др2 выполнены на ферритовом кольце и содержат по 2 витка провода ПЭЛ-0,4 каждый.

Длина каждой из контурных линий может уточняться в процессе наладки.

Настройка смесителя очень простая. Высокочастотный вольтметр переменного напряжения подключается к коллектору одного из транзисторов – VT1 или VT2. На **Вход 2** подается ВЧ напряжение от КГ частотой 288 МГц. Конденсаторами C1 и C2 проводится настройка контура L1C1C2 до получения максимальных показаний ВЧ вольтметра. Предварительно следует движок резистора R7 выставить в среднее положение. Затем подается ВЧ напряжение частотой 145 МГц на **Вход 1,** и подстроечными конденсаторами C10 и C11 устанавливается максимальное показание ВЧ вольтметра. Таким образом можно выполнить предварительную, грубую настройку контура L3C10C11 на частоту 433 МГц.

Для выполнения более точной настройки этого контура и контура L4C13C14 на частоту 433 МГц ВЧ вольтметр следует подключить к

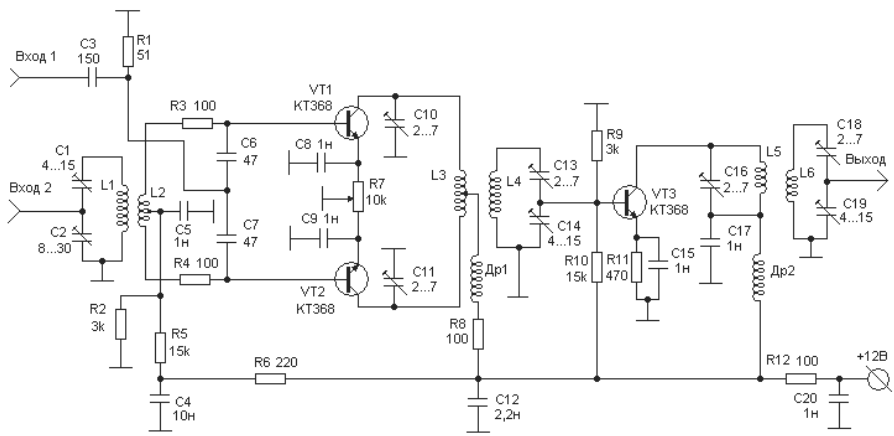


Рис. 8.4. Смеситель по двухтактной схеме

коллектору VT3. При этом положении ВЧ вольтметра настраивается контур L4C13C14 и уточняется настройка контура L3C10C11. Здесь же проводится грубая настройка контура L5C16.

После выполнения всех предыдущих операций ВЧ вольтметр подключается к выводу **Выход**, и в таком положении настраивается окончательно контур L5C16 и выполняется предварительная настройка контура L6C18C19.

Еще одна схема смесителя

На рис. 8.5 приведена только часть большой схемы, на которой показаны два каскада от кварцевого гетеродина, смеситель ВЧ частот и усилитель результата преобразования.

С кварцевого гетеродина (на схеме не показан) сигнал частотой 137 МГц подается на **Вход 1**, на **Вход 2** подается сигнал в диапазоне 21-22 МГц.

Настройку изображенного на схеме участка следует начать с подачи на **Вход 1** сигнала с частотой 137 МГц. Напряжение этого сигнала должно быть такой величины, чтобы постоянное напряжение на коллекторе транзистора VT1 составило 6 В.

Контур L2C4 настраивается по максимуму коллекторного тока транзистора VT2 на частоту 411 МГц. Перед этим для устранения возможной реакции коллекторной цепи транзистора VT2 желательно заведомо расстроить контур L3C8, например, путем максимально-

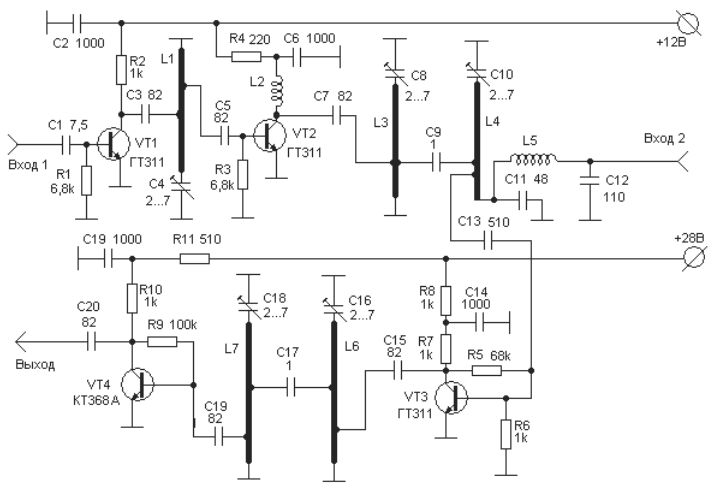


Рис. 8.5. Еще одна схема смесителя

го увеличения емкости конденсатора С8. Дело в том, что при этом расстроенном контуре параллельный контур L4C10 не отбирает мощность от контура L3C8. Добротность контура L3C8 значительно возрастает, а вместе с этим растет высокочастотное напряжение на коллекторе транзистора VT2. При этом возрастает реакция на базовую цепь, вызванная наличием внутренней отрицательной обратной связи, что приводит к значительному уменьшению входного сопротивления транзистора VT2. На практике это приводит к тому, что при настройке в резонанс контура L3C8 происходит резкий спад напряжениия на контуре L1C4.

Далее следует заняться подбором связи между линией L1 и базой транзистора VT2. Подбором места подключения конденсатора С5 следует установить ток транзистора VT2 около 8-10 мА. Затем с помощью высокочастотного вольтметра настроить контуры L3C8 и L4C10.

Далее надо подать напряжение +28 В и проверить начальные режимы транзисторов VT3 и VT4 по постоянному току. Ток смесителя должен составлять 10 мА (соответствует напряжению на коллекторе транзистора VT3 9 В). Регулировка производится подбором резистора R5. Затем подбором резистора R9 следует установить ток транзистора VT4 18 мА (напряжение на коллекторе 9 В).

После этого можно перейти к настройке контуров. Первоначальная настройка производится на частоту гетеродина 411 М Гц с помощью пробника, поочередно подключаемого к линиям L6 и L7. Точку подключения пробника надо выбирать, по возможности, ближе к «холодному» концу линий.

Затем на **Вход 2** передающего тракта надо подать сигнал частотой 21,2 МГц и увеличивать его до тех пор, пока это не будет влиять на режим транзистора VT3 по постоянному току. Сигнал гетеродина на выходе транзистора VT4 должен при этом заметно уменьшиться. С помощью пробника, подключенного к линии L6, необходимо найти максимум, соответствующий частоте 432,2 МГц. Это должен быть ближайший максимум в сторону уменьшения емкости конденсатора С16. Аналогичным образом следует настроить следующий контур.

ДИАПАЗОН 1296 МГЦ

Аппаратура этого и более высокочастотных диапазонов в обычном транзисторном варианте довольно сложна для изготовления в домашних условиях. Чтобы изготовить и настроить качественную

аппаратуру этого диапазона в домашних условиях, нужны большое умение и опыт, который приходит только со временем.

В этом разделе я предлагаю вам познакомиться с организацией смешивания ВЧ сигналов несколько необычным способом с применением электронного прибора, называемого *варактором*. Варактор – это специальный диод, предназначенный для умножения ВЧ сигналов.

На рис. 8.6 показана принципиальная схема, которая представляет собой часть схемы УКВ радиостанции на частоте 1296 МГц.

Схема функционирует следующим образом. На **Вход 1** подается сигнал от кварцевого гетеродина с частотой 384 МГц. Транзисторы VT4, VT3 и VT2 усиливают этот сигнал до мощности порядка 1-1,5 Вт. Именно такой мощности сигнал необходим для нормальной работы варактора КА602Б, который работает в режиме утроения частоты. Коэффициент усиления трехкаскадного усилителя на VT4, VT3 и VT2 составляет примерно 30 дБ и делится поровну между каскадами. С входа **Вход 2** в цепь варактора через конденсатор С13 и контур L6C12 подается сигнал с частотой 144-146 МГц, в результате чего утроенный варактором сигнал смешивается с сигналом из **Входа 2.**

384 × 3 = 1152 МГц – частота сигнала после умножения,

1152 + 144-146 = 1296-1298 МГц – частота сигнала после преобразования.

Суммарная частота выделяется фильтром, состоящим из контуров L3C8 L4C6. Этот фильтр выполняет основную селекцию выходного сигнала.

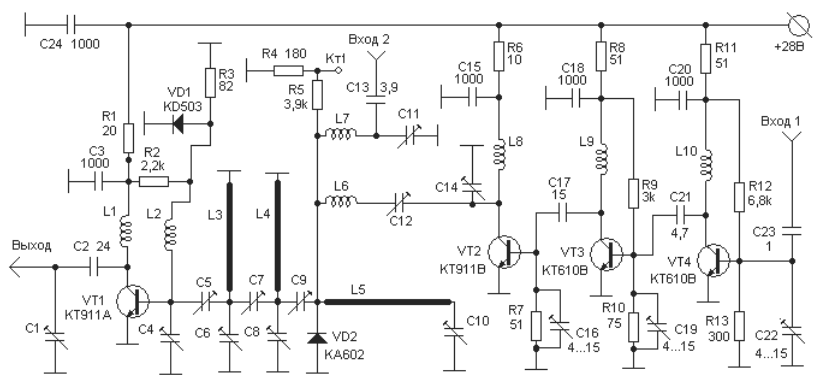


Рис. 8.6. Схема смесителя на варакторе КА602Б

Контур L7C11 настроен на частоту поступающего по **Вход 2** сигнала, контур L6C12 служит для согласования выхода VT2 с умножителем на варакторе. Контур L5C10 настраивается на **частоту 384 × 2 + 144 = 912 Мгц и служит** для подавления второй гармоники кварцевого гетеродина с добавкой, полученной по **Вход 2**.

Транзистор VT1 усиливает суммарный сигнал и подает его к следующим усилительным каскадам.

Налаживание смесителя следует начать с установки величин начальных токов транзисторов VT4, VT3 и VT2. При отсутствии возбуждения коллекторный ток транзистора VT4 должен равняться 60, транзистора VT3 – 40, транзистора VT1 – 20 мА.

После этого можно переходить к оконечному усилителю гетеродина. Подстройкой конденсатора C22 надо добиться максимальных показаний вольтметра, включенного параллельно резистору R11. Затем с помощью конденсатора C19 следует настроить согласующую цепь по максимуму тока транзистора VT3. Аналогично с помощью конденсатора C16 надо настроиться на максимальный ток транзистора VT2. Для регулировки выходной цепи транзистора VT2 необходимо параллельно резистору R4 подключить микроамперметр с током полного отклонениия 50 мкА и внутренним сопротивлением 2000 Ом. Можно, конечно, воспользоваться любым другим прибором с током полного отклонения до 0,5-1,0 мА. При этом надо подобрать сопротивление резистора R4 или вовсе исключить его из схемы с таким расчетом, чтобы максимальное отклонение прибора соответствовало постоянному напряжению автосмещения на варакторном диоде VD2, равному 40-60 В. Далее регулировкой конденсаторов C12 и C14 надо добиться того, чтобы это напряжение достигло максимального значения (30-40 В). Коллекторный ток транзистора VT2 должен составлять 170, транзистора VT3 – 100, а транзистора VT4 – 80 мА.

Следующим этапом надо переходить к налаживанию варакторного умножителя-преобразователя. Этот наиболее сложный и ответственный этап настройки удобнее всего выполнить с помощью измерительной линии или резонансного волномера, который мог бы перекрывать диапазон 1100-1300 МГц. Дело в том, что в отличие от обычного диодного смесителя параметрический преобразователь при некоторых условиях склонен к параметрическому самовозбуждению. Опасность такого самовозбуждения тем больше, чем больше мощность генератора накачки (в данном случае гетеродина) и чем больше мощность, которую предполагается получить на выходе преобразователя.

Сначала на вход преобразователя надо подать сигнал с частотой 144 МГц, подстроить входной контур конденсатором С11 и увеличить этот сигнал до значения, при котором постоянное напряжение на диоде VD2 изменится примерно на 10%. После этого с помощью отрезка кабеля к линии L4 (ближе к «холодному» концу) надо подключить волномер, настроенный на частоту 1296 МГц. Изменением емкости конденсаторов С8 и С9 нужно добиться максимальных показаний волномера. Одновременно следует подстроить конденсаторы С12 и С14. Как показала практика, преобразователь более устойчив, если конденсатор С12 несколько расстроить относительно максимума в сторону большей емкости. Затем надо переключить волномер к линии L3 и настроить его на частоту 1296 МГц с помощью конденсатора С6.

Дальнейшую настройку лучше производить непосредственно по току коллектора транзистора VT1. Для этого надо сначала подстроить базовую цепь транзистора с помощью конденсатора С4. Затем следует повторить процедуру настройки, подбирая также емкости связи С5, С7, С9 и амплитуду сигнала с частотой 144 МГц.

На мощность выходного сигнала и на устойчивость преобразователя также влияет настройка ненагруженного резонатора L5C10. Этот резонатор надо настроить на частоту 912 МГц. Регулировку можно осуществить с помощью волномера, слабо связанного с линией L5, или просто по максимуму выходного сигнала.

После того, как выполнен весь цикл настройки, коллекторный ток транзистора VT3 должен достичь значения 180-200 мА. Следует заметить, что этот ток зависит также от настройки коллекторной цепи транзистора VT1. При настройке коллекторной цепи в резонанс происходит заметное уменьшение тока, вызванное наличием внутренней отрицательной обратной связи. Поэтому окончательное измерение тока транзистора VT1 надо сделать после того, как будет настроен весь передающий тракт. Сила тока должна быть равна 150-170 мА.

ГЛАВА 9.
УСИЛИТЕЛИ МОЩНОСТИ УКВ ПЕРЕДАТЧИКОВ

Диапазон 145 МГц 212
Классическая схема усилителя мощности..... 212
Настройка УМ 145 МГц 214
Усилитель мощности на КП904А..... 215
Двухтактный УМ 218
УМ с защитой 219
Диапазон 435 МГц 227
Классическая схема УМ для 435 МГц..... 227
Еще одна схема УМ для 435 МГц..... 229
УМ на 432-435 МГц с защитой от перегрузок 231
Настройка усилителя 234
Диапазон 1296 МГц 237
УМ на транзисторах КТ911 238
Настройка УМ..... 239

При создании транзисторных усилителей мощности для УКВ необходимо всегда помнить о существовании следующих проблем.

- Перед тем, как включать подачу питания на выходной каскад УМ, необходимо проверить правильность подключения антенны к выходу УМ. Если вы забыли подключить антенну или подключили антенну с другой величиной входного сопротивления, то выходной транзистор моментально выйдет из строя. Для выходных каскадов УМ, выполненных на радиолампах, этой проблемы не существует.
- Любительским радиостанциям всех категорий на УКВ диапазонах разрешено работать с выходной мощностью не более 5 Вт. Работать на УКВ с выходной мощностью более 5 Вт можно только при наличии специального разрешения.

ДИАПАЗОН 145 МГЦ

Классическая схема усилителя мощности

Приведенная на рис. 9.1 принципиальная схема УМ на диапазон 145 МГц названа мною «классической» по той причине, что в этой схеме нет ничего лишнего, она легко настраивается и удобна для изготовления. УМ по этой или аналогичным схемам применены во многих радиолюбительских конструкциях. Единственный, на мой взгляд, недостаток этой схемы в том, что отсутствуют элементы защиты транзистора выходного каскада.

Усилитель обладает хорошей линейностью, без искажений усиливает AM и SSB сигналы.

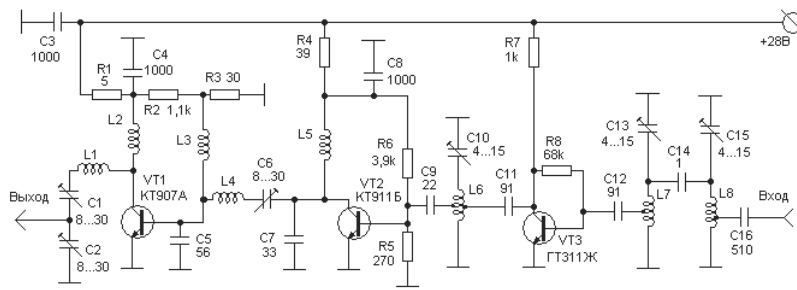


Рис. 9.1. Классическая схема УМ для 145 МГц

Сформированный в предварительном смесителе телеграфный, АМ или SSB сигнал через переходный конденсатор С16 поступает на полосовой фильтр, состоящий из контуров L8C15 и L7C13, настроенный на частоту 145 МГц. Дальнейшее усиление отфильтрованного сигнала осуществляется трехкаскадным линейным усилителем с общим коэффициентом усиления около 33 дБ.

Первый каскад усиления собран на транзисторе VT3, работающем в режиме класса А. Для улучшения фильтрации побочных излучений транзистор слабо связан со входным контуром L7C13 и с выходным контуром L6C10. Повышение нагруженной добротности контуров получено за счет снижения коэффициента передачи, поэтому усиление первого каскада невелико.

Основное усиление обеспечивается вторым каскадом, выполненным на транзисторе VT2 типа КТ911Б. В данном каскаде также использован режим класса А, что позволило при хорошей линейности получить высокий коэффициент усиления, около 20 дБ. Для согласования предоконечного и оконечного каскадов служит П-образный контур L4C5C6C7.

Оконечный каскад работает в режиме класса АВ. Необходимое смещение на базу транзистора VT1 типа КТ907 поступает с делителя напряжения R2, R3 через дроссель L3. Для уменьшения опасности самовозбуждения (так называемых дроссельных автоколебаний) вывод этого дросселя, подключенный к делителю напряжения, не заблокирован емкостью. Согласование оконечного усилителя с антенной обеспечивает контур L1C1C2. В усилителе мощности отсутствует какое-либо специальное устройство защиты выходного транзистора, поэтому следует избегать случаев работы выходного каскада на сильно рассогласованную нагрузку.

При подборе деталей для УМ полезно учесть, что номиналы большинства конденсаторов некритичны. Это прежде всего относится к блокировочным конденсаторам, стоящим в цепях питания. Все эти конденсаторы работают на частотах выше частоты собственного резонанса, где определяющую роль играет не емкость конденсатора, а его паразитная индуктивность. Поэтому емкость этих конденсаторов можно менять в пределах от 500 до нескольких тысяч пикофарад. Некритичны также емкости разделительных конденсаторов, осуществляющих связь транзисторов с резонансными контурами. Их значение можно без ущерба изменять по крайней мере в пределах от -50 до +100%.

Дроссели L2, L3 и L5 бескаркасные, изготовлены из провода ПЭВ-2 0,3 длиной 150 мм. Провод намотан на оправку диаметром 2,5 мм. Катушки L1, L4, L6, L7 и L8 бескаркасные, намотаны на оправке диаметром 9 мм посеребренным проводом диаметром 0,8 мм. Катушки L1 и L4 имеют три витка, длина намотки 7 мм. Катушки L6, L7 и L8 имеют по четыре витка при длине намотки 13 мм. Места для отводов у катушек L7 и L8 нужно выбрать как можно ближе к заземленному концу катушки. У катушки L6 отводы делаются примерно от середины. У всех этих катушек точные расположения мест отводов выбираются при настройке.

В УМ применены конденсаторы типов КМ и КТ, резисторы МТ и МЛТ.

УМ должен монтироваться в корпусе с экранными перегородками. Если в схеме УМ вместо катушек L6, L7 и L8 использовать специальные четвертьволновые резонаторы, предложенные С. Жутяевым [1], то перегородки не нужны.

Настройка УМ 145 МГц

Настройку любой конструкции рекомендуется начинать с проверки правильности монтажа.

При настройке УМ сначала необходимо установить режимы транзисторов по постоянному току. С помощью резистора R8 устанавливается режим транзистора VT3. Напряжение на коллекторе VT3 должно быть равно +9 В (ток коллектора 20 мА). При регулировке начального тока предоконечного и оконечного транзисторов лучше измерять постоянное напряжение на коллекторе не относительно земли, а относительно плюсового провода. Падение напряжения на резисторе R4 должно равняться 4 В (100 мА), а на резисторе R1 – 0,2 В (40 мА).

После этого напряжение питания от транзисторов VT1 и VT2 необходимо временно отключить.

Теперь можно приступить к настройке резонансных контуров. При этом резонансные контуры L8C15, L7C13 и L6C10 настраиваются на частоту 145 МГц. Настройка осуществляется с помощью высокочастотного вольтметра (или пробника), поочередно подключаемого к данным контурам.

В последнюю очередь нужно перейти к настройке двух последних каскадов усилителя мощности. Перед этим, во избежание выхода из строя транзистора VT1, выход УМ необходимо подключить к нагрузке, соответствующей волновому сопротивлению фидера. Такую на-

грузку можно изготовить самостоятельно, соединив параллельно несколько двухваттных резисторов типа МЛТ. Это могут быть, например, четыре резистора по 300 Ом, если предполагается использовать фидер с волновым сопротивлением 75 Ом, или шесть резисторов по 300 Ом, если сопротивление фидера 50 Ом. Схема эквивалента нагрузки показана в главе 10.

Эквивалент нагрузки снабжен диодным детектором, позволяющим контролировать выходную мощность передатчика.

Нагрузочные резисторы и детектор помещаются в небольшую металлическую коробочку, снабженную высокочастотным разъемом. Резисторы, составляющие эквивалент нагрузки, располагаются в виде звезды относительно разъема и должны иметь минимальную длину выводов. Если детектор снабдить собственным стрелочным индикатором, то мы получим автономный прибор – простейший измеритель мощности.

После того как эквивалент нагрузки подключен к выходу УМ и подано напряжение питания на последние два каскада, приступают к настройке контура L4C6. Настройка производится по максимуму коллекторного тока транзистора VT1. Перед этим транзистор VT1 надо максимально связать с нагрузкой, то есть конденсатор C1 установить на максимум емкости, а конденсатор C2 – на минимум. Коллекторный ток транзистора VT1 может достигать 500 мА и более. Если напряжение возбуждения недостаточно, то полезно еще раз подстроить все предварительные каскады, а также несколько уменьшить емкости конденсаторов C5 и C7. Настройка выходной цепи производится по максимуму показаний индикатора мощности. При этом надо учесть, что чем больше емкость конденсатора C2, тем слабее связь с нагрузкой. При слабой связи и максимальном уровне возбуждения возможен переход транзистора в сильно перенапряженный режим, при котором возникает опасность выхода транзистора из строя. Поэтому таких режимов следует избегать.

Усилитель мощности на КП904А

По данным радиолюбительских справочников, транзистор КП904А работает на частотах порядка до сотни МГц. Однако А. Жук (EW6FS) в создавшемся безвыходном положении попробовал применить этот транзистор в УМ на частоту 145 МГц и получил приличные результаты.

Идея использовать полевой транзистор КП904А в усилителе мощности диапазона 2 м возникла поневоле – во время работы в «тропо»

вышел из строя транзистор КТ931А, а заменить его было нечем. Тогда выбор пал на КП904А.

Усилитель на этом транзисторе оказался некритичным к качеству источника питания (в моем случае он питается нестабилизированным напряжением +55 В при емкости выходного конденсатора источника питания 10000 мкФ), не требует принятия специальных мер для стабилизации тока покоя транзистора и имеет очень простую схему (рис. 9.2). При входной мощности 4-5 Вт выходная мощность составляет 20-25 Вт на нагрузке 75 Ом.

Для получения большей выходной мощности можно последовательно включить два аналогичных каскада, запитав предоконечный каскад напряжением +28 В, а на оконечный каскад можно подать +50 В. На рис. 9.3 приведена схема (без цепей смещения транзисторов) доработки УМ на КП904А с целью повышения выходной мощности.

Усилитель собран на ребристом радиаторе размерами 210×130 мм, высота ребер – 25 мм. Монтаж радиоэлементов выполнен на «пятачках», вырезанных на плате из фольгированного текстолита.

В процессе монтажа особое внимание необходимо уделить качеству соединения истока транзистора с общим проводом («корпусом»). В моем случае исток припаян к посеребренной пластине, которая, в свою очередь, пропаяна вокруг отверстия под транзистор на плате.

Резистор R1 припаивается непосредственно к выводам транзистора VT1 и предохраняет транзистор от выхода из строя при обрыве цепи смещения.

Намоточные данные катушек индуктивности приведены в табл. 9.1.

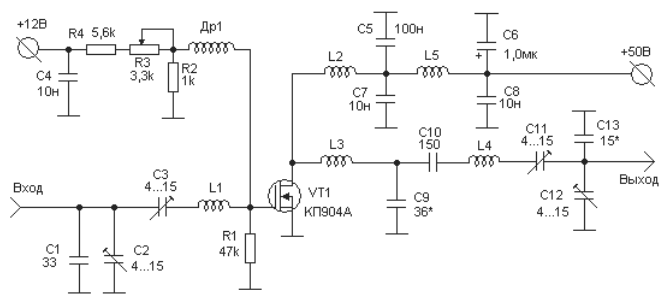


Рис. 9.2. УМ на КП904А

***Таблица 9.1**. Данные катушек*

Катушка	Число витков	Провод	Диаметр оправки, мм
L1	4	ПСР 1	8
L2	6	ПЭЛ 0,5	4
L3	2	ПСР 1	6
L4	5,5	ПСР 1	8
L5	10	ПСР 1	4

Конденсатор С10 – типа СГМ, С6 – электролитический, на рабочее напряжение 100 В. Остальные конденсаторы – типа КМ.

Настройка этого усилителя очень проста. К его выходу подключается эквивалент нагрузки сопротивлением 75 (50) Ом, и вращением движка резистора R3 (рис. 9.2) устанавливается ток покоя транзистора VT1 около 200 мА. Затем на вход усилителя подается сигнал частотой 145 МГц и мощностью около 1 Вт и, подстраивая конденсаторы С2 и С3, добиваются максимальной величины тока через транзистор VT1, а при помощи конденсаторов С11 и С12 – максимального напряжения на эквиваленте нагрузки.

После описанной предварительной настройки усилителя на его вход подают сигнал мощностью 5 Вт и вновь подстраивают конденсаторы С11, С12 по максимуму выходной мощности.

Схема усилителя не имеет защиты от КЗ и от превышения КСВ, поэтому следует избегать работы на случайные антенны. Данная рекомендация особенно актуальна для двухкаскадного варианта усилителя.

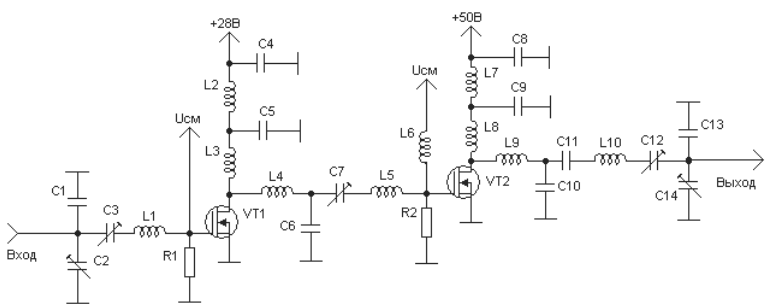


Рис. 9.3. Схема доработки УМ на КП904А

Двухтактный УМ

Непривычная схема двухтактного усилителя мощности на диапазон 145 МГц была опубликована в одном из зарубежных радиолюбительских журналов.

На рис. 9.4 показана принципиальная схема этого экономичного оконечного усилителя любительского передатчика диапазона 145 МГц. Усилитель собран по двухтактной схеме и работает в режиме класса В, но не содержит, как обычно, на входе и выходе трансформаторов с отводом от середины обмотки (бестрансформаторная двухтактная схема).

Объясняется это тем, что усилитель собран на комплементарных транзисторах, подобно оконечным узлам усилителей НЧ. Начальное смещение на базах транзисторов VTI и VT2 отсутствует (по постоянному току базы соединены с эмиттерами через дроссели Др1 и Др2).

Катушки индуктивности L1 и L2 совместно с конденсаторами С2 и С4 образуют резонансные контуры, настроенные на частоту 145 МГц. Конденсатором С1 устанавливают оптимальную связь с предварительным усилителем.

На выходе оконечного усилителя катушки L5, L6 и конденсатор С7 образуют выходной колебательный контур, настроенный на частоту 145 МГц. Конденсатором С8 устанавливают оптимальную связь усилителя с антенной.

Катушки L1 и L2 должны содержать по 3,5 витка медного посеребренного провода диаметром 1 мм. Диаметр намотки – 8 мм, шаг – 1 мм. Катушки L5 и L6 – по 5 витков того же провода и выполнены аналогично. Каждый из дросселей Др1-Др3 выполнен из куска провода

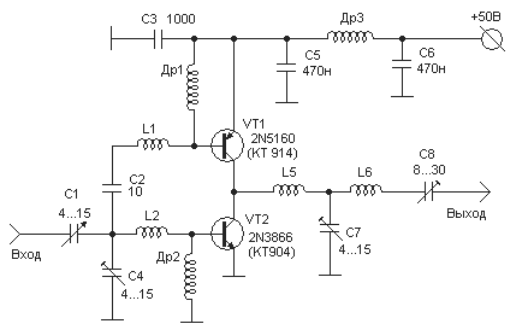


Рис. 9.4. Двухтактный УМ

ПЭЛ 0,3 длиной 30-35 мм. Провод наматывается на резистор с величиной сопротивления более 100 кОм или на пластмассовую трубочку диаметром 4-6 мм.

При повторении усилителя можно использовать отечественные транзисторы КТ914А (VTI) и КТ904 (VT2).

Амплитудная характеристика усилителя при подводимой мощности от 50 до 250 мВт практически линейна. Выходная мощность при этом изменяется от 0,48 до 2,24 Вт.

УМ с защитой

В Томске живет Александр Анатольевич Титов, который разработал много различных схем и конструкций усилителей мощности для УКВ диапазонов. Описание этих разработок можно найти и в Интернет, и в радиолюбительских журналах [18]. Особенностью разработанных им УМ является то, что все они снабжены защитой от различных видов перегрузок.

Ниже располагается немного сокращенное описание конструкции и принципиальная схема разработанного А. Титовым УМ на диапазон 142-148 МГц.

Изготовление УМ для УКВ диапазонов в любительских условиях требует большого внимания и знания особенностей, характерных для УМ этих диапазонов.

Не зная особенностей изготовления и настройки транзисторных усилителей мощности на частоты 144-146 МГц, трудно осуществить их реализацию без того, чтобы не сжечь массу мощных дорогих транзисторов, приобретая таким образом дорогой опыт работы с ними.

Основные технические характеристики УМ:

- ❑ максимальная выходная мощность ..... 40 Вт;
- ❑ полоса рабочих частот ..... 140-150 МГц;
- ❑ коэффициент усиления ..... 30 дБ;
- ❑ напряжение питания ..... 13,8 В;
- ❑ потребляемый ток в режиме молчания ..... 0,25 А;
- ❑ максимальное значение потребляемого тока ..... 7 А;
- ❑ при коротком замыкании либо отключении нагрузки потребляемый ток уменьшается до ..... 1-2 А;
- ❑ сопротивление генератора и нагрузки ..... 50 либо 75 Ом;
- ❑ габаритные размеры корпуса усилителя ..... 205×105×40 мм.

Рассмотрим особенности изготовления и настройки трехкаскадного УМ, в котором использованы доступные комплектующие изделия, имеющего полосу пропускания 140-150 МГц, выходную мощность 40 Вт и коэффициент усиления 30 дБ. Принципиальная схема УМ приведена на рис. 9.5.

Усилитель содержит входной резистивный делитель напряжения, три каскада усиления, трансформатор сопротивлений, стабилизатор напряжения базового смещения, защиту от перегрузки по входу, термозащиту, защиту от холостого хода и короткого замыкания нагрузки, защиту от превышения напряжением питания номинального значения.

Резистивный делитель напряжения, стоящий на входе усилителя и выполненный на резисторах R1 и R3, обеспечивает согласование УМ с сопротивлением генератора. Все каскады УМ, выполненные на транзисторах VT2, VT3 и VT5, работают в режиме с отсечкой коллекторного тока. Стабилизация угла отсечки обеспечивается стабилизатором напряжения базового смещения на транзисторах VT4 и VT6. Требуемый угол отсечки устанавливается подбором номинала резистора R12, стоящего в цепи базы транзистора VT6. При отсутствии резистора R12 коллекторные токи каждого из транзисторов VT2, VT3 и VT5 составляют 10-40 мА. При подключении R12 напряжение на базе транзистора VT6 уменьшается и его выходное сопротивление по постоянному току растет, что приводит к увеличению базового смещения транзисторов VT2, VT3, VT5 и увеличению их коллекторных токов.

Стабилизатор напряжения базового смещения используется также в качестве элемента управления коэффициентом усиления УМ.

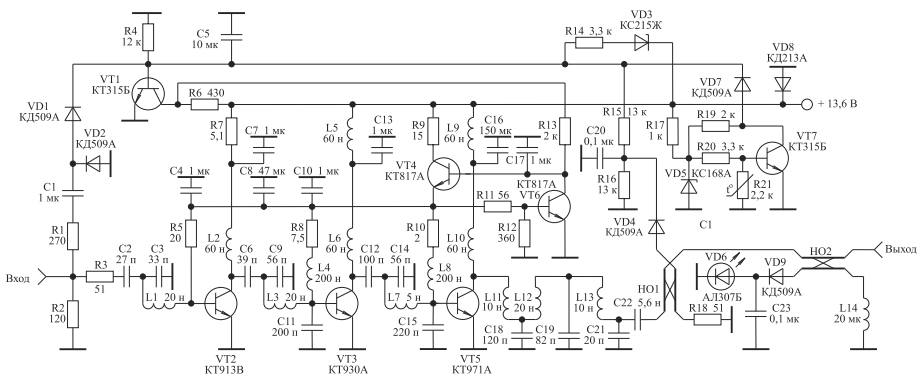


Рис. 9.5. Схема УМ с защитой

Срабатывание любой из защит усилителя приводит к открыванию транзистора VT1 и уменьшению напряжения смещения на базе транзистора VT4 стабилизатора напряжения базового смещения. Угол отсечки транзисторов VT2, VT3 и VT5 в этом случае уменьшается, уменьшая тем самым коэффициент усиления УМ. В случае полного открывания транзистора VT1 напряжение базового смещения оказывается равным нулю и коэффициент усиления УМ уменьшается до 2-5 дБ.

В УМ использованы полосовые межкаскадные корректирующие цепи третьего и пятого порядков, обеспечивающие высокие технические характеристики усилителя и обладающие простотой конструктивной реализации и настройки.

Оптимальное сопротивление нагрузки мощного транзистора, на которое он отдает максимальную мощность, составляет единицы Ом. Поэтому на выходе усилителя включен трансформатор импедансов с коэффициентом трансформации 1:25, выполненный в виде фильтра нижних частот шестого порядка и состоящий из элементов C18, C19, C21, L11, L12, L13.

С целью сохранения работоспособности УМ при подаче на его вход сигналов с амплитудой больше номинального значения, в усилителе установлен детектор с удвоением напряжений на диодах VD1 и VD2, выходное напряжение которого пропорционально уровню входного воздействия. При превышении входным сигналом определенного значения выпрямленное детектором напряжение открывает транзистор VT1, уменьшая коэффициент усиления УМ. Порог срабатывания защиты по входу устанавливается выбором номинала резистора R1.

С увеличением рассогласования нагрузки усилителя с его выходным сопротивлением увеличивается напряжение, снимаемое с выхода отраженной волны направленного ответвителя НО1. Это напряжение детектируется детектором на диоде VD4 и, открывая транзистор VT1, приводит к уменьшению коэффициента усиления УМ. Поэтому мощность сигнала на выходе усилителя падает пропорционально росту рассогласования нагрузки. Направленный ответвитель НО1 выполнен из двух проводов марки МГТФ 1×0,35 длиной 40 мм, намотанных вплотную друг к другу на цилиндрический изолятор диаметром 7 мм, который помещается затем в заземленный металлический цилиндрический экран. В рабочем диапазоне частот усилителя переходное затухание НО1 равно 30 дБ. Порог срабатывания схемы защиты от рассогласования усилителя по выходу устанавливается

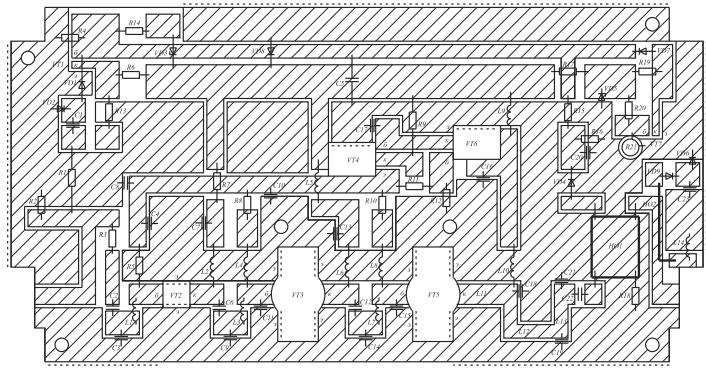


Рис. 9.6. Печатная плата УМ

выбором резистора R15. В качестве изолятора НО1 может быть использован деревянный цилиндр. Защита от превышения напряжением питания номинального значения выполнена на стабилитроне VD3. Установка схемы термозащиты, выполненной на транзисторе VT7, на заданную температуру срабатывания осуществляется с помощью резистора R20.

Диод VD8 установлен для защиты транзисторов усилителя от пробоя при неправильном выборе полярности напряжения питания.

Печатная плата изображена на рис. 9.6.

Плата размером 205×105 мм изготавливается из фольгированного с двух сторон стеклотекстолита толщиной 2-3 мм. Пунктирной линией на рис. 9.6 обозначены места металлизации торцов, что может быть сделано с помощью металлической фольги, которая припаивается к нижней и верхней части платы. Металлизация необходима для устранения паразитных резонансов и заземления нужных участков печатной платы. После металлизации торцов напильником выров-

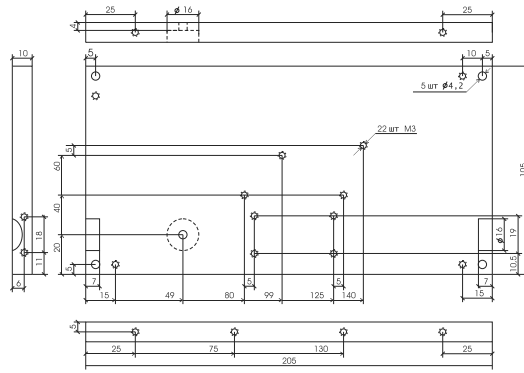


Рис. 9.7. Чертеж основания УМ

нивается нижняя часть платы, и она прикручивается к дюралевому основанию, чертеж которого приведен на рис. 9.7.

На рис. 9.8 показан чертеж крышки.

При многочасовой работе усилителя дюралевое основание необходимо устанавливать на радиатор размером 300×400 мм, либо использовать принудительную вентиляцию.

Транзисторы VT2, VT3 и VT5 крепятся к основанию с использованием теплопроводящей пасты. При креплении транзисторов VT4 и VT6 также используется теплопроводящая паста. Однако между транзисторами и основанием следует устанавливать слюдяную прокладку и перед настройкой усилителя следует с помощью тестера убедиться в том, что не нарушена изоляция между коллекторами транзисторов VT4, VT6 и земляной шиной.

Элементы L11, L12, L13 трансформатора импедансов выполнены в виде дорожек на печатной плате. Каждый из конденсаторов C18, C19, C21 (см. рис. 9.5) трансформатора импедансов представляет собой параллельное соединение нескольких дисковых керамических конденсаторов, включенных параллельно. Такое включение позволяет использовать трансформатор импедансов при выходной мощности усилителя до 40 Вт. Для получения большей выходной мощности необходимо использовать импортные конденсаторы с большой допустимой реактивной мощностью, которых, к сожалению, нет в продаже. Другим возможным вариантом является изготовление части печатной платы, на которой расположены элементы L12, L13, на основе 1-2 мм керамической подложки, прижимаемой к основанию с

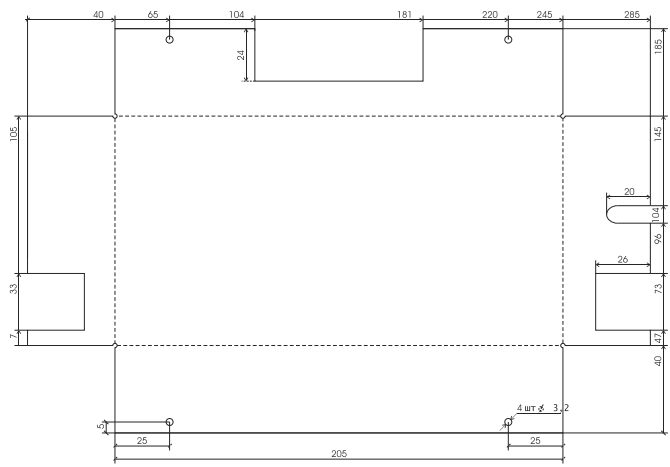


Рис. 9.8. Чертеж крышки УМ

использованием теплопроводной пасты для отвода тепла от конденсаторов С18, С19, С21.

Терморезистор R21 схемы термозащиты устанавливается в отверстии печатной платы и приклеивается к основанию эпоксидным клеем.

Направленный ответвитель НО2 выполнен в виде отрезка провода диаметром 0,5-1 мм и длиной 15 мм, который расположен на расстоянии 3-5 мм над полоском длинной линии, идущей от НО1 к выходу усилителя. Загорание светодиода VD2 свидетельствует о работе усилителя в штатном режиме.

Вначале производится настройка входного каскада усилителя. Для этого нагрузка усилителя через разделительный конденсатор подключается к коллектору транзистора VT2. Вместо резистора R7 устанавливается двухваттный резистор номиналом 10 Ом, и с помощью резистора R12 ток покоя транзистора VT2 устанавливается равным 0,1-0,2 А. Двухваттный резистор необходим для защиты транзистора VT2 от выгорания при возможном самовозбуждении схемы во время настройки. С помощью изменения номинала конденсатора С3 изменяется центральная частота полосы пропускания каскада, изменением номинала конденсатора С2 регулируется ширина полосы пропускания каскада. Чем больше номинал конденсатора С2, тем больше полоса пропускания каскада, чем больше номинал конденсатора С3, тем меньше его центральная рабочая частота.

После настройки входного каскада к нему подключается предоконечный каскад, в котором предварительно вместо индуктивности L5 впаивается двухваттный резистор номиналом 10 Ом и производится его настройка аналогично настройке входного каскада. Однако в отличие от входного каскада, в предоконечном каскаде после его настройки устанавливается дополнительный конденсатор С11, позволяющий на 2-4 дБ повысить коэффициент усиления каскада. Индуктивность выводов конденсатора С11 приводит к значительному ухудшению характеристик усилителя. В то же время безындуктивные конденсаторы типа К10-17 не допускают перепайки. Поэтому конденсатор С11 реализован в виде параллельного соединения двух дисковых керамических конденсаторов примерно одинакового номинала с минимально короткими ножками. Оконечный каскад усилителя настраивается аналогично предоконечному. Отличие заключается в том, что нагрузка подключается не к коллектору транзистора, а к выходу трансформатора импедансов, состоящему из элементов С18, С19, С21, L11, L12, L13. При неизменном резисторе R12 токи покоя

транзисторов VT3 и VT5 должны находиться в пределах 0,1-0,5 А. В противном случае следует изменить номинал резистора R12.

После формирования амплитудно-частотной характеристики УМ, которое ведется в режиме малого сигнала, резистор R12 выпаивается из схемы, на вход усилителя подается амплитудно-модулированный сигнал и проверяется отсутствие самовозбуждения усилителя при различных уровнях входного воздействия. В случае самовозбуждения усилителя следует параллельно индуктивностям L4 и L8 подключить резисторы, сопротивление которых выбирается равным 24-30 Ом. Это приводит к некоторому уменьшению выходной мощности усилителя, однако значительно повышает надежность его работы. Индуктивности L4 и L8 намотаны на резисторы сопротивлением 27 Ом и номинальной мощностью 0,5 Вт.

Затем 10-омные резисторы в коллекторных цепях транзисторов VT2, VT3 и VT5 заменяются элементами R7, L5, L9 и осуществляется измерение максимальной величины выходной мощности настраиваемого усилителя. Варьируя в небольших пределах величинами элементов трансформатора импедансов C18, C19 и C21, необходимо подстроить усилитель на минимум потребляемого тока при выходной мощности 40 Вт. Правильно настроенный усилитель при выходной мощности 40 Вт должен потреблять ток, равный 5-7 А. Изменением номиналов элементов C18, C19 и C21 можно повысить выходную мощность усилителя до 70-80 Вт. Однако в этом случае практически неизбежно выгорание конденсаторов C18, C19 и C21 через 1-2 мин непрерывной работы УМ.

Теперь, изменяя сопротивление резистора R1, устанавливаем порог срабатывания схемы защиты от перегрузки по входу. К примеру, уменьшение сопротивления резистора R1 должно приводить к резкому падению выходной мощности УМ при неизменном уровне входного воздействия.

При работе на стандартную нагрузку 50 либо 75 Ом и уровне выходного сигнала, равном 40 Вт на выходе детектора, выполненного на диоде VD4, напряжение должно быть не более 0,1-0,2 В. В противном случае следует так подобрать балластное сопротивление R18 направленного ответвителя НО1, чтобы это напряжение было минимальным. Далее при уровне выходного сигнала, равном 40 Вт, параллельно стандартной нагрузке 50 Ом периодически подключается двухваттный резистор 50 Ом и с помощью изменения номинала резистора R15 устанавливается порог срабатывания схемы защиты от холостого хода и короткого замыкания нагрузки. В случае правильного

выбора резистора R15 подключение дополнительного двухваттного резистора 50 Ом к выходу усилителя должно приводить к небольшому уменьшению потребляемого усилителем тока. В этом случае короткое замыкание нагрузки или ее холостой ход будут сопровождаться уменьшением тока потребления в 4-8 раз.

Изменяя напряжение питания в пределах 13-16 В, следует убедиться, что в определенный момент происходит резкое падение выходной мощности и потребляемого усилителем тока, связанные со срабатыванием защиты от превышения напряжением питания номинального значения.

В последнюю очередь необходимо выбором резистора R20 установить схему термозащиты на заданную температуру срабатывания. Чтобы во время настройки усилителя термозащита не мешала работе, диод VD7 следует припаивать перед настройкой схемы термозащиты.

Настроенный описанным выше способом УМ имеет следующие технические характеристики: максимальный уровень выходной мощности 40 Вт; полоса пропускания 140-150 МГц; неравномерность амплитудно-частотной характеристики ±2 дБ; коэффициент усиления 30 дБ; напряжение питания 13,6-15 В; потребляемый ток в режиме молчания 100-300 мА; максимальное значение потребляемого тока 5-7 А; при коротком замыкании или отключении нагрузки и работе усилителя в режиме максимальной выходной мощности потребляемый ток уменьшается до 1-2 А; сопротивление генератора и нагрузки 50 либо 75 Ом; габаритные размеры корпуса 205×105×40 мм; при длительной эксплуатации усилитель устанавливается на радиатор с использованием принудительной вентиляции.

В УМ, выполненном по схеме рис. 9.5, контурные катушки имеют следующие величины индуктивностей:

L1 = 0,02 мкГн; L2, L5, L6, L9 = 0,06 мкГн; L3 = 0,02 мкГн; L7 = 0,005 мкГн; L8 = 0,2 мкГн; L10, L13 = 0,01 мкГн, L12 = 0,01 мкГн.

Определить число витков по этим величинам индуктивности можно очень легко с помощью программы INDUKTIW1(см. Приложение 3).

Дополнительную информацию по этому УМ можно получить в Интернет на сайте http://www.qrz.ru/.

ДИАПАЗОН 435 МГЦ

Классическая схема УМ для 435 МГц

На рис. 9.9 показана схема УМ для диапазона 435 МГц, которая наиболее часто используется радиолюбителями в своих конструкциях. УМ предназначен для усиления сигнала до мощности 5 Вт в соответствии с инструкцией.

В УМ могут быть применены широкодоступные радиодетали: конденсаторы типов КМ и КТ, резисторы типа МЛТ 0,5, МЛТ 0,25.

Дроссели L2, L3, L5 и L7 – бескаркасные, изготавливаются из отрезка провода марки ПЭВ диаметром 0,3-0,4 мм. Длина отрезка провода – 80 мм. Провод наматывается на оправку диаметром 2,5 мм виток к витку, а затем снимается с оправки и растягивается до длины 12-15 мм.

Катушки L1, L4 и L6 – бескаркасные, намотаны на оправке диаметром 5 мм посеребренным медным проводом диаметром 0,8 мм. Катушки L1 и L4 имеют по два витка, катушка L6 – три витка. Шаг намотки во всех случаях равен 2 мм.

Линия L8 изготавливается из отрезка медной посеребренной проволоки диаметром 2 мм, длина линии 50 мм, отводы на расстоянии 10 и 20 мм от заземленного конца. Линия располагается параллельно основанию на удалении 3-4 мм. Линию L1 можно также выполнить в виде U-образной подковы, как это сделано в [1].

Настройка УМ производится по методике, описанной в предыдущем разделе.

На УМ надо подать напряжение +28 В и проверить начальные режимы транзисторов по постоянному току. При этом транзисторы VT1-VT3 должны быть снабжены радиатором. Подбором резисто-

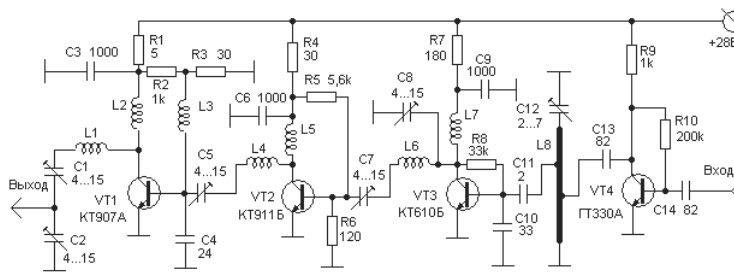


Рис. 9.9. УМ для 435 Мгц

ра R10 следует установить ток транзистора VT4 равным 18 мА (напряжение на коллекторе 9 В). Подбором резистора R8 необходимо установить ток транзистора VT3 равным 55 мА (напряжение на коллекторе 18 В). Режим двух последних каскадов усилителя мощности лучше контролировать по падению напряжения на резисторах R1 и R4. Начальный ток транзистора VT2 должен составлять 30 мА (напряжение на резисторе R4 должно быть 0,9 В), а транзистора VT1 – 50 мА (напряжение на резисторе R1 должно быть 0,25 В).

После этого можно перейти к настройке контуров. Первоначальная настройка производится на частоте 433 МГц с помощью пробника, подключенного к линии L8. Точку подключения пробника надо выбирать по возможности ближе к «холодному» концу линии.

После этого можно перейти к цепи согласования между транзисторами VT3 и VT2. Последовательно подстраивая конденсаторы C7 и C8, надо добиться максимального увеличения тока транзистора VT2. При этом нужно помнить, что степень связи зависит от положения ротора конденсатора C8, а конденсатор C7 служит для настройки согласующей цепи в резонанс.

Дальнейшую настройку надо вести при подключенной к выходу передатчика нагрузке, так как в противном случае выходной транзистор может попасть в опасный перенапряженный режим. Недонапряженный режим, соответствующий низкому сопротивлению нагрузки, для транзистора VT1 менее опасен, так как данный транзистор используется только на 50% его максимальных возможностей.

Далее следует подстроить конденсатор C5 по максимуму коллекторного тока транзистора VT1, а затем конденсаторы C1 и C2 по максимуму напряжения на нагрузке.

После этого полезно еще раз подстроить все контуры и проверить режимы транзисторов в режиме максимальной мощности. Режим транзистора VT3 должен слабо зависеть от напряжения сигнала. Коллекторный ток транзистора VT2 должен возрастать при увеличении сигнала до 150-170 мА, а транзистора VT1 – до 280-320 мА.

Следует также убедиться, что выходная мощность плавно изменяется при регулировке амплитуды входного сигнала с частотой 432-436 МГц. Наличие скачков говорит об имеющейся регенерации или самовозбуждении какого-либо каскада. При этом настройку надо повторить еще раз, варьируя величину связи между каскадами.

Еще одна схема УМ для 435 МГц

На рис. 9.10 представлена еще одна схема усилителя мощности (мощностью до 5 Вт) для диапазона 435 МГц. Схема очень похожа на предыдущую, основное отличие в том, что здесь используются два источника питания: один источник напряжением +28 В используется для питания коллекторных цепей, другой источник напряжением +12 В используется для питания базовых цепей транзисторов. Такая схема питания очень удобна при построении приемопередающих радиостанций, когда передающая часть может выключаться отключением напряжения базовой цепи +12 В.

УМ выполнен в металлическом корпусе с перегородками. Лучше всего для корпуса использовать листовую латунь, но, в крайнем случае, корпус можно спаять из олуженной «белой» жести.

Дроссели Др1-Др3 выполнены на ферритовых кольцах Ø 7 мм из ВЧ феррита и имеют по 3-5 витков провода ПЭЛ 0,5.

Линии L1 и L3 сделаны из отрезков посеребренного провода Ø 2 мм, длина линии – 40 мм, отвод выполнен на расстоянии 10 мм от заземленного конца линии. Петля L2 сделана из провода Ø 1 мм, имеет длину порядка 20 мм, ширину – 18 мм (зависит от размеров между перегородками в корпусе).

Катушка L4 выполнена в виде U-образной петли из медного посеребренного провода Ø 1 мм. Катушка располагается на высоте примерно 7 мм от основания и служит соединяющим звеном между конденсатором С4 и линией L3. Ширина петли 7,5-8 мм подбирается при настройке.

Катушка L5 имеет 2 витка провода Ø 0,8 мм, намотана на оправке Ø 6 мм и растянута до длины 10 мм.

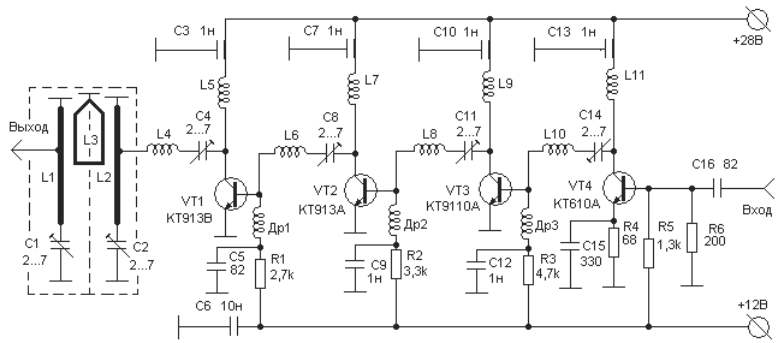


Рис. 9.10. Схема УМ для диапазона 435 МГц

Катушки L7 и L9 имеют 3 витка провода Ø 0,8 мм, намотаны на оправке Ø 6 мм и растянуты до длины 10 мм.

Катушка L11 имеет 4 витка провода Ø 0,8 мм, намотана на оправке Ø 6 мм и растянута до длины 10 мм.

Катушки L6, L8 и L10, L4 выполнены в виде U-образной петли из медного посеребренного провода Ø 1 мм. Катушка располагается на высоте примерно 7 мм от основания. Ширина петли 7,5...8 мм подбирается при настройке.

Настройка УМ аналогична описанной в предыдущем разделе.

Сначала подключается напряжение +28 В, затем +12 В, и подбором резисторов R1, R2, R3 и R5 устанавливаются величины тока в цепи коллектора каждого из каскадов, начиная с каскада на транзисторе VT4. Ток коллектора транзистора VT4 должен быть порядка 20 мА, ток в цепи коллектора VT3 – 25 мА, ток в цепи коллектора VT2 – 30 мА, в цепи коллектора VT1 – 40 мА.

Затем на вход подается сигнал частотой 433 МГц довольно низкого напряжения.

После этого можно перейти к настройке контуров. Первоначальная настройка производится на частоте 433 МГц с помощью ВЧ вольтметра или пробника, подключенного к коллектору VT4 или к катушке L11, при этом точку подключения пробника надо выбирать по возможности ближе к заземленному по ВЧ концу катушки. При подаче на вход сигнала 433 МГц пробник должен немного увеличить напряжение в точке замера.

После этого можно переключить пробник на катушку L9 и по показаниям вольтметра настроить контур L10C14. Подстраивая конденсатор C14, надо добиться максимального увеличения тока транзистора VT3.

Дальнейшую настройку надо вести при подключенной к выходу передатчика нагрузке, так как в противном случае выходной транзистор может попасть в опасный перенапряженный режим и выйти из строя. Недонапряженный режим, соответствующий низкому сопротивлению нагрузки, для транзистора VT1 менее опасен, так как данный транзистор используется только на 50% его максимальных возможностей.

Далее следует подстроить конденсатор C11 по максимуму коллекторного тока транзистора VT2 и конденсатор C7 по максимуму коллекторного тока VT1.

Затем конденсаторами C4, C2 и C1 устанавливаем максимум напряжения на нагрузке (или эквиваленте нагрузки).

После этого полезно еще раз подстроить все контуры и проверить режимы транзисторов в режиме максимальной мощности. Режим транзистора VT3 должен слабо зависеть от напряжения сигнала. Коллекторный ток транзистора VT2 должен возрастать при увеличении сигнала до 150-170 мА, а транзистора VT1 – до 280-320 мА.

Следует также убедиться, что выходная мощность плавно изменяется при регулировке амплитуды входного сигнала с частотой 432-436 МГц. Наличие скачков говорит об имеющейся регенерации или самовозбуждении какого-либо каскада. При этом настройку надо повторить еще раз, варьируя величину связи между каскадами.

УМ на 432…435 МГц с защитой от перегрузок

В этом разделе приведено описание УМ, разработанного А. А. Титовым. Описание приводится с некоторыми сокращениями.

Технические характеристики усилителя:

- максимальный уровень выходной мощности – 30 Вт;
- полоса пропускания – 10-20 МГц с центральной частотой в диапазоне – 400-460 МГц;
- неравномерность амплитудно-частотной характеристики – ±1,0 дБ;
- коэффициент усиления – 14 дБ;
- напряжение питания – 20-32 В;
- потребляемый ток в режиме молчания – 0,02 А;
- максимальное значение потребляемого тока – 3,5 А;
- при коротком замыкании или отключении нагрузки потребляемый ток уменьшается до – 0,2-0,5 А;
- сопротивление генератора и нагрузки – 75 Ом;
- габаритные размеры корпуса усилителя – 165×100×40 мм.

Полосовые усилители мощности диапазона 400-460 МГц используются в радиолокации, системах подвижной, стационарной, любительской радиосвязи. Одним из основных требований к таким усилителям является способность их адаптации к неблагоприятным внешним воздействиям, а именно – сохранение работоспособности при работе на несогласованную нагрузку, перегрузке по входу, перегреве, изменении величины питающего напряжения.

На рис. 9.11 приведена схема усилителя мощности, обладающего перечисленными выше свойствами.

Усилитель содержит два усилительных каскада; стабилизатор напряжения питания, стабилизатор базового смещения; трансформатор сопротивлений; два направленных ответвителя (НО); фильтр нижних частот; схемы защиты от перегрузки по входу, от рассогласования по выходу, термозащиту.

На входе усилителя включен делитель напряжения на резисторах R4 и R6, обеспечивающий согласование входа усилителя с сопротивлением генератора.

Стабилизатор напряжения на микросхеме М1 и транзисторе VT2 выдает стабильное напряжение питания усилителя, равное +18 В при изменении напряжения источника питания $E_П$ в пределах 20-32 В. Установка напряжения питания усилителя на заданное значение осуществляется резистором R5.

Схема защиты усилителя от перегрузки по входу собрана на диоде VD1 и транзисторе VT1. При подаче на вход усилителя сигналов с амплитудой больше номинального значения детектор на диоде VD1 открывает транзистор VT1, что приводит к заземлению первой ножки микросхемы М1 и падению напряжения питания усилителя до 1-2 В. Порог срабатывания защиты по входу устанавливается выбором номинала резистора R3.

Стабилизатор напряжения базового смещения на транзисторах VT4, VT6 используется для стабилизации угла отсечки транзисторов VT3 и VT5 усилителя при изменении уровня усиливаемого сигнала и температуры основания усилителя, на котором устанавливаются эти транзисторы. Кроме того, применение стабилизатора напряжения базового смещения позволяет осуществлять линеаризацию начального

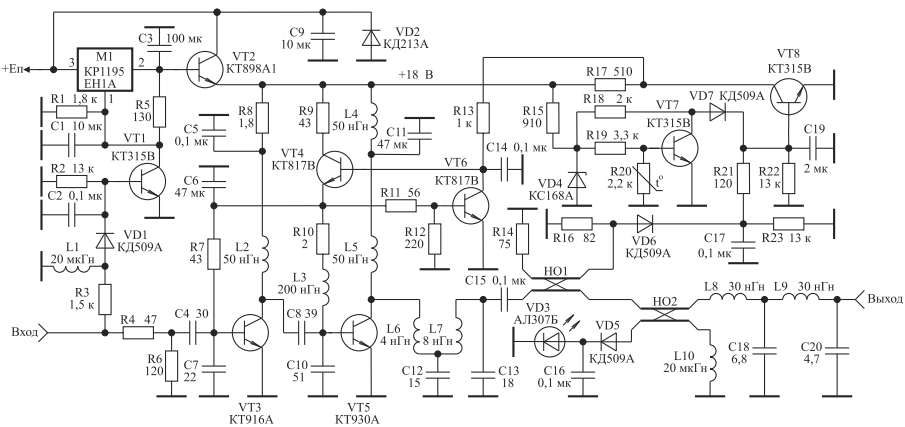


Рис. 9.11. Схема полосового усилителя мощности

участка амплитудной характеристики разрабатываемого усилителя. Требуемый угол отсечки устанавливается подбором номинала резистора R12. При отсутствии резистора R12 коллекторные токи каждого из транзисторов VT3 и VT5 составляют 10-40 мА. При подключении R12 напряжение на базе транзистора VT6 уменьшается и его выходное сопротивление по постоянному току растет, что приводит к увеличению базового смещения транзисторов VT3, VT5 и увеличению их коллекторных токов.

Стабилизатор напряжения базового смещения используется также в качестве элемента управления коэффициентом усиления усилителя. При срабатывании защиты от рассогласования по выходу и термозащиты происходит открывание транзистора VT8 и уменьшение напряжения смещения на базе транзистора VT4 стабилизатора напряжения базового смещения. Угол отсечки транзисторов VT3 и VT5 в этом случае уменьшается, уменьшая тем самым коэффициент усиления усилителя. В случае полного открывания транзистора VT8 напряжение базового смещения оказывается равным нулю, и коэффициент усиления усилителя уменьшается до 2-5 дБ.

Схема защиты от рассогласования по выходу состоит из направленного ответвителя НО1 и детектора на диоде VD6. С увеличением рассогласования нагрузки усилителя с его выходным сопротивлением (крайние степени рассогласования – короткое замыкание нагрузки и ее обрыв) напряжение, снимаемое с выхода отраженной волны направленного ответвителя НО1, увеличивается, то есть на вход детектора на диод VD6 подается напряжение, пропорциональное напряжению, отраженному от нагрузки усилителя. Это напряжение детектируется и, открывая транзистор VT8, приводит к уменьшению коэффициента усиления усилителя. Поэтому мощность сигнала на выходе усилителя падает пропорционально росту рассогласования нагрузки. Направленный ответвитель НО1 выполнен из двух проводов марки МГТФ 1×0,35 длиной 30 мм, намотанных вплотную друг к другу на цилиндрический изолятор диаметром 4 мм и длиной 13 мм, который помещается затем в заземленный металлический цилиндрический экран [2]. В рабочем диапазоне частот усилителя переходное затухание НО1 равно 20 дБ. Порог срабатывания схемы защиты от рассогласования усилителя по выходу устанавливается выбором резистора R21.

Схема термозащиты выполнена на транзисторе VT7. Терморезистор схемы термозащиты R20 приклеивается к корпусу усилителя эпоксидным клеем. С увеличением температуры корпуса сопротивление терморезистора падает, что приводит к запиранию транзистора VT7 и от-

крыванию транзистора VT8. Установка термозащиты на заданную температуру срабатывания осуществляется с помощью подбора резистора R19. Диод VD2 предназначен для защиты транзисторов усилителя от пробоя при неправильном выборе полярности напряжения источника питания $E_П$.

Для подавления высших гармонических составляющих в спектре выходного сигнала на выходе усилителя установлен чебышевский фильтр нижних частот четвертого порядка, состоящий из элементов L8, L9, C18 и C20.

Направленный ответвитель НО2 выполнен в виде отрезка провода диаметром 0,5-1 мм и длиной 20 мм, который расположен на расстоянии 3-8 мм над полоском длинной линии, идущей от НО1 к выходу усилителя. Загорание светодиода VD5 свидетельствует о работе усилителя в штатном режиме.

В усилителе использованы полосовые межкаскадные корректирующие цепи третьего порядка, обладающие простотой конструктивной реализации и настройки.

На выходе транзистора VT5 включен трансформатор импедансов с коэффициентом трансформации 1:25, выполненный в виде фильтра нижних частот четвертого порядка, состоящий из элементов L6, L7, C12, C13 и обеспечивающий получение максимальной мощности в нагрузке.

Настройка усилителя

Настройка усилителя состоит из нескольких этапов.

Вначале производится настройка входного каскада усилителя. Для этого на его выход подключается нагрузка 75 Ом, резистор R8 заменяется двухваттным резистором с сопротивлением 10 Ом, и с помощью резистора R12 устанавливается ток покоя транзистора VT3 равным 0,1-0,2 А. Двухваттный резистор необходим для защиты транзистора от выгорания при возможном самовозбуждении схемы во время настройки. Формирование амплитудно-частотной характеристики каскада осуществляется с помощью корректирующей цепи, состоящей из элементов C4, C7 и входной индуктивности транзистора VT3, и сводится к следующему. С помощью изменения номинала конденсатора C7 изменяется центральная частота полосы пропускания каскада, изменением номинала конденсатора C4 регулируется ширина полосы пропускания каскада. Чем больше номинал конденсатора C4, тем больше полоса пропускания, чем больше номинал конденсатора C7, тем меньше центральная рабочая частота каскада. Настройка каскада

на транзисторе VT5, возбуждаемого транзистором VT3, производится аналогично и сводится к подбору конденсатора C10. Отличие заключается в том, что нагрузка подключается не к коллектору транзистора, а к выходу трансформатора импедансов, состоящему из элементов L6, L7, C12, C13.

После формирования амплитудно-частотной характеристики усилителя, которое ведется в режиме малого сигнала, резистор R12 выпаивается из схемы, на вход усилителя подается амплитудно-модулированный сигнал и проверяется отсутствие самовозбуждения усилителя при различных уровнях входного воздействия. В случае самовозбуждения усилителя следует параллельно индуктивности L3 подключить резистор с сопротивлением, равным 24-30 Ом. Это приводит к некоторому уменьшению выходной мощности усилителя, однако значительно повышает надежность его работы. На фотографии виден резистор с намотанной на него индуктивностью L3.

После этого 10-омные резисторы в коллекторных цепях транзисторов VT3 и VT5 заменяются резистором R8 и индуктивностью L4 соответственно, и осуществляется измерение максимальной величины выходной мощности настраиваемого усилителя. Варьируя в небольших пределах величины элементов L6, C12 и C13 трансформатора импедансов, можно дополнительно подстроить усилитель на максимум отдаваемой мощности. Практически это осуществляется с помощью изменения точки подключения дополнительного конденсатора к полоску на выходе транзистора VT5, который играет роль индуктивностей L6, L7.

Линеаризация амплитудной характеристики усилителя достигается соответствующим выбором резистора R12, которая производится после настройки усилителя на максимальную выходную мощность.

При работе на стандартную нагрузку 75 Ом и уровне выходного сигнала, равном 30 Вт на выходе детектора, выполненного на диоде VD6, напряжение должно быть не более 0,1-0,2 В. В противном случае следует так подобрать балластное сопротивление R14 направленного ответвителя НО1, чтобы это напряжение было минимальным. Далее при уровне выходного сигнала, равном 30 Вт, параллельно стандартной нагрузке 75 Ом периодически подключается двухваттный резистор 75 Ом и с помощью изменения номинала резистора R21 устанавливается порог срабатывания схемы защиты от холостого хода и короткого замыкания нагрузки. В случае правильного выбора резистора R21 подключение дополнительного двухваттного резистора 75 Ом к выходу усилителя должно приводить к небольшому уменьшению потребля-

емого усилителем тока. В этом случае короткое замыкание нагрузки или ее холостой ход будут сопровождаться уменьшением тока потребления в 4-8 раз.

Печатная плата (рис. 9.12) размером 165×100 мм изготавливается из двухстороннего фольгированного стеклотекстолита толщиной 2-3 мм.

Пунктиром на чертеже обозначены места необходимой металлизации торцов платы, что может быть сделано с помощью металлической фольги, которая припаивается к нижней и верхней части платы. Металлизация необходима для устранения паразитных резонансов и заземления нужных участков печатной платы. Отверстия диаметром 3,5 мм на краях платы предназначены для ее крепления к основанию.

Транзисторы VT3 и VT5 крепятся к основанию с использованием теплопроводящей пасты. При креплении транзисторов VT4, VT6 и микросхемы M1 также используется теплопроводящая паста. Однако между транзисторами VT4, VT6, микросхемой M1 и основанием необходимо устанавливать слюдяную прокладку, и перед настройкой усилителя следует с помощью тестера убедиться в том, что не нарушена изоляция между коллекторами транзисторов VT4, VT6, выходом микросхемы и земляной шиной.

При выходной мощности 30 Вт ток потребления усилителя составляет около 3,5 А. Поэтому в условиях длительной эксплуатации его не-

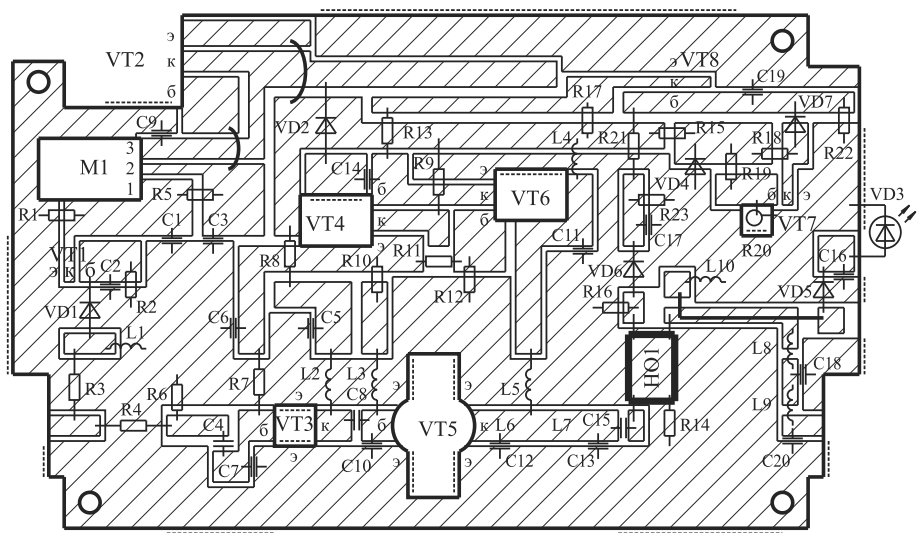


Рис. 9.12. Печатная плата УМ

обходимо устанавливать на радиатор с использованием принудительной вентиляции. Для этого по краям основания усилителя (см. фото) высверлены отверстия диаметром 4,3 мм.

Номиналы элементов схемы, приведенные на рис. 9.11, соответствуют настройке усилителя на центральную частоту 430 МГц. Для настройки усилителя на одну из частот диапазона 400-460 МГц достаточно на 5-10% изменить номиналы конденсаторов С7, С10, С13.

В УМ, выполненном по схеме рис. 9.11, контурные катушки имеют следующие величины индуктивностей:

L1 = 20 мкГн; L2, L4, L5 = 0,05 мкГн; L3 = 0,2 мкГн; L6 = 0,004 мкГн; L7 = 0,008 мкГн; L8 = 0,030 мкГн; L9 = 0,030 мкГн; L10 = 0,020 мкГн.

Определить число витков по этим величинам индуктивности можно очень легко с помощью программы INDUKTIW1(см. Приложение 3).

Возможна настройка УМ (рис. 9.11) на любой из диапазонов, с полосой пропускания 10-20 МГц, в пределах частот от 400 до 460 МГц. При этом в диапазоне 100-200 МГц в качестве транзистора VT1 следует использовать транзистор типа КТ816А, в диапазоне 200-300 МГц в качестве транзистора следует использовать транзистор VT1 типа КТ814А.

Величины индуктивностей контурных катушек и емкости конденсаторов при переходе на другой диапазон можно рассчитать по следующим формулам:

$$L_{in} = L_i \times 430 / f_n,$$

$$C_{in} = C_i \times 430 / f_n,$$

где L_i и C_i - величины индуктивности и емкости для диапазона 435 МГц;

L_{in} и C_{in} – величины индуктивности и емкости для нового диапазона;

f_n – частота нового диапазона в МГц.

ДИАПАЗОН 1296 МГЦ

Этим диапазоном интересуются, как правило, только любители участвовать в различных соревнованиях по радиосвязи на УКВ. Для начинающих осваивать УКВ диапазоны частоты выше 500 МГц вызывают значительные трудности, потому что на этих частотах межэлектродные емкости в транзисторах становятся соизмеримыми с емкостями контуров, а индуктивность выводов радиодеталей становится соизмеримой с индуктивностью контуров. Кроме указанных выше, существует еще

целая куча проблем, перечислять которые в этой книге для начинающих нет смысла.

УМ на транзисторах КТ911

В [1] описана радиостанция на диапазон 1296 МГц, схема которой, на мой взгляд, является очень подходящей для начинающих интересоваться аппаратурой этого диапазона. На сайте http://www.qrz.ru/ можно загрузить электронный вариант этой очень даже замечательной книжки.

На рис. 9.13 приведена электрическая принципиальная схема УМ для диапазона 1296 МГц, способная выдавать сигнал мощностью до 3 Вт. Зачастую такой мощности бывает достаточно, так как для этого диапазона можно легко сделать антенну с очень большим усилением.

Первый каскад УМ выполнен на транзисторе VT3 типа КТ911А. Для обеспечения линейного усиления каскад работает в режиме класса АВ. Открывающее напряжение смещения поступает на базу транзистора VT3 с делителя, образованного резистором R8 и параллельно включенными резистором R9 и диодом VД3. Диод служит для температурной стабилизации рабочей точки каскада.

Как уже указывалось, на столь высоких частотах начинают играть большую роль индуктивности выводов и соединительных проводников.

Для настройки в резонанс базовой цепи транзистора VT3 служит конденсатор С14. Емкостная связь с предстоящим полосовым фильтром осуществляется с помощью конденсатора С15. Выходная цепь транзистора VT3 представляет собой П-образный контур, роль индук-

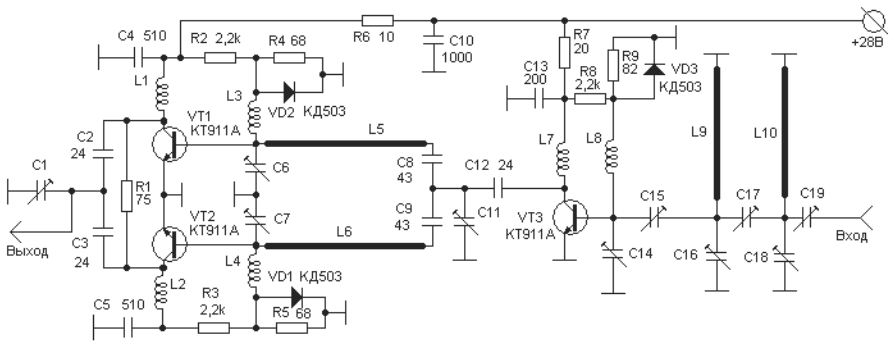


Рис. 9.13. Схема УМ на транзисторах КТ911

тивности в котором играет обкладка трубчатого керамического конденсатора С12.

Конденсатор С11 настраивает выходную цепь транзистора VT3 и входную цепь оконечного (выходного) каскада.

Выходной каскад работает по схеме сложения мощностей двух транзисторов VT1 и VT2 типа КТ911А. Базовые цепи транзисторов настроены с помощью конденсаторов С6, С7 и через четвертьволновые линии L5, L6 подключены к выходу предоконечного каскада. Конденсаторы С8, С9 – разделительные. Применение соединительных линий вызвано удобством монтажа, а также возможностью в некоторых пределах регулировать согласование, изменяя волновое сопротивление этих линий. Выходная цепь состоит из двух П-образных контуров, имеющих общий выходной конденсатор С1.

Предоконечный и оконечный каскады имеют суммарный коэффициент усиления около 12 дБ и обеспечивают линейное усиление сигнала до уровня 3 Вт.

Настройка УМ

Налаживание УМ необходимо начать с регулирования начальных токов транзисторов. При отсутствии возбуждения коллекторный ток каждого из транзисторов VT1, VT2 и VT3 должен быть по 20 мА.

Дальнейшую настройку лучше производить непосредственно по току коллектора транзистора VT3. На выходе УМ должна быть подключена нагрузка (эквивалент нагрузки) сопротивлением 75 Ом, а на вход нужно подать сигнал с частотой 1296 МГц.

Для контроля за настройкой контуров L10C18 и L9C16 нужно использовать измерительную линию, петля связи которой должна быть поочередно индуктивно связана с настраиваемой линией. Расстояние между настраиваемой линией и петлей связи измерительной линии должно быть порядка 3-5 мм (зависит от чувствительности детектора измерительной линии).

Одновременно желательно контролировать ВЧ вольтметром коллекторный ток транзистора VT3, который должен увеличиваться по мере настройки контуров L10C18 и L9C16. Настройкой конденсаторов С15 и С14 следует добиться максимальной величины коллекторного тока VT3.

После того как выполнен весь цикл настройки, коллекторный ток транзистора 3Т3 должен достичь значения 180-200 мА. Следует заметить, что этот ток зависит также от настройки коллекторной цепи транзистора VT3. При настройке коллекторной цепи в резонанс про-

исходит заметное уменьшение тока, вызванное наличием внутренней отрицательной обратной связи. Поэтому окончательное измерение тока транзистора VT3 надо сделать после того, как будет настроен весь передающий тракт. Ток должен быть равен 150-170 мА.

Регулировку межкаскадной связи между предоконечным и оконечным каскадами надо контролировать по току транзисторов VT1 и VT2. Последовательно подстраивая конденсаторы C11, C6 и C7, необходимо добиться максимальной мощности, подводимой к выходному каскаду.

Следует помнить, что конденсатор C11 входит в П-образный контур, в который также входят индуктивность выводов конденсатора C12, индуктивность вывода транзистора и емкость коллекторного перехода. Поэтому степень нагрузки предокоечного каскада следует регулировать, изменяя одновременно как емкость C12, так и параметры индуктивной ветви П-контура. Индуктивность можно изменять, передвигая вывод конденсатора C12 по коллекторному выводу транзистора VT3. В описываемой конструкции оптимальная связь была получена при длине выводов конденсатора C12 типа КТ около 1,5 мм и точке подпайки к коллекторному выводу, отстоящей на 1 мм от корпуса транзистора. Длина базовых выводов транзисторов VT1 и VT2 также влияет на входное сопротивление в точках подключения линий L5 и L6. В описываемом экземпляре УМ длина базовых выводов равна 5 мм. Изменением параметров базовых цепей, а также изменением волнового сопротивления четвертьволновых линий L5 и L6 надо добиться равенства токов, протекающих через транзисторы VT1 и VT2.

Для более точной настройки оконечного каскада к выходу УМ необходимо подключить измеритель мощности, в качестве которого можно использовать эквивалент нагрузки, описанный в главе 10. Для уменьшения КСВ нагрузку лучше подключить к УМ через отрезок кабеля с затуханием 4-6 дБ. Для более удобного подключения нагрузки к выходу УМ может быть применен отрезок линии, аналогичный линиям L5 или L6.

Настройка производится по максимуму мощности в нагрузке изменением емкости конденсатора C1 и индуктивностей выводов конденсаторов C2, C3. Ориентировочная длина выводов – 2 мм.

В конечном итоге были получены следующие результаты. Мощность в нагрузке 3 Вт при суммарном коллекторном токе транзисторов VT1 и VT2 – 350 мА. Низкий коэффициент полезного действия выходного каскада (28% при типовом значении 35%) объясняется, в частности, тем, что выходные транзисторы работают в линейном режиме усиления, с открывающим смещением.

ГЛАВА 10.
ПРИБОРЫ ДЛЯ НАСТРОЙКИ УКВ АППАРАТОВ

Налаживание УКВ аппаратов 242
Высокочастотный вольтметр 242
Высокочастотные пробники 245
Гетеродинный измеритель резонанса – волномер 246
Измерительная линия 249
Двухпроводные измерительные линии 250
Приборы для настройки радиоприемника .. 254
Точная настройка приемника 255
Простой маяк на 145 МГц 256
Маяк для трех диапазонов 257
Маяк на частоты ДМВ 259
Определение чувствительности приемника 261
Другие приборы и устройства 265
Эквивалент нагрузки 265
Приставка к КВ приемнику 266
Стенд для регулировки электронной настройки 268

НАЛАЖИВАНИЕ УКВ АППАРАТОВ

Налаживание УКВ аппаратуры представляет собой довольно сложный процесс, выполнить который можно только с помощью специальных измерительных приборов. Привожу краткий перечень самодельных приборов, необходимых при наладочных работах над аппаратами УКВ.

- ❑ высокочастотный вольтметр;
- ❑ гетеродинный измеритель резонанса и волномер;
- ❑ измерительная линия;
- ❑ генератор шума;
- ❑ генератор заданных частот;
- ❑ эквивалент нагрузки и другие приборы.

Высокочастотный вольтметр

Если у вас имеется любой марки мультиметр, предназначенный для измерения токов и напряжений в низкочастотных цепях, то вполне достаточным может оказаться применение с этим мультиметром специального ВЧ пробника. Возможная схема такого пробника описана в конце этого раздела.

Основательно решить проблему наличия высокочастотного вольтметра можно путем самостоятельного изготовления чувствитель-

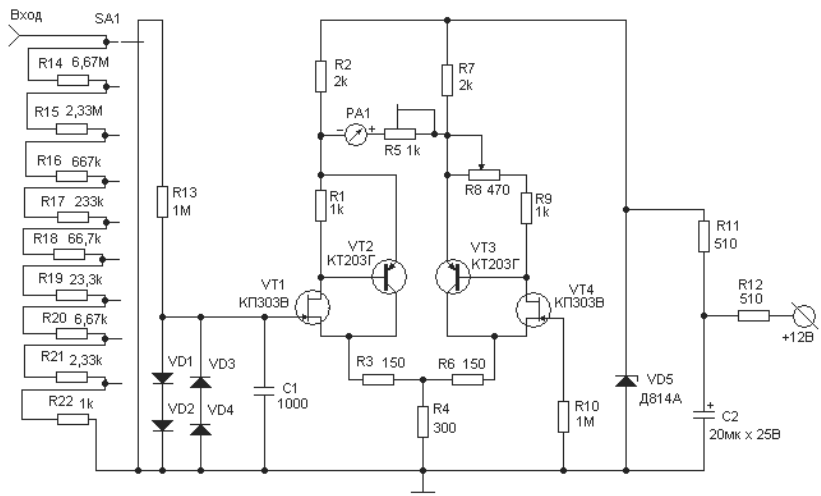


Рис. 10.1. Принципиальная схема милливольтметра

ного и стабильно работающего милливольтметра и дополнительного щупа-пробника, предназначенного совместно с этим милливольтметром делать измерения напряжения в высокочастотных цепях.

Для этих целей требуется измерительный прибор, обладающий большим входным сопротивлением и позволяющий измерять весьма малые напряжения постоянного тока. Таким требованиям отвечает предлагаемый милливольтметр, принципиальная схема которого изображена на рис. 10.1.

Входное сопротивление этого прибора составляет 10 МОм, рабочий диапазон разбит на девять поддиапазонов: 50, 150, 500 мВ, 1,5, 5, 15, 50, 150 и 500 В. Отсчет измеряемого напряжения ведется по стрелочному индикатору.

Прибор достаточно термостабилен – в комнатных условиях дрейф нуля (уход стрелки индикатора от нулевого положения) практически отсутствует. А при изменении температуры окружающей среды свыше 10°С не превышает 0,5%/°С от конечного значения шкалы.

Милливольтметр состоит из входного делителя напряжения, переключателя поддиапазонов, усилителя постоянного тока (УПТ), стрелочного индикатора и стабилизированного источника питания. Измеряемое напряжение положительной полярности (относительно общего провода) подается через коаксиальный разъем на делитель напряжения, составленный из резисторов R14-R22. Выбирают нужный поддиапазон измерения переключателем SA1. С подвижного контакта переключателя напряжение поступает на вход УПТ через фильтр R13C1, «срезающий» попадающие на вход прибора наводки переменного тока.

К усилителю постоянного тока милливольтметра предъявляются определенные требования: он должен обладать незначительным дрейфом нуля, большим входным сопротивлением и стабильным коэффициентом усиления. Для уменьшения дрейфа нуля УПТ выполнен по балансной схеме, и в нем применены так называемые композитные транзисторы, включающие полевой транзистор VT1 (VT4) и биполярный транзистор VT2 (VT3). Использование полевых транзисторов позволило получить большое входное сопротивление УПТ, а биполярных – большую крутизну вольт-амперной характеристики композитного транзистора, что повысило чувствительность прибора. Резисторы R1, R8, R9 обеспечивают необходимый режим работы композитных транзисторов. Для повышения стабильности коэффициента усиления УПТ и его линейности дополнительно введены резисторы R3 и R6. Нагрузками композитных транзисторов являются

резисторы R2 и R7, между которыми включен стрелочный индикатор PA1 с подстроечным резистором R5, предназначенным для калибровки усилителя. Для балансировки УПТ (установки PA1 на ноль) служит переменный резистор R8.

При указанных на схеме номиналах резисторов стрелка индикатора отклоняется до конечного деления шкалы (100 мкА) при подаче на вход УПТ напряжения 50 мВ.

Для защиты полевого транзистора VT1 от возможных перегрузок по напряжению установлены цепочки диодов VD1, VD2 и VD3, VD4 типа КД503Б.

Напряжение питания УПТ некритично и может быть от 9 до 12 В, потребляемый УПТ ток составляет примерно 3,5 мА. При желании УПТ можно питать от двух последовательно соединенных батарей «Крона», подключая их через выключатель к конденсатору С3.

В УПТ использованы полевые транзисторы КП303 с начальным током стока 3,8-4 мА и напряжением отсечки 1,8-2 В. Биполярные транзисторы – серии КТ203 со статическим коэффициентом передачи тока 90-100 (при токе коллектора 1 мА). Желательно подобрать одинаковые или возможно близкие по параметрам как полевые, так и биполярные транзисторы. Постоянные резисторы – МЛТ-0,25, переменный и подстроечный резисторы – СП-1, причем R8 желательно с функциональной характеристикой А (линейной). Резисторы входного делителя R14-R22 необходимо подобрать с точностью не хуже 1% на образцовом приборе. Выполнить это условие проще, если каждый резистор составить из двух (или более) последовательно соединенных резисторов.

Конденсатор С1 – КСО; С2 – К50-6. Вместо диодов КД503Б могут быть установлены любые маломощные кремниевые диоды с обратным сопротивлением не менее 50 МОм, вместо стабилитрона Д814Ф – Д811, Д810, Д814Г.

Налаживают прибор в следующей последовательности. Отсоединяют верхние по схеме выводы резисторов R2, R7 от источника питания. Включают прибор, миллиамперметром измеряют ток, протекающий через стабилитрон, и подбором резисторов R11 и R12 устанавливают его равным примерно 10 мА. Затем, предварительно отключив стрелочный индикатор, подключают резисторы R2 и R7 к источнику питания и устанавливают движок резистора R8 примерно в среднее положение. Подбором резистора R9 уравнивают напряжения на эмиттерах транзисторов VT2 и VT3 (или токи коллекторов этих транзисторов, а также токи истоков транзисторов VT1,

VT4). Подключают микроамперметр и резистором R8 устанавливают стрелку его на нулевую отметку шкалы.

Переключателем поддиапазонов выбирают предел измерений 50 мВ. Подают на вход прибора такое же напряжение (его контролируют образцовым прибором) и движком подстроечного резистора R5 устанавливают стрелку микроамперметра на конечное деление шкалы. Проверяют калибровку прибора на других поддиапазонах и при необходимости составляют таблицу погрешностей прибора либо более тщательно подбирают соответствующие резисторы входного делителя.

Высокочастотные пробники

Для измерения высокочастотного напряжения описанным выше милливольтметром на вход последнего нужно подключить высокочастотный пробник. Пробник представляет собой простейший диодный детектор (однополупериодный выпрямитель). Полученное на выходе пробника постоянное напряжение должно измеряться чувствительным милливольтметром. На рис. 10.2 приведена принципиальная электрическая схема пробника.

Величина емкости конденсатора C1 может быть от 200 до 1000 пФ, сопротивление резистора R1 выбирается в зависимости от измерительного прибора, с которым будет применяться этот пробник. Величина сопротивления R1 может быть от 20 КОм до 1МОм. Установить нужную величину R1 можно с помощью исправного фирменного ВЧ вольтметра. Фирменный ВЧ вольтметр и настраиваемый ВЧ вольтметр следует подключить к одному и тому же источнику ВЧ напряжения и подбирать резистор R1 до тех пор, пока и настраиваемый и фирменный приборы не станут показывать одну и ту же величину напряжения.

В качестве диода VD1 можно использовать любой из высокочастотных диодов. При необходимости измерений в СВЧ цепях в качестве VD1 можно попробовать обращенный туннельный диод.

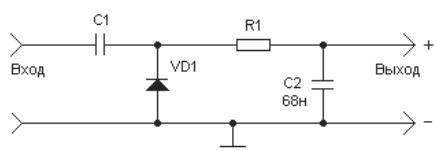


Рис. 10.2. Схема ВЧ пробника

Следует помнить, что с помощью пробника можно измерять только *малые величины ВЧ напряжения*, не превышающие величину пробивного напряжения диода. Если требуется измерять довольно большие величины напряжений, то вместо одного диода следует поставить цепочку из двух или трех последовательно соединенных однотипных диодов.

Пробник может быть размещен в небольшом металлическом цилиндре, соединенном электрически с корпусом измерительного прибора. Подвод к пробнику измеряемого напряжения должен производиться по коаксиальному ВЧ кабелю, а отвод выпрямленного напряжения к измерительному прибору – по экранированному проводу.

Гетеродинный измеритель резонанса – волномер

Это один из самых необходимых приборов для настройки на заданную частоту различных колебательных контуров. Многокаскадные гетеродины УКВ аппаратов можно настроить только при помощи этого прибора. Различные фирменные частотомеры во многих случаях оказываются бессильны там, где только простой волномер способен выполнить настройку.

В радиолюбительской литературе имеется много описаний различных конструкций этого прибора. Сначала гетеродинные измерители резонанса (ГИР) выполнялись на электронных лампах, затем было создано много разных вариантов на транзисторах. Обычно этот прибор включает в себя три функции:

- измерение частоты, на которую настроен проверяемый контур. Такое измерение проводится в том случае, если проверяемый контур «обесточен», то есть контур находится в аппаратуре с выключенным питанием. В таком случае ГИР работает как обычный генератор электромагнитных колебаний, но при этом колебательный контур этого генератора индуктивно связан с проверяемым колебательным контуром. Изменяя частоту излучающих ГИРом колебаний, следует наблюдать за показаниями стрелочного индикатора. Как только частота излучаемых колебаний станет равной частоте настройки проверяемого контура, произойдет резкое уменьшение показаний стрелочного индикатора;
- измерение частоты, излучаемой проверяемым колебательным контуром. Такое измерение проводится при проверке работающего генератора, например при настройке колебательного кон-

тура многокаскадного УКВ гетеродина. При этом ГИР должен работать в режиме волномера, то есть колебательный контур ГИРа должен быть индуктивно связан с проверяемым контуром, но входящий в состав ГИРа генератор должен быть выключен. Излучаемые проверяемым контуром электромагнитные колебания наводятся в контуре ГИРа, и, как только частота излучаемых колебаний станет равной частоте настройки контура ГИРа, наступает явление резонанса, и показания стрелочного индикатора резко возрастут;

- Генерируемые ГИРом электромагнитные колебания можно использовать для прочих целей как колебания любого измерительного генератора. То есть ГИР может использоваться как обычный генератор высокой частоты (ГВЧ).

На рис. 10.3 приведена принципиальная электрическая схема одной из конструкций радиолюбительского ГИРа.

В моей домашней лаборатории применяется ГИР, выполненный на электронной лампе. Прибор работает очень хорошо уже многие годы. Представленная на рис. 10.3 схема, по моему мнению, тоже может работать очень хорошо. Каскады на транзисторах VT3 и VT4 можно и не делать, потому что на практике работа в режимах, где используются эти каскады, проводится очень редко. Не буду приводить подробное описание этой конструкции, приведу далее только самые необходимые сведения.

При включении питания тумблером S1 запитывается усилитель постоянного тока на VT1, и прибор работает как обычный волномер. Диод VD3 и резистор R4 предохраняют стрелочный индикатор при

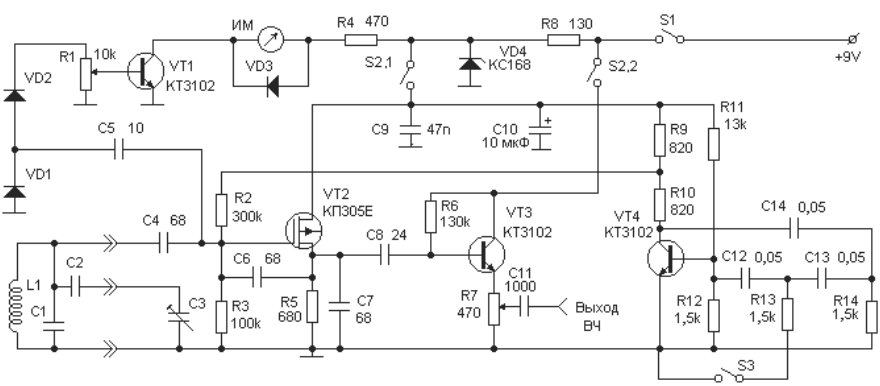


Рис. 10.3. Схема ГИР

«зашкаливании». Между базой транзистора VT1 и землей можно включить блокировочный конденсатор емкостью в несколько тысяч пикофарад, например 2200 пФ. Если приблизить сменную катушку L1 к контуру работающего генератора (гетеродин, ГПД), напряжение, наведенное в контуре L1, C1, C2, C3 и выпрямленное детектором на VD1 и VD2, вызовет отклонение стрелки прибора. При настройке L1, C1, C2, C3 на частоту генератора показания ИМ будут максимальны, и по шкале можно определить частоту генерируемых колебаний.

При включении S2 подается питание на остальную часть схемы, и прибор используется как гетеродинный индикатор резонанса или как генератор ВЧ колебаний. Генератор ВЧ собран на VT2, каскад на VT3 – эмиттерный повторитель для уменьшения влияния нагрузки на частоту генерации при подключении внешнего потребителя ВЧ энергии. На VT4 собран генератор звуковой частоты. При подключении к «общему» проводу R13 тумблером S3 генератор ЗЧ возбуждается, и осуществляется амплитудная модуляция ВЧ колебаний генератора на VT2. Такая схема позволила исключить изменение частоты генератора ВЧ при включении модуляции.

Прибор ИМ – стрелочный индикатор от любого магнитофона с током полного отклонения не более 250 мкА. Диоды VD1-VD3 могут быть любыми германиевыми, например Д2, Д9; в качестве VD3 желательно применить диод типа Д310. С3 – подстроечный конденсатор с воздушным диэлектриком 1КПВМ-1. К его оси припаян удлиняющий отрезок длиной 15 мм от оси переменного резистора СП-1. Транзистор VT2 – КП305 с любым буквенным индексом можно заменить на КП303, но при этом ухудшится стабильность частоты и уменьшится амплитуда колебаний на частотах 20-30 МГц. Транзисторы VT1, VT3 и VT4 – любые КТ3102, или другие кремниевые ВЧ: КТ312, КТ315 и т. п., VT4 и VT1 можно заменить и НЧ транзисторами. S1-S3 – тумблеры ТП1-2, R1 и R7 – СП3 – 23. Питание от аккумуляторной батареи 7Д-01.

К прибору изготавливается необходимое количество сменных контуров. Для получения растянутых поддиапазонов надо подобрать соответствующие емкости С2 и С1, при максимальном перекрытии по частоте они не используются. Для катушек волномера и ГИРа используются имеющиеся пластмассовые каркасы без сердечников. Намоточные данные не приводятся, так как они зависят от используемых каркасов, конструкции сменных контуров и желаемых поддиапазонов. Для примера, данные сменных контуров ГИР для поддиапазонов 1,8-2 МГц и 28-30 МГц, выполненных на каркасах диаметром 15 мм от

контуров приемника Р154 (сердечники удалены): 160 м – 40 витков, С2 – 39 пФ, С1 – 10пФ, 10 м – 4 витка, С2 – 27 пФ, С1 не используется. Намотка – виток к витку, провод ПЭЛ 0,25.

При настройке подобрать значение R5 по максимальной амплитуде ВЧ напряжения на наивысшей частоте генерации – по показаниям индикатора ИМ или ВЧ вольтметра (осциллографа), подключенного к разъему «Выход ВЧ». Затем проверить генерацию на наименьшей частоте и, если показания индикатора при максимальной чувствительности менее 1/3-1/2 шкалы прибора ИМ, несколько увеличить сопротивление R5. Подбором R6 установить ток коллектора VT3 равный 5-8 мА.

Градуировку шкалы лучше проводить в режиме ГИР, измеряя частоту выходного напряжения, которое снимают с разъема «Выход ВЧ» или по контрольному радиоприемнику.

Измерительная линия

На УКВ и сверхвысоких частотах вместо измерения частоты электромагнитных колебаний очень удобно измерять непосредственно их длину волны λ, связанную с частотой f формулой:

$$\lambda = c/f,$$

где c – скорость распространения электромагнитных волн в свободном пространстве, близкая к 300 000 км/с. В качестве волномеров на метровых и дециметровых волнах применяют измерительные линии, чаще всего выполненные на базе короткозамкнутых отрезков двухпроводной или коаксиальной линии, а на сантиметровых волнах – объемные резонаторы.

Измерительная линия представляет собой колебательную систему с распределенными по длине индуктивностью и емкостью. По сравнению с резонансными частотомерами она имеет меньшие потери на излучение и значительно большую добротность. Преимущественное применение измерительных линий на УКВ и СВЧ объясняется в основном конструктивными соображениями (длина линии должна быть одного порядка с длиной измеряемых волн).

Наряду с измерением длины волны, измерительные линии также применяются для взаимного согласования различных компонентов устройств СВЧ (антенн, колебательных систем, линий передачи) и измерения их параметров: полного и волнового сопротивлений, коэффициентов стоячей и бегущей волн и др.

Достоинством измерительных линий является простота их конструкции. Коэффициент перекрытия измеряемых линией длин волн обычно не превышает 1,5, а погрешность измерений достигает 0,1-1%.

Двухпроводные измерительные линии

Двухпроводные измерительные линии применяются для различных измерений резонансным методом на метровых и частично дециметровых волнах. Устройство линии показано на рис. 10.4.

Линия состоит из двух туго натянутых параллельных проводов, подвешенных через изоляторы к неподвижным опорам. Такими опорами могут служить, например, противолежащие стены помещения. Линии длиной до 2-3 м часто выполняются в виде переносных устройств с использованием в качестве опор стоек из изоляционного материала, установленных на деревянном основании. Параллельно проводам располагают шкалу, проградуированную в единицах длины. Чтобы избежать заметного излучения электромагнитных волн в пространство, расстояние между проводами линии не должно превышать 5% наименьшей измеряемой длины волны. Провода линий метрового диапазона волн взаимно удаляют на 5-30 см, на дециметровых волнах это расстояние уменьшают до 1-5 см. Вдоль линии может перемещаться металлическая перемычка (мостик) В, замыкающая практически накоротко провода линии; ее часто выполняют в виде

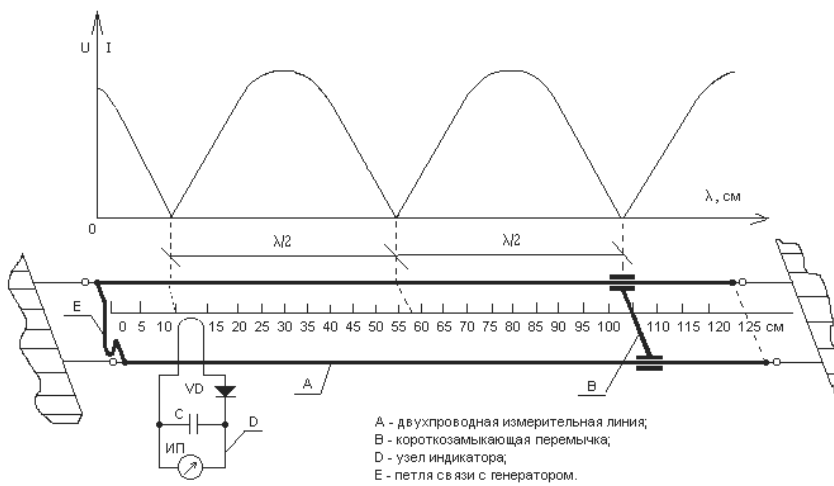


Рис. 10.4. Двухпроводная измерительная линия

пластины, экранирующей действующий участок линии от ее свободной части.

Начало линии посредством витка (петли) Е связывается индуктивно с источником колебаний, длина волны которых λ измеряется. При испытании маломощных генераторов допускается непосредственное соединение их выходных зажимов с входом измерительной линии посредством проводников или коаксиального кабеля (при этом виток связи от линии отключается). Линия связи должна быть согласована с измерительной линией, что достигается при равенстве их волновых сопротивлений. Поэтому измерительную линию обычно выполняют с определенным значением волнового сопротивления, определяемым формулой

$$\rho = 276 \lg (a/r),$$

где a – расстояние между центрами проводов линии, а r – радиус сечения проводов. Например, при a = 37 мм и r = 3 мм получаем ρ ≈ 300 Ом.

Под действием э. д. с., наводимой в витке связи, или напряжения, подводимого по кабелю от источника колебаний, в короткозамкнутой линии устанавливаются стоячие волны тока и напряжения. Распределение среднеквадратических значений тока I и напряжения U вдоль линии при фиксированном положении перемычки В примерно соответствует графику в верхней части рис. 10.4. На конце линии всегда имеет место пучность тока и узел напряжения. Пучность тока (напряжения), как и узлы, повторяются через интервалы, равные λ/2. Из-за наличия некоторых потерь в линии по мере удаления от ее начала амплитуда пучностей постепенно уменьшается.

Для определения пучностей служит стрелочный индикатор D, состоящий из высокочастотного диода VD, фильтрующего конденсатора С и магнитоэлектрического измерителя ИП. Если виток связи индикатора расположен параллельно проводам, то связь с линией носит индуктивный характер и индикатор реагирует на ток в линии; при расположении витка связи перпендикулярно проводам связь с линией приобретает емкостный характер и индикатор реагирует на напряжение между проводами. Индикатор можно связать с линией и через конденсатор малой емкости. Для регулировки чувствительности индикатора последовательно или параллельно с его измерителем включают переменный резистор.

При перемещении индикатора вдоль линии связь между ними трудно сохранять неизменной. Поэтому петлю связи индикатора ино-

гда закрепляют неподвижно в начальной части линии, а передвигают перемычку В, вместе с которой перемещается и вся картина распределения стоячих волн. Расстояние между двумя соседними положениями перемычки, при которых показания индикатора минимальны (или максимальны), равно, очевидно, 0,5λ.

Погрешность измерений оказывается наименьшей, если измерительную линию *настраивать в резонанс* с частотой исследуемых колебаний $f = c/\lambda$ посредством изменения длины ее короткозамкнутого участка. Резонансная настройка будет иметь место при длине последнего, кратной 0,5λ, т. е. при 0,5λ, λ, 1,5λ, 2λ и т. д. Задача измерения сводится к определению положений перемычки В при резонансных настройках.

Резонанс характеризуется сильным возрастанием энергии, отсасываемой измерительной линией от исследуемого генератора. При испытании маломощных автогенераторов реакция последних на резонансную настройку связанной с ними линии проявляется в резком изменении тока в цепях активного элемента – лампы или транзистора.

При отсутствии у генератора стрелочного индикатора резонанс можно обнаружить по наименьшей яркости свечения лампочки накаливания, индуктивно связанной с контуром генератора. Таким образом, при измерении *методом реакции* измерительная линия может не иметь индикатора.

В общем случае положения перемычки В, соответствующие настройке линии в резонанс, можно определять достаточно точно по наибольшей яркости свечения миниатюрной лампочки, включаемой в разрыв перемычки. Для этого перемычку составляют из двух металлических пластин, закрепленных на изоляционном основании и ребрами соприкасающихся с проводами линии, а лампочку помещают на изоляторе между пластинами. Лампочка реагирует на ток $I_К$ в пучности на конце линии, который при перемещении перемычки изменяется в соответствии с графиком на рис. 10.4. При резонансе ток $I_К$ резко возрастает (для линии без потерь он стремится к бесконечности); его амплитуда ограничивается сопротивлением перемычки и потерями в линии и по мере увеличения длины последней постепенно уменьшается. Вместо лампочки в разрыв перемычки можно включить термоэлектрический прибор.

В качестве примера практического применения измерительной линии для некоторых радиолюбительских случаев на рис. 10.5 приведена схема одного из вариантов описанной выше измерительной линии,

применяющаяся в моей домашней лаборатории. На этом рисунке измерительная линия показана схематично во время настройки колебательного контура, состоящего из емкости С и индуктивности L.

Конструктивно линия выполнена на деревянной рейке длиной 150 см. На концах рейки шурупами прикреплены пластмассовые изоляционные упоры, служащие для крепления проводов. На одном из концов рейки, который служит началом линии, между изоляционными стойками укреплена плата из одностороннего фольгированного стеклотекстолита с расположенными на ней элементами измерителя. В качестве измерительного прибора используется подключаемый во время измерений тестер ТЛ-4. К плате также припаяна петля связи, выполненная из отрезка одножильного провода в хлорвиниловой изоляции. Длина провода примерно 20 см. Указанные на схеме ВЧ дроссели имеют каждый по 14 витков провода ПЭЛ-0,4, намотанных на оправке диаметром 4 мм.

В начале измерений короткозамыкающая перемычка должна находиться в начале линии. Петлю связи нужно согнуть таким образом, чтобы на этой петле создать прямолинейный участок, длина которого должна быть немного меньше длины измеряемой индуктивности. Расположить рейку с длинной линией следует таким образом, чтобы прямолинейный участок петли связи располагался на удалении 1 - 2 мм от измеряемой индуктивности. При этом если в измеряемом контуре уже имеется высокочастотная энергия, то стрелка прибора должна немного отклониться от нулевого положения. Перемещать вдоль линии перемычку и наблюдать изменения показаний прибора. В нормальном случае, по мере перемещения перемычки, показания прибора должны изменяться от какой-то минимальной величины до какого-то максимума. Следует сразу обратить внимание, какие из по-

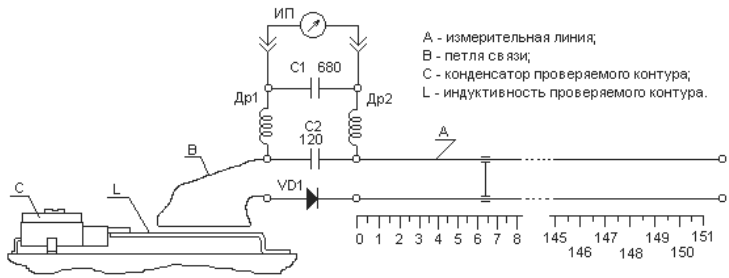


Рис. 10.5. Схема применения линии

казаний – максимумы или минимумы – являются более резко выраженными.

Для проведения измерения следует замерить расстояние между двумя соседними максимумами или минимумами. Полученная величина будет равна половине длины волны присутствующей в контуре ВЧ энергии. Для пересчета длины волны в частоту следует использовать формулу

$f = 30000/\lambda$,

где f – частота в МГц, λ - длина волны в сантиметрах.

Если измеренное расстояние между двумя соседними максимума равно 47 см, то длина волны будет равна: $\lambda = 47 + 47 = 94$ см.

При этом значение частоты будет равно: $30\,000 : 94 = 319{,}14$ МГц.

Для настройки контура в резонанс следует установить перемычку на положение максимума и изменять емкость контурного конденсатора С до наибольшей величины показаний измерительного прибора.

Приборы для настройки радиоприемника

Настройка радиоприемника или приемной части радиостанции представляет собой довольно сложный процесс, требующий и повышенного внимания и аккуратного исполнения. Весь процесс настройки УКВ приемника следует разбить на три этапа.

1. Сначала необходимо проверить правильность монтажа и работоспособность каждого каскада, начиная с самого низкочастотного, то есть начинать нужно с «конца» схемы.
2. Грубая настройка всех колебательных контуров, входящих в состав приемника. Эту настройку также следует начинать с «конца». Настройка обычно проводится по достаточно сильному ВЧ сигналу необходимой частоты, поданному на вход приемника.
3. Точная настройка всех контуров приемника, особенно УВЧ. Настройка проводится при подаче на вход приемника очень слабого, на уровне шумов, ВЧ сигнала необходимой частоты. Заключительным моментом настройки должно быть проведение измерения и выполнение расчета величины коэффициента шума УВЧ приемника.

Все эти этапы настройки можно выполнить с помощью самодельных измерительных приборов.

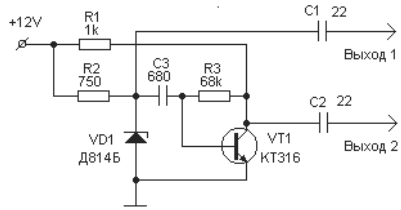


Рис. 10.6. Принципиальная схема простейшего генератора шума

Для проведения грубой настройки УКВ приемника или конвертера следует подать на его вход сигнал от простейшего генератора шума. Схема такого простейшего прибора приведена на рис. 10.6. Можно изготовить и использовать также несколько более сложный прибор, схема которого приведена на рис. 10.7.

При настройке конвертера 29 МГц или 145 МГц сразу же после подключения генератора шума на вход УВЧ на выходе приемника появится шумовой сигнал. Подстроечными органами (конденсаторами) следует добиться максимально возможного усиления шумового сигнала.

Таким путем можно выполнить только грубую настройку. Зачастую такая настройка оказывается достаточной. Точную настройку УКВ приемника или конвертера и проверку направленных свойств антенны можно выполнить с применением более сложных приборов.

Точная настройка приемника

В результате проведения точной настройки приемника следует добиться максимально возможной чувствительности этого приемного устройства.

Чувствительность приемного устройства – это один из самых главных параметров, определяющих потенциальные возможности всей

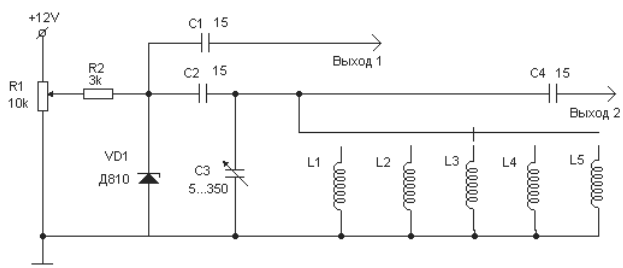


Рис. 10.7. Схема простого сигнал-генератора

работы создателя аппарата. Поэтому представляют большой интерес объективные методы определения и сравнения чувствительности различных приемников, доступные для проведения в любительских (домашних) условиях.

Самый доступный, а поэтому и самый распространенный способ определения качества приемника, – это прослушивание сигналов в эфире. Очевидно, что точность подобных оценок крайне мала, так как уровень сигнала удаленной радиостанции может изменяться в десятки и даже в сотни раз.

Простой маяк на 145 МГц

В случае, если надо сравнить два приемника или подстроить приемник по наилучшему отношению сигнал/шум, удобнее пользоваться источником сигнала, расположенным в пределах прямой видимости. Подобный маяк можно изготовить самому и расположить его у приятеля, проживающего в ближайшем доме, на расстоянии 100-500 м от вашей антенны. Мощность маяка должна быть такой, чтобы сигнал от него только в несколько раз превышал уровень шумов приемника. Тогда путем вращения антенны можно всегда подобрать необходимый уровень сигнала. Кроме того, такой источник полезен для постоянного контроля состояния не только приемника, но и антенно-фидерной системы. По маяку также можно проверить, не сбилась ли градуировка указателя поворота антенны, и оценить общую помеховую обстановку в эфире. В силу того, что требуемая мощность маяка очень мала (доли микроватта), его можно сделать достаточно экономичным и в течение длительного времени питать от сухих батарей.

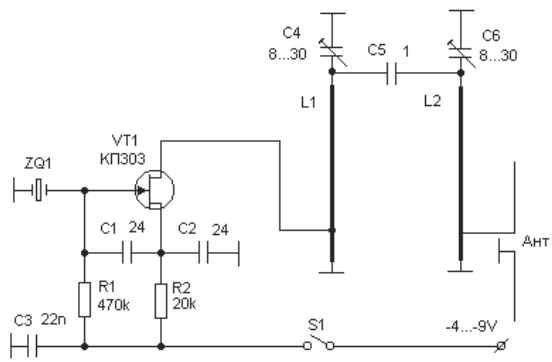


Рис. 10.8. Схема генератора сигналов

Один из возможных вариантов подобного генератора показан на рис. 10.8.

Генератор выполнен на полевом транзисторе и предназначен для диапазона 144-146 МГц. В схеме применен кварцевый генератор на частоту 12 МГц. Однако вместо кварцевого резонатора на частоту 12 МГц лучше применить кварц на частоту 24 МГц, но можно также применить резонаторы на любую субгармонику частоты 144 МГц. При этом может потребоваться некоторая коррекция емкости конденсаторов С1 и С2. Конструкция полосового фильтра L1C4-L2C6 такая же, как в конвертере для 145 МГц. Регулировка сводится к подбору режима с помощью резистора R2 и настройке полосового фильтра по максимуму сигнала. Генератор следует поместить в небольшую, герметически закрываемую или запаиваемую коробочку, снабженную дипольной антенной. Одна половина диполя (длиной $\lambda/4$) присоединяется к проходному изолятору, а вторая (также длиной $\lambda/4$) – к корпусу генератора.

Уровень сигнала надо подбирать перепайкой отводов на линиях L1 и L2 и уменьшением размера антенны.

Генератор потребляет ток не более 0,3 мА, поэтому двух батареек от карманного фонаря хватает для непрерывной работы в течение 3 месяцев и более.

Аналогичный генератор по этой же схеме можно сделать и на другие диапазоны, для этого стоит только изменить контуры L1C4 и L2C6 на контуры соответствующих диапазонов. Конструкции контуров нужного диапазона можно взять из описанных выше схем УКВ конвертеров.

Маяк для трех диапазонов

На рис. 10.9 приведена схема генератора, аналогичного предыдущему, но этот генератор излучает сразу три испытательных сигнала – сигнал с частотой порядка 144 МГц, сигнал с частотой 432 МГц и сигнал с частотой 1296 МГц. Эту схему создал радиолюбитель из г. Ярославля Н. Смирнов, UA3MDA.

Изображенная на этом рисунке схема мною несколько упрощена по сравнению с авторским вариантом.

Кварцевый генератор выполнен на полевом транзисторе VT1. В цепи затвора включен кварцевый резонатор на частоту 12,001 МГц, который связан с контуром через L2 полосового фильтра L2C2C3 – L1C1C3, настроенного на частоту 144,012 МГц. В цепи истока транзистора VT1 включен колебательный контур L4C5, настроенный на

частоту 36,003 МГц. L4 холодным концом соединяется с корпусом через L5 полосового фильтра L5C11C12 – L8C12C13, настроенного на частоту 432,036 МГц. В стоке транзистора VT1 – контур L3C4 настроен на частоту 108,009 МГц. Холодный конец L3 соединяется с корпусом по ВЧ через L7 полосового фильтра L7C6C8 – L8C8C10, настроенного на частоту 1296,108 МГц, и блокировочные конденсаторы C7 и C8. К выходам 1, 2 и 3 можно через куски коаксиального кабеля подсоединять дипольные антенны или петлю связи.

Если сигнал этого генератора используется в качестве маяка, то для удобства обнаружения сигнала маяка он может модулироваться каким-либо сигналом. UA3MDA использует в качестве модулятора электронный ключ на транзисторе КТ315, управляемый формирователем телеграфного кода буквы «Ж». Формирователь выполнен на микросхемах серии К561. На рис. 10.9 электронный ключ не показан.

Связь прибора с настраиваемым устройством осуществляется посредством измерительной антенны или петли связи на конце коаксиального кабеля, подключенного к одному из выходных разъемов.

Конструктивно маячок смонтирован на дне коробки глубиной 40 мм, спаянной из фольгированного стеклотекстолита толщиной 1,5 мм, сверху закрытой крышкой.

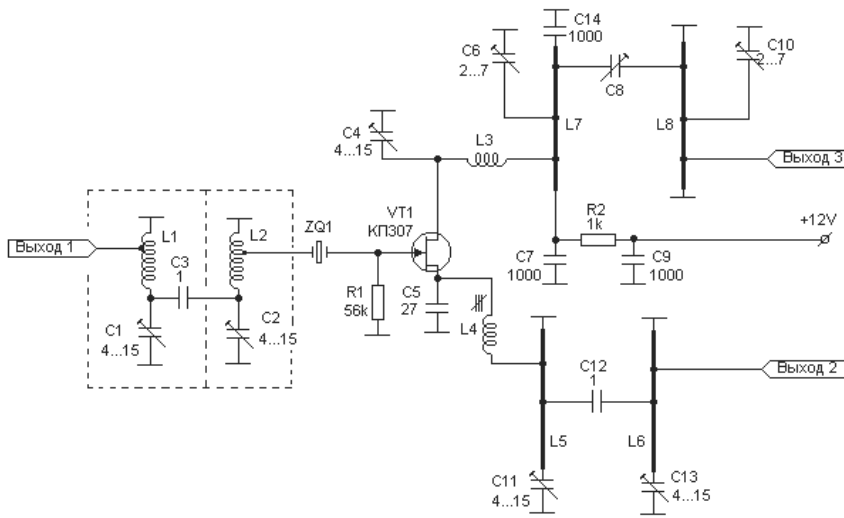


Рис. 10.9. Генератор испытательных сигналов

Конденсатор С8 конструктивно выполнен из куска провода диаметром 0,8-1,0 мм. Катушка L4 намотана на каркасе диаметром 5 мм проводом ПЭВ – 0,3 мм, число витков 18. Подстройка осуществляется сердечником из карбонильного железа с резьбой М4. Катушка L3 бескаркасная, намотана посеребренным проводом диаметром 0,8-1,0 мм на оправке диаметром 8 мм, число витков 6, длина намотки 15 мм.

В маячке применены конденсаторы типов КМ, КТ и КПК-М. Полевой транзисторVT1 можно заменить на КП303, но при этом снизится уровень излучаемого сигнала на частоте 1296 МГц. Выводы конденсаторов С6 и С7 должны быть минимальной длины. Настройка прибора заключается в подстройке контуров L4C5, L3C4 и полосовых фильтров на соответствующие частоты, перечисленные выше.

Маяк на частоты ДМВ

При налаживании радиолюбительских конструкций, работающих на частотах выше 1 ГГц (например, в любительском диапазоне 23 см), необходим генератор высокостабильного сигнала. Его нетрудно изготовить, если в распоряжении радиолюбителя имеется кварцевый резонатор на частоту 27-50 МГц.

Принципиальная схема генератора изображена на рис. 10.10.

Задающий генератор собран на транзисторе VT1, умножитель частоты – на диоде VD1. Необходимую гармонику исходного сигнала (например, 29-ю для любительского диапазона 23 см при использовании резонатора на частоту 45 МГц) выделяет контур L3C6.

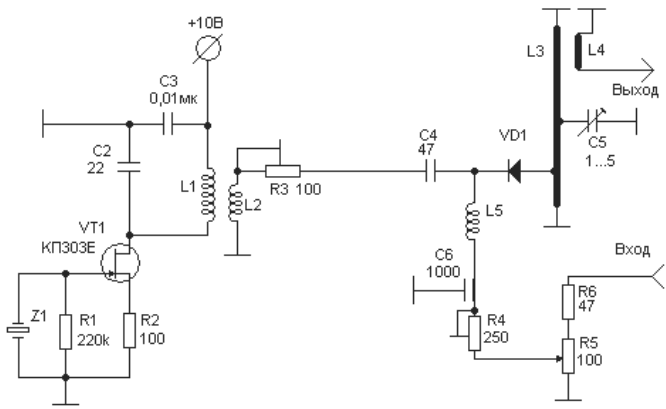


Рис. 10.10. Генератор сигналов ДМВ

Напряжение смещения на диоде VD1 создается автоматически. Его оптимальное значение (по максимальному сигналу требуемой гармоники) устанавливают подстроечным резистором R4. По этому же критерию подбирают (подстроечным резистором R3) уровень высокочастотного напряжения, поступающего на умножитель с задающего генератора. При необходимости выходной сигнал генератора можно промодулировать. Требуемый уровень модулирующего напряжения устанавливают переменным резистором R5.

В генераторе применен высокочастотный диод КД522 или КД514.

Колебательный контур L1C2 настраивают на частоту кварцевого резонатора. Конструкция катушек L1 и L2 некритична (отношение их чисел витков – около 10). Дроссель L5 представляет собой бескаркасную катушку (10 витков) диаметром 13 мм.

Элементы VD1, C4, C5, L3-L5 монтируют на плате из одностороннего фольгированного материала, располагая все детали со стороны фольги. Контур L3C6 представляет собой подстраиваемую конденсатором полуволновую линию. Ее размеры для любительского диапазона 23 см показаны на рис. 10.11.

Изготавливают линию из медной полосы, изгибают и припаивают оба ее конца к фольге. Петлю связи L4 сгибают из провода диаметром 1 мм и располагают в нескольких миллиметрах от лини L3.

Увеличив продольные размеры линии (пропорционально уменьшению рабочей частоты), описанный генератор можно использовать для настройки, например, телевизионных конвертеров ДМВ.

Питают генератор от стабилизированного источника напряжением 9-12 В.

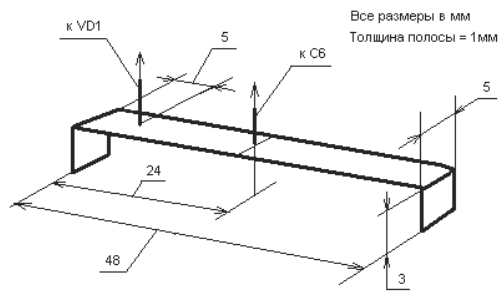


Рис. 10.11. Конструкция линии L3

Определение чувствительности приемника

Применение описанных выше вспомогательных источников сигнала позволяет достаточно объективно оценить чувствительность приемника. Но если вас интересует абсолютная оценка качества имеющегося приемника, выраженная в цифровых величинах, тогда следует серьезно заняться изучением методов измерения чувствительности. Как уже указывалось, наиболее универсальным параметром, позволяющим характеризовать чувствительность приемника, является коэффициент шума. Для измерения коэффициента шума необходимо иметь калиброванный источник шумового сигнала. В качестве такого источника нашел широкое применение ламповый диод, работающий в режиме насыщения анодного тока.

Промышленностью выпускается специальный диод типа 2Д2С, пригодный для шумовых измерений в диапазоне до нескольких сотен мегагерц. Основное достоинство подобного источника заключается в том, что имеется однозначная зависимость между интенсивностью генерируемого шума и анодным током диода. Эта зависимость описывается простым выражением:

$$N = 20{,}5 I_0 R k T_0,$$

Где N – мощность шума на единицу полосы пропускания, Вт/Гц; I_0 – анодный ток, А; R –сопротивление нагрузки, Ом; k – постоянная Больцмана; T_0 – температура окружающей среды (произведение kT_0

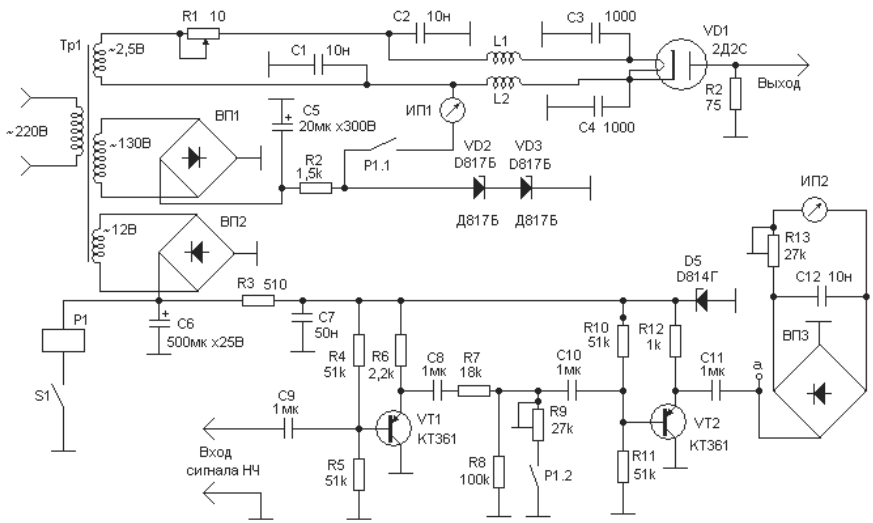


Рис. 10.12. Схема генератора шума

равно мощности тепловых шумов активного сопротивления, нагретого до температуры T_0); I kT_0 = 4*10-21 Вт/Гц; 20,5 – коэффициент, имеющий размерность 1/В.

Из формулы видно, что миллиамперметр генератора шума, измеряющий анодный ток шумового диода, может быть отградуирован непосредственно в единицах kT_0.

Достаточно подробно методика измерения шумовой характеристики УКВ приемника (или УВЧ конвертера) описана в [1] и другой специальной литературе.

На рис. 10.12 изображена принципиальная схема измерительного устройства, называемого генератором шума и предназначенного для измерения коэффициента шума (чувствительности) приемника.

Собственно генератор шума изображен в верхней части схемы. С верхней (по схеме) обмотки трансформатора Тр1 снимается напряжение 2,5 В переменного тока с частотой 50 Гц и через переменный резистор R1 и дроссели L1 и L2 подается на разогрев катода диода VD1.

Для создания условия прохождения через диод VD1 анодного тока служит выпрямитель высокого напряжения, выпрямляющий переменное напряжение (~130 В), полученное со средней обмотки трансформатора Тр1. На катод VD1 это выпрямленное напряжение подается в отрицательной полярности для того, чтобы анод диода VD1, подключенный к заземленному входу приемника, находился под положительным потенциалом. При этом условии через диод пойдет анодный ток, измеряемый миллиамперметром ИП1.

Чувствительность приемника измеряется с помощью шумового генератора следующим образом. Генератор подключают к входу приемника и с помощью ручной регулировки усиления резистором R1 устанавливают некоторый уровень шума на выходе УНЧ. Приемник должен работать в режиме приема телеграфных или SSB сигналов при отключенной АРУ. Если в приемнике есть регулировка полосы пропускания, то ее надо поставить в положение максимальной полосы. Индикатором выхода может служить тестер или любой другой прибор, предназначенный для измерения переменного напряжения и подключенный к выходу НЧ приемника.

Если в приемнике отсутствует режим приема телеграфных сигналов, то вольтметр надо подключить к выходу УПЧ.

После того как на индикаторе выхода установлен некоторый уровень шума, включают питание шумового диода и подбирают такой анодный ток, при котором произойдет удвоение мощности выходно-

го сигнала (показания вольтметра должны увеличиться в 1,41 раза). Это будет означать, что неизвестная мощность шумов, приведенная к входу приемника, сравнивается с известной мощностью шумового генератора. При этом полезно помнить, что мощность шумов, приведенная к входу, в данном случае складывается из собственных шумов приемника и тепловых шумов, которые генерируют активное сопротивление, входящее в состав диодного генератора. Таким образом, даже в идеальном приемнике, в котором собственные шумы вообще отсутствуют, мощность шумов, приведенная к входу, в данном случае равна 1 kT_o. Если же надо оценить собственные шумы приемника, то из полученной в результате измерений цифры надо отнять единицу. Например, у приемника, имеющего коэффициент шума 1,8, собственная мощность шумов составляет 0,8 kT_o.

Описанную ранее методику измерений можно несколько усовершенствовать. Дело в том, что на практике неудобно отслеживать по стрелочному прибору увеличение напряжения в 1,41 раза. При этом или каждый раз надо рассчитывать значение, которое требуется получить при включении генератора, или каждый раз устанавливать начальное напряжение на заранее нанесенную на шкале риску.

Значительно удобнее ввести в измерительную цепь делитель, подключаемый одновременно с подачей анодного напряжения на шумовой диод. Делитель надо настроить таким образом, чтобы при его подключении напряжение, поступающее на индикатор выхода, уменьшалось в 1,41 раза. При включении генератора это уменьшение компенсируется соответствующим увеличением шума приемника.

Схема такого делителя, состоящая из двух каскадов эмиттерных повторителей на транзисторах VT1 и VT2, показана в нижней части рис. 10.12.

Полная схема измерителя шума состоит из шумового генератора (VD1), измерительной схемы (VT1 и VT2) и блока питания на Тр1. Прибор работает следующим образом. В начальный момент, когда кнопка S1 отжата, контакт Р1.1 разомкнут и питание на диод VD1 не поступает. Шумовой сигнал с выхода приемника поступает на гнездо «Вход сигнала НЧ» и далее через эмиттерные повторители (VT1, VT2) и выпрямитель – на стрелочный индикатор ИП2. При нажатой кнопке S1 включается реле Р1 и на диод VD1 поступает анодное напряжение 120-150 В. Ток диода можно регулировать переменным резистором R1. Одновременно с этим контакт Р1.2 подключает нижнее плечо делителя напряжения, который обеспечивает ослабление шумового сигнала на 3 дБ.

Настройка прибора сводится к регулировке делителя с помощью подстроечного резистора R10. Для этого на гнездо «Вход сигнала НЧ» надо подать синусоидальный сигнал и по вольтметру, подключенному к точке *а*, добиться, чтобы при нажатии кнопки выходное напряжение уменьшалось в 1,41 раза. Конструкция измерителя не имеет особенностей. Важно только обеспечить минимальную длину выводов резистора R2 и конденсаторов С3 и С4. При этом для предотвращения внешних наводок желательно снабдить диод VD1 отдельным экраном.

Дроссели L1 и L2 имеют по 20 витков провода ПЭВ2-0,64. Диаметр каркаса 4-5 мм. Прибор ИП1 – миллиамперметр со шкалой 5-10 мА, ИП2 – миллиамперметр 50-200 мкА. Реле Р1 типа РЭС-9. Вместо диодов VD2, VD3 можно применить газоразрядный стабилитрон СГ1П. Выпрямительные мосты ВП1-ВП3 выбирать по величине выпрямляемого напряжения.

Процедура измерения коэффициента шума данным прибором очень проста. Нажимая и отжимая кнопку S1, надо с помощью резистора R1 добиться неизменных показаний стрелочного индикатора ИП2. Коэффициент шума отсчитывается по миллиамперметру ИП1. С помощью прибора можно легко найти оптимальное положение элементов настройки входной цепи приемника. Для этого надо нажимать кнопку S1 с периодичностью 0,5-1 с и, подстраивая входную цепь, следить по индикатору ИП2 за изменением коэффициента шума. Прибор пригоден для абсолютных измерений коэффициента шума в КВ диапазонах, а также в диапазонах 144 и 432 МГц. В диапазоне 1296 МГц шумовой генератор дает большую погрешность и годится только для относительных измерений.

ДРУГИЕ ПРИБОРЫ И УСТРОЙСТВА

Эквивалент нагрузки

Эквивалент нагрузки является необходимым прибором при настройке усилителей мощности. Для настройки мощных выходных усилителей и одновременного измерения выходной мощности оконечного каскада к эквиваленту нагрузки добавляется простейшая схема с измерительным прибором.

К эквиваленту нагрузки предъявляются два основных требования:

- эквивалент нагрузки должен иметь величину входного сопротивления, равную величине сопротивления фидера антенны, которая применется с данным усилителем мощности;
- эквивалент нагрузки должен выдерживать подводимые к нему мощности в соответствии с расчетной мощностью выходного каскада усилителя мощности.

Эквивалент нагрузки подключается к выходу усилителя мощности во избежание выхода из строя транзистора выходного каскада. Выход передающего тракта всегда должен быть подключен к нагрузке, соответствующей волновому сопротивлению фидера.

Эквивалент нагрузки можно изготовить самостоятельно, соединив параллельно несколько двухваттных резисторов типа МЛТ. Для настройки усилителей с выходной мощностью до 5 Вт это могут быть, например, четыре резистора по 300 Ом, если предполагается использовать фидер с волновым сопротивлением 75 Ом, или шесть резисторов по 300 Ом, если сопротивление фидера 50 Ом. Схема эквивалента нагрузки показана на рис. 10.13.

Эквивалент нагрузки снабжен диодным детектором, позволяющим контролировать выходную мощность передатчика.

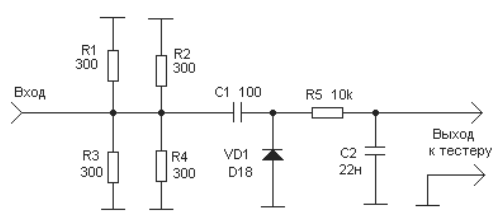


Рис. 10.13. Схема эквивалента нагрузки

Нагрузочные резисторы и детектор помещаются в небольшую металлическую коробочку, снабженную высокочастотным разъемом. Резисторы R1-R4 располагаются в виде звезды относительно разъема и должны иметь минимальную длину выводов. Если детектор снабдить собственным стрелочным индикатором, то мы получим автономный прибор – простейший измеритель мощности. При этом желательно ввести переключатель, изменяющий сопротивление резистора R5, а следовательно, и предел измерения мощности.

Приставка к КВ приемнику

Для точной настройки колебательных контуров, находящихся в составе каскадов многокаскадного УКВ гетеродина, существует несколько методов. Ранее уже были рассмотрены такие приборы, как ГИР и измерительная линия, с помощью которых можно достаточно легко настроить контуры в каскадах гетеродина.

Если размеры катушек контура выдержаны достаточно точно, а подстроечные конденсаторы находятся примерно в среднем положении, опасность настройки фильтра на неправильную гармонику невелика. Однако если изменены размеры катушек или частота кварцевого генератора, полезно тем или иным способом проверить правильность настройки.

Один из способов настройки контуров гетеродина описан в [1]. Этот способ предполагает использовать для настройки контуров коротковолновый связной радиоприемник.

Если приемник может работать в нужном диапазоне частот, то к входу приемника надо подключить отрезок провода, другой конец которого поднести к настраиваемому контуру. При вращении под-

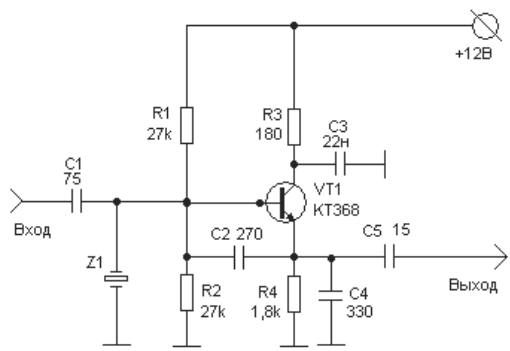


Рис. 10.14. Схема измерительной приставки

строечного конденсатора этого контура максимум громкости сигнала должен совпадать с настройкой контура на нужную частоту. Возможности такого метода проверки ограничены тем, что большинство связных приемников имеет диапазон рабочих частот не более 25 МГц. Расширить диапазон принимаемых радиоприемником частот можно с помощью простейшей приставки, схема которой показана на рис. 10.14.

Приставка представляет собой кварцевый автогенератор, выполненный на транзисторе КТ368. Практически приставка является конвертером с исключительно большой полосой пропускания по входу. Дело в том, что одновременно транзистор VT1 выполняет функции смесителя, работающего на гармониках частоты кварцевого автогенератора.

При проведении измерений по настройке контуров гетеродина выход приставки с помощью отрезка кабеля подключается к входу коротковолнового приемника, а вход приставки с помощью короткого отрезка монтажного провода надо связать с контуром настраиваемого умножителя. Для этого достаточно изолированный конец монтажного провода поднести а «горячему» выводу контура. Или к входу приставки подключить кусок тонкого коаксиального кабеля, а на втором конце этого кабеля сделать небольшую короткозамкнутую петлю и расположить ее в непосредственной близости от настраиваемого контура.

В силу того что в приставке отсутствуют селективные цепи, прием происходит одновременно на многих гармониках автогенератора. Разобраться в многообразии сигналов помогает то, что заранее известны частоты кварцевого генератора гетеродина и кварцевого генератора приставки. В приставке можно применить любой кварцевый резонатор с собственной частотой от 8 до 15 МГц.

В качестве примера рассмотрим процесс настройки контура на частоту 61,5 МГц. Пусть в приставке использован кварцевый резонатор на частоту 9620 кГц, а проверка кварцевого генератора настраиваемого гетеродина показала, что его частота составляет 20 504 кГц. В этом случае сигнал на выходе утроителя будет иметь частоту 61 512 кГц. Такой сигнал можно прослушивать, используя четвертую или пятую гармонику гетеродина приставки. В первом случае сигнал следует искать на частоте 61 512 - 9620 × 4 = 23 032 кГц. Во втором случае, который подходит для приемников, имеющих более узкий рабочий диапазон, сигнал надо искать на частоте 61 512 - 9620 × 5=13 412 кГц.

Таким образом можно контролировать правильность настройки умножителей до частот 400-500 МГц.

Очень удобно в приставке использовать кварц на 10 МГц. Чтобы понять преимущество такого варианта, рассмотрим конкретный пример. У меня имеется древний связной радиоприемник Р-250М, который позволяет прослушивать КВ диапазоны с частотами от 1,5 до 25,5 МГц. Если на вход этого приемника подключить описываемую приставку с кварцем 10 МГц, то первая гармоника этого кварца позволит мне прослушивать дополнительно частоты от (1,5 + 10) = 11,5 до (25,5 + 10) = 35,5 МГц. Вторая гармоника кварца позволит мне прослушивать на приемнике Р-250М частоты от (1,5 + 10 × 2) = 31,5 до (25,5 + 10 × 2) = 45,5 МГц и так далее. Десятая гармоника кварца позволит мне прослушивать частоты от (1,5 + 10 × 10) = 101,5 до (25,5 + 10 × 10) = 125,5 МГц. Считается, что эффективными могут быть до тридцатой гармоники и более.

В принципе, диапазон частот приставки можно еще более расширить, если применить более высокочастотный транзистор и уменьшить емкость конденсаторов С2, С4.

Стенд для регулировки электронной настройки

Электронная перестройка контура генератора в пределах заданного диапазона частот может достаточно просто осуществляться в широких пределах при помощи диодов типа Д220, Д223 и других. Если задаться целью освоить использование в системе электронной перестройки простых выпрямительных диодов вместо варикапов, то следует сделать простейший испытательный стенд, схема которого показана на рис. 10.15.

В качестве измерительного прибора ИП1 мною используется цифровой мультиметр китайского производства, установленный для работы в качестве измерителя частоты. Обозначение мультиметра

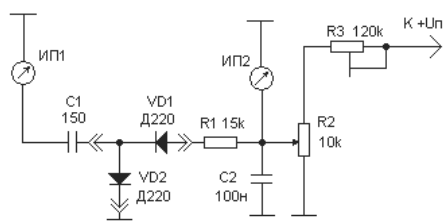


Рис. 10.15. Схема испытательного стенда

DT9502. Имеющийся у меня мультиметр может измерять токи, напряжения, емкости и параметры транзисторов. Другие модификации этого прибора могут измерять и частоту.

В качестве ИП2 используется стрелочный вольтметр постоянного напряжения. Конденсатор С1 подключается последовательно с измеряемой емкостью с целью уменьшить диапазон емкостей измеряемых диодов. Считаю, что с этим конденсатором проводимая на стенде работа становится более наглядной. Величину емкости С1 можно увеличивать до 510 пФ.

Остальные элементы, по моему мнению, в пояснениях не нуждаются.

Работа проводится следующим образом. На стенд подключаются исследуемые диоды и подается напряжение питания порядка 5-10 В. Резистором R3 величину подаваемого на диоды напряжения можно регулировать в широких пределах. Движок резистора R2 устанавливается в нижнее по схеме положение, при этом на диоды напряжение не подается. Берем листок бумаги и записываем показание ИП1 при напряжении на диодах 0. Затем движком резистора устанавливаем на исследуемых диодах напряжение 0,1 В. Величину напряжения контролируем вольтметром ИП2. Записываем величину емкости, соответствующую данному напряжению.

Затем устанавливаем попеременно на диодах напряжения 0,2, 0,3, 0,4 В и т.д. и для каждого из этих напряжений записываем соответствующую величину емкости.

После этого сделанные записи можно оформить в виде графика, как это сделано мною на рис. 11.3 (см. главу 11).

Точно таким же образом на этом испытательном министенде можно проверить работу варикапов или каких-то других диодов.

ЧАСТЬ 2.
РАЗЛИЧНЫЕ УКВ-РАДИОАППАРАТЫ

УКВ ЧМ радиоприемники 271
УКВ радиопередатчики..... 303
УКВ ЧМ радиостанции 323

ГЛАВА 11.
УКВ ЧМ РАДИОПРИЕМНИКИ

Самый простой радиоприемник 273
Пример расчета электронной настройки .. 277
Другой вариант МС К174ХА34 279
Простой приемник для диапазона 145 МГц..... 280
Изменяем схему конвертера 285
Приемник с МС К174ПС1 287
УКВ приемник для диапазона 432 МГц .. 288
Настройка радиоприемника 292
Если нет транзистора... 295
Малошумящие транзисторы..... 296
О микросхеме К174ХА42 296
Предельно допустимые значения параметров 299
Цоколевка МС К174ХА42А: 302

В первой части этой книги вы познакомились со всеми основными составными частями любого УКВ приемного или передающего аппарата. Следующим этапом освоения процесса создания в домашних (любительских) условиях УКВ аппаратов нужно научиться своими руками создавать эти аппараты.

В этой главе мною приведены принципиальные электрические схемы простых радиоприемников, которые могут быть самостоятельно изготовлены радиолюбителями, начинающими осваивать УКВ, из описанных ранее блоков. На рис. 11.1 представлена блок-схема каждого из описанных ниже радиоприемников.

Блок 1 – это усилитель высокой частоты (УВЧ), блок 2 – смеситель сигналов ВЧ, блок 3 – многокаскадный гетеродин, блок 4 – дополнительный каскад усиления промежуточной частоты, блок 5 – ЧМ радиоприемник на МС К174ХА34, блок 6 – усилитель сигналов низкой частоты (УНЧ), Гр – громкоговоритель.

В качестве блока 6 рекомендую использовать УНЧ, выполненный на микросхеме К174УН7, описанный в главе 1, или аналогичный на К174УН4.

МС К174ХА34, обозначенная как блок 5, описана в главе 2. Можно также в качестве блока 5 использовать МС К174ХА42, описание которой находится в конце этой главы. Можно использовать и другие простейшие УКВ ЧМ приемники, например простой УКВ приемник с ФАПЧ, схема которого показана на рис. 2.7.

Блок 4 не является обязательным.

Блоки 1, 2 и 3 во всех описанных ниже радиоприемниках объединены в одно устройство, которое называется «УКВ конвертер». В приведенных ниже описаниях всех УКВ ЧМ радиоприемников изменяется только схема УКВ конвертера.

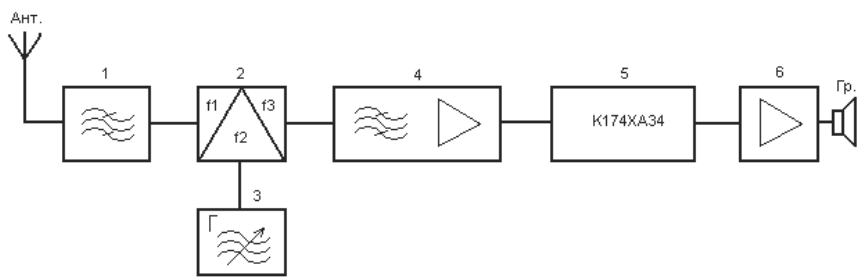


Рис. 11.1. Блок-схема радиоприемника

Всегда нужно помнить основное правило – начинать освоение любого дела следует с самого простого варианта. Самым простым УКВ ЧМ радиоприемником может быть приемник, сделанный на базе микросхемы К174ХА34 (TDA 7021). Если у вас нет никакой возможности приобрести эту микросхему, то начинать следует с простого УКВ ЧМ радиоприемника с ФАПЧ (рис. 2.7).

Всегда нужно помнить и еще одно правило – прежде чем начать изготовление УКВ приемника или УКВ конвертера, следует решить вопрос о том, какой генератор вы будете использовать для точной настройки приемника на нужный диапазон частот.

САМЫЙ ПРОСТОЙ РАДИОПРИЕМНИК

Самый простой УКВ радиоприемник можно создать с использованием только одной микросхемы К174ХА34 (TDA 7021).

На этой микросхеме можно собрать УКВ ЧМ радиоприемник с отличным качеством сигнала, на который можно будет принимать не только местные, но и достаточно удаленные радиостанции.

Если делать УКВ радиоприемник только на одной микросхеме, то вы можете получить аппарат со следующими параметрами:

- ❑ Напряжение питания, В 3-4
- ❑ Чувствительность (не хуже), мкВ/м 5
- ❑ Потребляемый ток (не более), мА 6
- ❑ Сопротивление нагрузки (не менее), Ом 8
- ❑ НЧ напряжение на выходе, мВ 300
- ❑ Отношение сигнал/шум (не менее), дБ..... 40

Для начала сделаем на этой МС УКВ ЧМ радиоприемник для приема сигналов вещательных радиостанций, работающих в диапазоне частот 65-74 МГц (или 88-108 МГц, на ваше усмотрение).

Выбор этих широковещательных УКВ диапазонов сделан по той причине, что сигналы работающих здесь станций очень громкие и отпадает необходимость в создании специального генератора сигналов для настройки приемной аппаратуры на диапазон. Для начинающего создателя УКВ приемной аппаратуры это очень важно.

Из материала в главе 2 этой книги и рис. 2.8 вы уже имеете представление о том, что МС 174ХА34 содержит в своем составе гетеродин, усилитель ПЧ, частотный детектор с ФАПЧ и предварительный усилитель НЧ.

Схема простейшего УКВ ЧМ радиоприемника на частоты диапазона 65-74 МГц (или 88-108 МГц) показана на рис. 11.2.

Если вы сравните схему, изображенную на рис. 2.8, со схемой рис. 11.2, то заметите, что это практически одна и та же схема, различия не существенны. Рассмотрим подробнее работу схемы простейшего УКВ ЧМ радиоприемника.

Питание микросхемы осуществляется с помощью простого стабилизатора, выполненного на транзисторе VT1. В данном варианте применен стабилитрон из числа тех, что имелись на тот момент у автора. Вместо стабилитрона VD1 типа Д814 можно поставить любой другой стабилитрон, рассчитанный на меньшую величину напряжения. Можно вообще стабилитрон заменить цепочкой из двух или трех диодов типа Д220. При этом диоды должны включаться в противоположной полярности. Главное заключается в том, чтобы подобрать резистор R2 такой величины, чтобы на этом резисторе был погашен весь избыток напряжения и чтобы на микросхему было подано не более +3,5 В. Подбирать величину резистора R2 нужно начиная с большого номинала. Можно сделать стабилизатор на микросхеме КР115-7УР501 или аналогичной.

Контур гетеродина включается между источником питания и выводом 5 микросхемы.

На схеме показано, что контур гетеродина настраивается конденсатором переменной емкости С7. Это один из возможных вариантов,

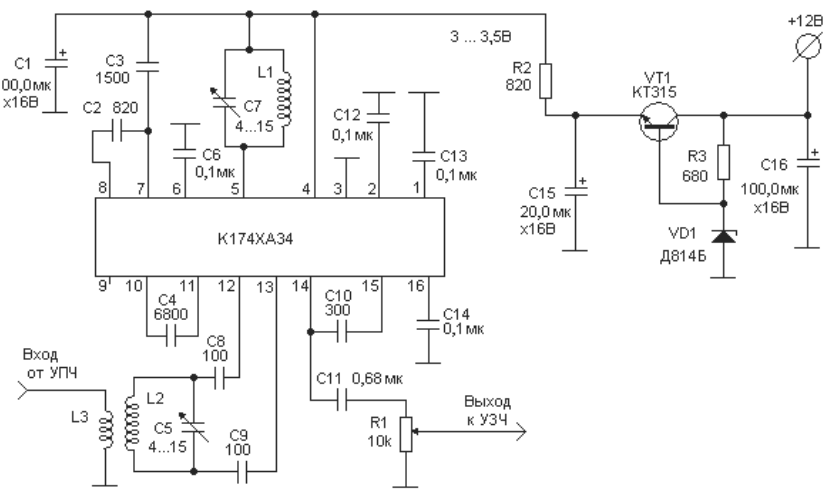


Рис. 11.2. Схема простейшего УКВ ЧМ приемника

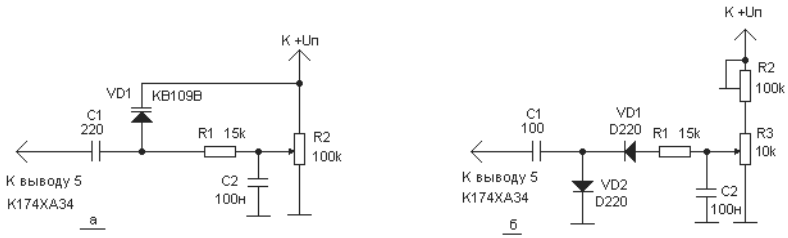


Рис. 11.3. Схема электронной настройки

недостатком которого является то, что ручку настройки С7 нужно каким-то удлинителем выводить на переднюю панель приемника. Если у вас имеется варикап типа КВ109В, то очень просто можно сделать электронную настройку на частоты принимаемых радиостанций. Схема простой электронной настройки показана на рис. 11.3

На рис. 11.3 показаны два возможных варианта выполнения электронной настройки. Первый вариант является основным, и только в том случае, если у вас нет варикапа, можно пойти на выполнение второго варианта. Диоды VD1 и VD2 следует подбирать по наибольшей ширине диапазона настройки.

Рассчитать элементы электронной настройки вам поможет графическая зависимость величины емкости (в пФ) в точке соединения диодов VD1 и VD2 от величины поданного от резистора R3 напряжения (в В). Кривая на графике рис. 11.4 как раз и показывает эту зависимость.

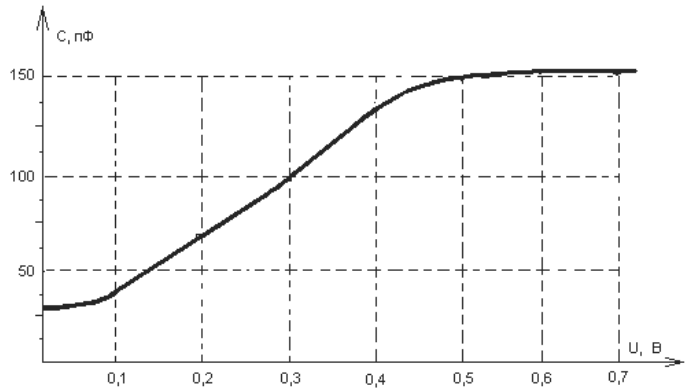


Рис. 11.4. График зависимости емкости диодов от напряжения

Мною проведены несколько экспериментов с различными парами диодов типа Д220 и Д223. Эксперименты проводились на испытательном министенде, схема которого показана на рис. 10.15. Во всех случаях зависимость, показанная на рис. 11.4, практически оставалась неизменной. Так что емкость пары диодов изменяется в пределах от 35 до 150 пФ только при изменении подаваемого на эту пару диодов напряжения в пределах от нуля до 0,6 В.

Регулировать величину емкости, подаваемой в контур при электронной настройке, можно изменением емкости С1. Рассчитать величину емкости С1, подключаемой последовательно с емкостью диодов, можно с помощью программы INDUKTIW (см. Приложение 3).

В случае подключения электронной настройки конденсатор С7 будет служить для установки верхней частоты диапазона.

Катушка L1 может иметь 10-12 витков для диапазона частот 65-74 МГц, а для диапазона 88-108 МГц L1 должна иметь 5-8 витков. В обоих случаях катушка L1 наматывается проводом ПЭЛ 0,5 на оправке диаметром 3,5 мм. Оправкой может служить хвостовик сверла Ø 3,5 мм. После намотки катушка растягивается в длину таким образом, чтобы между витками был зазор в 1 мм.

К выводам 12 и 13 микросхемы через конденсаторы С8 и С9 включается контур входного сигнала L2C5. На этот контур через катушку связи подается сигнал от антенны или от предварительного усилителя высокой частоты. Катушка L1 может иметь 5-8 витков для диапазона 65-74 МГц и 4-6 витков для диапазона 88-108 МГц. Катушка наматывается на оправке Ø 3,5 мм проводом ПЭЛ 0,5. Контур L2C5 подстраивается конденсатором С5 на середину нужного вам диапазона. После намотки катушка растягивается в длину таким образом, чтобы между витками был зазор в 1 мм.

Катушка связи L3 в любом варианте имеет 3 витка и намотана поверх катушки L2 (точно по центру L2). Провод может быть ПЭЛ 0,3.

Выход сигнала к усилителю низкой частоты производится от вывода 14 микросхемы через конденсатор С11 и переменный резистор R1. К этому выходу могут быть подключены головные телефоны (наушники). Если вам необходим громкоговорящий прием сигналов радиостанций, то необходимо сделать дополнительный УНЧ. Это может быть УНЧ по схеме рис. 1.3 или рис. 1.4. Или любой другой УНЧ.

Настройка устройства может быть выполнена следующим образом. Контур L2C5 отсоединить от конденсаторов С8 и С9. Свободный

вывод конденсатора С9 соединить с корпусом, а через конденсатор С8 подать на вывод 12 микросхемы ЧМ сигнал необходимой частоты. Если генератора на нужную частоту нет, то к конденсатору С8 нужно подсоединить или внешнюю УКВ антенну (можно телевизионную), или просто длинный провод, который будет служить антенной для приема сигналов местных вещательных радиостанций нужного диапазона. Подстройкой конденсатором С7 следует добиться появления отдетектированного НЧ сигнала на выходе резистора R1. В случае необходимости нужно установить параллельно L1 дополнительный конденсатор или изменить число витков катушки L1.

После настройки контура гетеродина подключается входной контур L2C5 и настраивается по максимуму сигнала на выходе. При этом сигнал с нужной частотой подается на катушку L3 через конденсатор очень малой емкости. В конечном варианте к катушке L3 подсоединяется антенна, предназначенная для приема сигналов в нужном диапазоне частот.

Пример расчета электронной настройки

Для расчета элементов контура гетеродина представим, что нам необходимо выполнить электронную настройку в пределах любительского диапазона 142-146 МГц. В качестве варикапа будет использоваться система из двух диодов типа Д220. Будем считать, что нами так подобраны величины сопротивлений дополнительных резисторов, что на диоды будет подаваться напряжение от 0,1 до 0,4 В, что будет соответствовать емкостям от 50 до 140 пФ.

Запускаем программу INDUKTIW2 и на первой страничке этой программы вводим в соответствующие окна редактирования среднюю частоту диапазона 145 МГц и примерную величину емкости контура 15 пФ. Нажимаем на клавишу «Выполнить расчет» и получаем необходимые величины, в том числе и главную для нас величину индуктивности контура на средней частоте (0,08 мкГн).

Далее нажимаем клавишу «Запомнить индуктивность». Здесь имеется в ввиду, что нужно *запомнить индуктивность контура на средней частоте диапазона,* с которой будем далее иметь дело. В нижнем окне редактирования появляется занесенная в память величина индуктивности 0,08 мкГн.

Определяем минимальную емкость контура гетеродина, соответствующую самой высокой частоте диапазона 146 МГц. Для этого вводим в окно редактирования новое значение частоты (146 МГц), очищаем окно с индуктивностью и нажимаем клавишу «Выполнить

расчет». В результате этого действия нами получено новое значение индуктивности контура, которое будет соответствовать верхней частоте диапазона. Нажимаем клавишу «Расчет емкости» и записываем на листок бумаги полученную величину минимальной емкости контура 14,8 пФ.

Определяем максимальную емкость контура, соответствующую самой низкой частоте диапазона 144 МГц. Вводим в окно редактирования новое значение частоты (144 МГц), очищаем окно с индуктивностью и нажимаем клавишу «Выполнить расчет». В результате этого действия нами получено новое значение индуктивности контура, которое будет соответствовать нижней частоте диапазона. Нажимаем клавишу «Расчет емкости» и записываем на листок бумаги полученную величину максимальной емкости контура 15,2 пФ.

Теперь переходим на шестую страничку программы, которая называется «Конденсатор». Здесь мы должны определить величину емкости конденсатора С3, подключаемого последовательно с емкостью электронной настройки С1. Емкость С3 должна быть такой величины, чтобы обеспечить электронную перестройку частоты в пределах 15,2 – 14,8 = 0,4 пФ.

Вводим в соответствующие окна редактирования конденсатора С1 величины минимальной (50 пФ) и максимальной (140 пФ) емкостей. В окно для емкости С2 вводим цифру 0, в окно для С2 вводим какую-то величину, например, 10. Нажимаем клавишу «Выполнить расчет» и получаем величины минимальной и максимальной емкостей итоговой емкости С0 8,333 и 9,333 пФ. Если найти разность этих величин, то получим 9,333 – 8,333 = 1,0 пФ, что значительно больше необходимой нам величины 0,4 пФ. Этот вариант не подходит, нужно попробовать другую величину емкости С3.

Вводим величину С3, равную 5, после нажатия клавиши «Выполнить расчет» получаем величины 4,545 и 4,828 пФ. Находим разность 4,828 – 4,545 = 0,282 пФ. Эта величина много меньше необходимой. Пробуем ввести С3 = 7, получаем величины 6,667 и 6,14 пФ. 6,667 – 6,14 = 0,527 пФ. Это уже близко к нужной величине, но все еще великовато. Пробуем ввести С3 = 6 и получаем величины 5,357 и 5,753 пФ. Находим разность 5,573 – 5,357 = 0,396 пФ. Это почти хорошо, можно на величине С3 = 6 пФ и остановиться, а можно уже без дальнейших расчетов принять С3 = 6,5 пФ.

В заключении расчета определяем величину емкости дополнительного конденсатора, который будет подключен параллельно катушке гетеродина совместно с емкостью электронной настройки.

Ранее было определено, что параллельно катушке гетеродина должна быть подключена переменная емкость от 14,8 до 15,2 пФ. Если из 14,8 вычесть минимальную емкость электронной настройки 5,357, то получим величину 14,8 – 5,357 = 9,443 пФ. Такую величину емкости может обеспечить подстроечный конденсатор емкостью 4-15 пФ.

Расчет контура гетеродина с электронной настройкой выполнен. Точно по такой же методике можно выполнить расчет и для любого варикапа.

Другой вариант МС К174ХА34

Имеющиеся у меня экземпляры микросхемы TDA 7021 содержат по 16 выводов. В то же время имеется информация о том, что микросхемы К174ХА34 имеют по 18 выводов. В этом случае, естественно, назначение выводов будет различаться.

На рис. 11.5 привожу схему аналогичного УКВ приемника, но выполненную на микросхеме с 18 выводами.

Радиоприемник, собранный по схеме рис. 11.5, имеет точно такие же параметры, как и радиоприемник по предыдущей схеме. Параметры катушек индуктивности полностью совпадают.

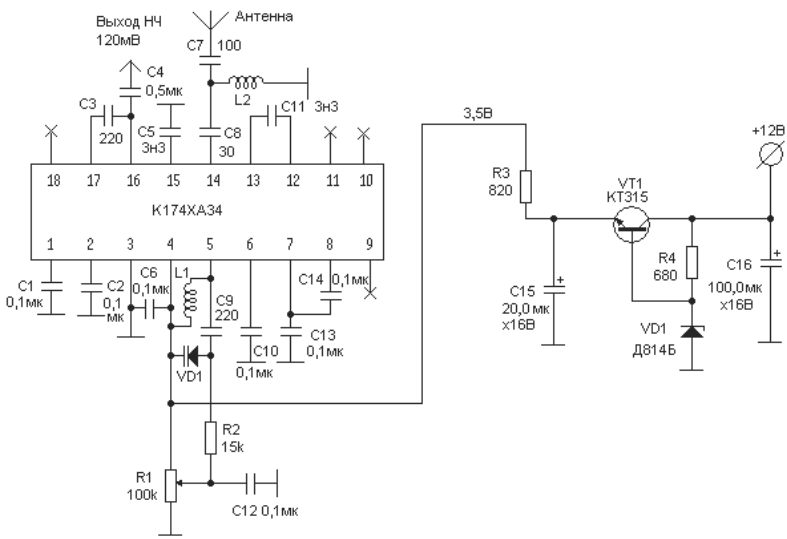


Рис. 11.5. Другой вариант схемы

Простой приемник для диапазона 145 МГц

МС К174ХА34 нормально работает на УКВ вещательном диапазоне 88-108 МГц. Вполне возможно, что ваш экземпляр этой микросхемы будет так же хорошо работать и на частотах любительского диапазона 145 МГц. В этом случае вы сможете стать обладателем самого простого ЧМ приемника на этот диапазон. Попробуйте!

Если этот вариант у вас получится, то для улучшения чувствительности приемника на его вход можно подключить преселектор для 145 МГц, схему которого можно найти в главе 6. Более полное описание этого аппарата можно взять в Интернет на сайте по адресу http://ra3xb.narod.ru/ в разделе «Модемы».

Простой УКВ ЧМ радиоприемник для частот любительского диапазона 145 МГц можно создать также с помощью бытового радиоприемника с УКВ диапазоном. Для этого дополнительно к бытовому приемнику с УКВ диапазоном, который становится базовым, нужно сделать конвертер, который мог бы сигналы диапазона 145 МГц переносить на частоты базового приемника. Это может быть конвертер, схема которого приведена на рис. 6.10 (или на рис. 6.9). При этом у начинающих могут быть затруднения с выбором необходимого кварцевого резонатора. Попробуем вместе разобраться с этой проблемой.

Итак, мы имеем базовый УКВ ЧМ радиоприемник на диапазон 65-74 МГц и горим желанием сделать к этому радиоприемнику конвертер на диапазон 144-146 МГц. Стоит задача выбора схемы конвертера и кварцевого резонатора для гетеродина конвертера. Схему конвертера необходимо выбирать, ориентируясь на имеющиеся в наличии транзисторы, потому что конвертеры по указанным выше двум схемам работают практически одинаково.

Для выбора кварцевого резонатора проведем простейший расчет частоты сигнала на выходе гетеродина конвертера. В расчете будем использовать среднюю частоту нужного нам диапазона 145 МГц.

В этом случае частота на выходе кварцевого гетеродина конвертера должна быть в пределах (145 – 65 = 80 МГц, 145 – 74 = 71 МГц) от 71 до 80 МГц. Если в генераторе использовать третью гармонику, то кварц должен быть в пределах (71 : 3 = 23,6 МГц, 80 : 3 = 26,6 МГц) от 23,6 до 26,6 МГц. Если у вас имеется кварцевый резонатор на какую-либо частоту в указанных пределах, то это просто замечательно. На таком кварце можно сделать очень простой гетеродин. Если такого кварца нет, то продолжаем расчет.

Если в гетеродине использовать шестую гармонику, то кварц должен быть в пределах (71 : 6 = 11,83 МГц, 80 : 6 = 13,333 МГц) от

11,83 МГц до 13,333 МГц. Если такой кварц имеется, то это тоже очень хороший вариант, если кварца нет, то продолжаем расчет.

Выбираем для гетеродина работу на девятой гармонике. Кварц для этого случая должен быть в пределах (71 : 9 = 7,888 МГц, 80 : 9 = 8,888 МГц) от 7,888 до 8,888 МГц.

Далее, если нужно, определяем частоты кварцев для обеспечения работы на 12 гармонике, на 16 и 18 гармониках. На диапазоне 432 МГц и выше приходится порой применять кварцевые генераторы, работающие на еще более высоких гармониках.

Теперь попробуем проанализировать схемы конвертеров, показанные на рис. 6.9 и рис. 9.10, с тем, чтобы выбрать наиболее подходящую для наших условий. Схема на рис. 6.9 имеет слишком много каскадов усиления в УВЧ, а это не очень хорошо в смысле возможностей самовозбуждения каскадов УВЧ и связанных с этим сложностей при наладке. В то же время в этом конвертере более удачная схема гетеродина, потому что она может нормально работать с умножением частоты кварца и на шесть и на девять.

Конвертер на рис. 6.10 имеет очень привлекательный УВЧ на двухзатворном транзисторе. Дело в том, что усиление одного каскада на двухзатворном полевом транзисторе многими радиолюбителями приравнивается к усилению двух каскадов на биполярных транзисторах при очень малых шумах полевых транзисторов. Особенно

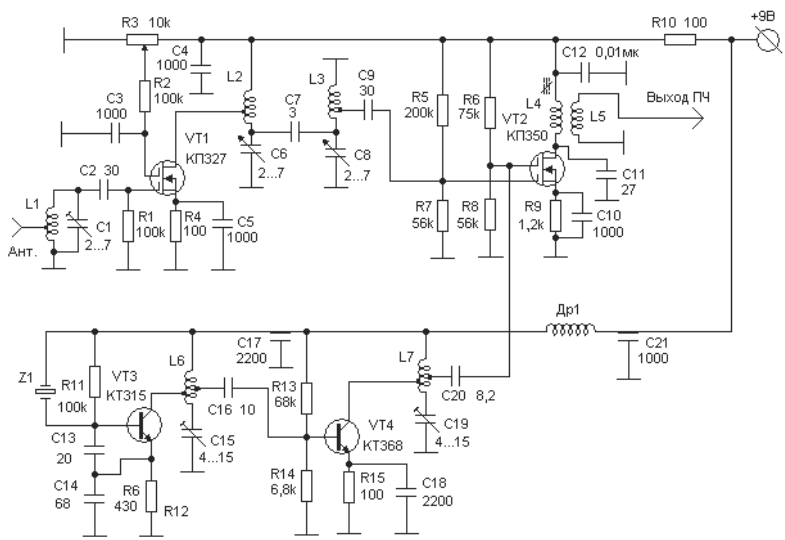


Рис. 11.6. Схема нового конвертера

если у вас имеется двухзатворный полевой транзистор КП327, то раздумывать вообще не стоит. К тому же следует учитывать большое усиление сигнала в смесителе, выполненном на втором двухзатворном полевике.

Итак, лучшим вариантом может быть применение УВЧ от схемы на рис. 6.10, а гетеродин желательно применить от схемы на рис. 6.9.

Схема возможного варианта такого конвертера показана на рис. 11.6.

Приступим к назначению кварцевого резонатора. В качестве примера выбираем кварц на частоту 13,333 МГц. Если нет возможности организовать работу гетеродина на шестой гармонике, то нужно попытаться приобрести кварц на частоту 8,867 МГц. Это достаточно распространенный кварцевый резонатор.

При использовании кварцевого резонатора на частоту 13,333 МГц на выходе гетеродина будем иметь 13,333 × 6 = 79,98 МГц. Величина промежуточной частоты получится 145 – 79,98 = 65,02 МГц.

При использовании кварца на частоту 8,867 МГц на выходе будем иметь частоту 8,867 × 9 = 79,803 МГц. Величина промежуточной частоты 145 – 79,83 = 65,17 МГц.

Вы наверняка обратили внимание на то, что в обоих случаях я старался использовать кварц на более высокую рабочую частоту. Это делалось для того, чтобы частота на выходе гетеродина и частота ПЧ различались на как можно большую величину.

Представьте себе, что я выбрал бы кварц на рабочую частоту 7,88 МГц. Тогда частота на выходе гетеродина была бы 71 МГц, а величина промежуточной частоты составила бы 145 – 71 = 74 МГц. Получился такой вариант, когда частота на выходе гетеродина практически была бы равна промежуточной частоте. В динамике вашего приемника стоял бы постоянный гул, и никакой прием радиостанций был бы невозможен, так как достаточно мощная частота гетеродина без всяких помех проникала бы в ваш приемник и полностью забивала слабые сигналы от других радиостанций.

Между прочим, разница между частотами 79 МГц и 65 МГц не так уж и велика. Так что было бы гораздо лучше, если бы вы при таком построении приемника выбрали для ПЧ частоту порядка 40-50 МГц. Надеюсь, что об этом варианте вы подумаете позднее, создавая собственную конструкцию УКВ ЧМ приемника, в котором будет использоваться микросхема К174ХА34.

Следующим этапом нашей работы будет проработка возможного варианта корпуса, в котором должны располагаться каскады УВЧ и гетеродина конвертера.

На рис. 11.7 показан один из возможных вариантов схематического плана корпуса.

Корпус разбит на отдельные отсеки экранирующими перегородками. В каждом из отсеков показаны обозначения основных элементов схемы (катушки, подстроечные конденсаторы, транзисторы), размещенных в данном отсеке.

Крайний справа отсек показан пунктирными линиями и предназначается для дополнительного каскада усиления ПЧ. Схема этого каскада может быть точно такой, как схема каскада усиления ПЧ, показанная ниже на рис. 11.10.

В лучшем случае корпус должен быть изготовлен из листовой латуни, в худшем – из белой жести, которая тоже может работать очень даже неплохо. Высота экранирующих перегородок может быть порядка 20-24 мм. Другие размеры отсеков выбирайте исходя из ваших возможностей. Одно из основных требований при монтаже УКВ узлов – минимальная длина выводов радиодеталей. Чем выше частота, тем важнее становится это требование.

Каскад или группа каскадов, размещенных в одном отсеке, должны выполняться на общей плате, заземленные поверхности которой должны быть короткими проводниками соединены с корпусом. Чем в большем количестве мест заземленная поверхность платы будет соединена с корпусом, тем лучше.

Пришло время заняться определением параметров катушек колебательных контуров. Для этого очень удобно использовать раз-

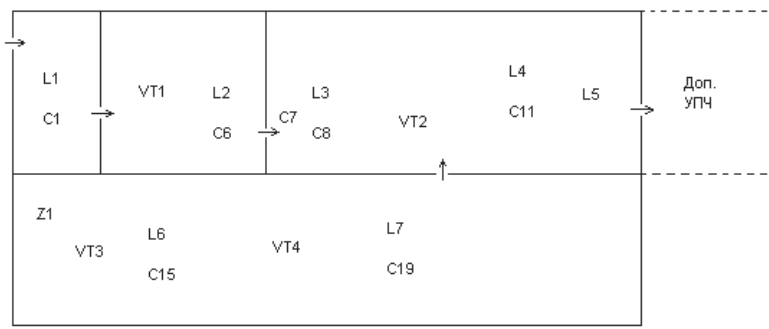


Рис. 11.7. Схематический план корпуса

работанную мною программу INDUKTIW2, которую можно взять в Интернет на сайте http://ra3xb.narod.ru/

Описание этой программы и один из примеров того, как этой программой пользоваться, приведены в Приложении 3.

Запускаем в работу программу INDUKTIW2. На главной странице этой программы в окна редактирования вводим среднюю частоту диапазона 145 МГц и емкость конденсатора 7 пФ. Нажимаем клавишу «Выполнить расчет» и получаем величину индуктивности нужной нам катушки 0,17 мкГн. Если эта величина нас устраивает, то нажимаем клавишу «Да». Этим действием полученная величина индуктивности 0,17 мкГн вводится в память и в соответствующие окна редактирования каждой из последующих страниц программы, то есть далее мы можем определить по этой величине индуктивности количество витков и диаметр катушки.

Переходим на страницу 2, которая называется «Катушка 1». На этой странице вводим в окна редактирования диаметр катушки 9 мм и длину намотки 10 мм. Получаем число витков 5,46. По собственному опыту знаю, что программа проводит расчет идеального варианта, на самом деле существуют всякие неучтенные емкости, поэтому количество витков нужно брать несколько меньше. Примем, что катушки L1, L2 и L3 будут иметь по 5 витков, наматывать их нужно на каркасе диаметром 8 мм, тогда расчетный диаметр катушки получится как раз 9 мм. Хорошо запомните эти мои рекомендации и используйте их постоянно, при определении параметров любых контуров. Это очень важно!

Катушка L4 должна быть настроена на частоту 65 МГц, величину емкости для этой катушки назначаем 15 пФ. Проводим расчет и получаем величину индуктивности 0,318 мкГн. Для определения числа витков вводим диаметр катушки 9 мм, длину катушки 10 мм. Получаем количество витков 8,32. Катушка связи L5 наматывается поверх катушки L4 возле заземленного конца этой катушки и имеет 3 витка.

Катушка L6 настраивается на третью гармонику кварца 13,333 × 3 = 39,999 = 40 МГц. Индуктивность этой катушки при емкости 25 пФ получается равной 0,63 мкГн, количество витков при диаметре 9 мм и длине 15 мм – 12,2. Выбираем, что число витков L6 равно 12.

Катушка L7 настраивается на шестую гармонику кварца 13,333 × 6 = 79,9 = 80 МГц. Индуктивность этой катушки будет 0,263 мкГн при емкости 15 пФ. Количество витков – 6,7 при диаметре 9 мм и длине 10 мм.

Итак, все необходимые расчеты сделаны. По показанной мною методике теперь вы сможете самостоятельно выполнить расчет всех элементов любой схемы. Теперь нужно сесть и сделать себе УКВ ЧМ радиоприемник на диапазон 145 МГц.

Успехов!

Изменяем схему конвертера

Вернемся еще раз к разнице между величинами частоты на выходе гетеродина и величиной ПЧ. Существует один очень эффективный способ намного увеличить эту разницу. Имеется в виду тот факт, что существует ряд смесителей, которые могут работать на *половинной частоте* гетеродина. Одним из таких смесителей является смеситель, выполненный на встречнопараллельных ВЧ диодах. Один из возможных вариантов такого смесителя показан на рис. 4.10. Еще один из таких смесителей, но выполненный на полевых транзисторах, показан на рис. 4.6.

На рис. 11.8 показана схема конвертера рис. 11.6 с совершенно другим смесителем, выполненным на встречнопараллельных диодах. В качестве смесительных диодов для этих сравнительно низких частот подойдут диоды ГД507, КД514, КД522, а также некоторые из обращенных туннельных диодов.

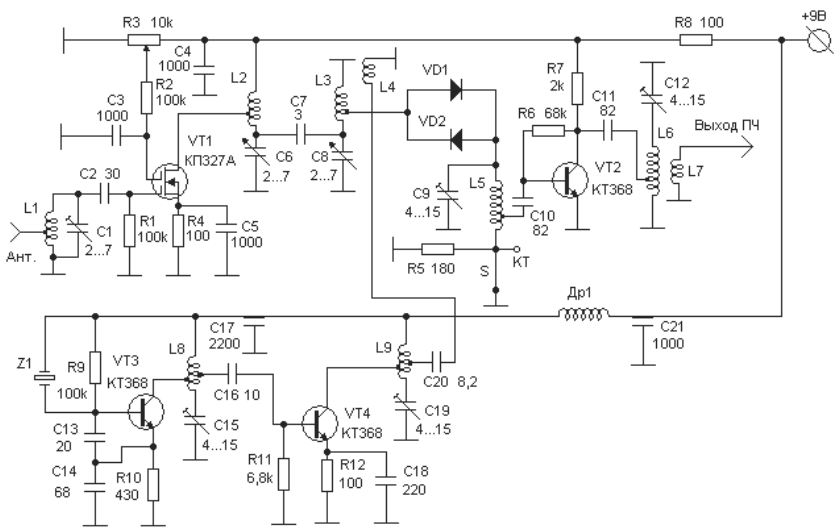


Рис. 11.8. Схема со смесителем на диодах

Сигнал от гетеродина на смеситель подается через конденсатор С20 и катушку L4, которая состоит из трех витков провода ПЭЛ 0,3, намотанных поверх катушки L3.

Настройка всех описанных в этой главе конвертеров выполняется одинаково. Сначала проверяется правильность монтажа, затем настраиваются на соответствующие частоты все контуры гетеродина. После этого на антенный вход конвертера подается сильный сигнал от генератора шума и выполняется грубая настройка всех контуров УВЧ по максимальному шумовому сигналу. В заключение проводится настройка УВЧ по генератору сигнала и, если необходимо, проверка шумовых свойств УВЧ.

Методики настройки всех каскадов описаны ранее.

Для настройки смесителя, выполненного на двух встречнопараллельных диодах, необходимо к контрольной точке КТ подключить миллиамперметр с током полного отклонения 10 мА и убрать перемычку S. После этого подать на конвертер питание и подборкой конденсатора С20 добиться, чтобы ток через диоды, измеренный миллиамперметром, был в пределах 3-5 мА. Восстановите перемычку S после выполнения настройки смесителя.

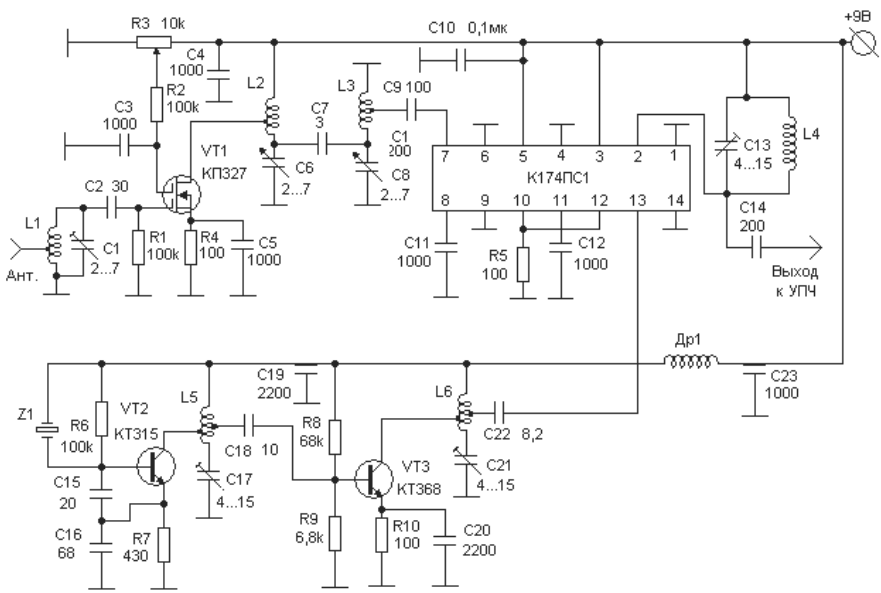


Рис. 11.9. Конвертер с балансным смесителем

ПРИЕМНИК С МС К174ПС1

В описанном выше радиоприемнике для диапазона 145 МГц можно в качестве смесителя применить микросхему К174ПС1 или К174ПС4. Информацию о применении этих микросхем смотрите в главе 4. МС К174ПС4 предназначена для работы в качестве смесителей на частотах до 1000 МГц. МС К174ПС1 имеет более скромные параметры.

На рис. 11.9 представлена принципиальная схема УКВ конвертера, в котором смеситель выполнен на К174ПС1 по балансной схеме.

Применение в качестве смесителя специально предназначенной для этих целей микросхемы позволяет получить заведомо хорошие параметры и избежать возможных ошибок. Но смеситель по схеме рис. 11.9 использует только часть возможностей, заложенных в этот прибор.

Объединение в одном смесителе двух балансных смесителей позволяет получить так называемый *кольцевой балансный смеситель*, который практически в выходном сигнале не содержит компонентов гетеродина и ВЧ сигнала. МС К174ПС1(ПС4) как раз и предназначена для работы по схеме кольцевого балансного смесителя.

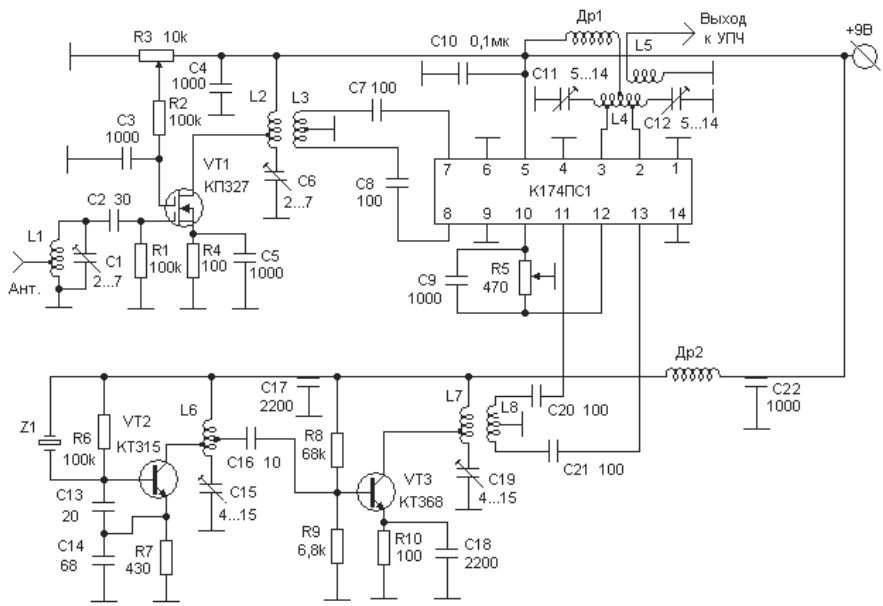


Рис. 11.10. Конвертер с кольцевым балансным смесителем

На рис. 11.10 показана принципиальная электрическая схема конвертера, в котором МС К174ПС1 работает как кольцевой балансный смеситель.

Катушки связи L3 и L8 наматываются одновременно двумя скрученными проводами поверх катушек L2 и L7 соответственно и имеют по два или три витка. Начало одного провода соединяется с концом другого, образуя среднюю точку. Метод изготовления подобных катушек связи описан выше. Дроссели Др1 и Др2 наматываются проводом ПЭЛ 0,3 длиной 0,1-0,15 λ на оправке 3-4 мм.

Приведенные на рис. 11.9 и рис. 11.10 схемы могут работать с любыми УВЧ и гетеродинами, описанными в данной книге.

УКВ ПРИЕМНИК ДЛЯ ДИАПАЗОНА 432 МГЦ

УКВ ЧМ радиоприемник для диапазона 432 МГц сделаем также на базе МС К174ХА34 в соответствии с рис. 11.1.

Для начала сделаем прикидочный расчет по выбору кварцевого резонатора.

Будем считать, что МС К174ХА34 может прилично работать в диапазоне частот от 66 до 110 МГц. Это значит, что любую частоту из этого интервала мы можем использовать в качестве промежуточной частоты приемника. Средняя частота любительского диапазона 432-436 МГц будет равна 434 МГц. При этом частота на выходе гетеродина может находиться в интервале частот от (435 – 66 = 369 МГц) 369 МГц до (435 – 110 = 325 МГц) 325 МГц.

Если на выходе гетеродина выделять 24 гармонику, то необходим кварц с рабочей частотой в пределах от (369 : 24 = 15,375 МГц) 15,375 МГц до (325 : 24 = 13,54 МГц) 13,54 МГц.

Если использовать 27 гармонику, то необходим кварц с частотой в пределах от (369 : 27 = 13,666 МГц) 13,666 МГц до (325 : 27 = 12,04 МГц) 12,04 МГц.

Если использовать 32 гармонику, то необходим кварц с частотой в пределах от (369 : 32 = 11,53 МГц) 11,53 МГц до (325 : 32 = 10,15 МГц) 10,15 МГц.

Если использовать 36 гармонику, то необходим кварц с частотой в пределах от (369 : 36 = 10,25 МГц) 10,25 МГц до (325 : 36 = 9,03 МГц) 9,03 МГц.

Далее можно делать аналогичные расчеты для 48, 54, 64 и 72 гармоник. Надеюсь, вы обратили внимание на тот факт, что я выбираю только те гармоники, на которых каскады умножителей могут работать или как удвоители частоты, или как утроители. Пробовать заста-

вить умножительный каскад работать на более высоких гармониках не советую.

При использовании 24 гармоники в задающем генераторе можно выделить 3 гармонику, затем использовать три каскада удвоения частоты: $3 \times 2 \times 2 \times 2 = 24$.

При использовании 27 гармоники в задающем генераторе можно выделить 3 гармонику, затем два каскада утроителей частоты:

$3 \times 3 \times 3 = 27$.

При использовании 32 гармоники в задающем генераторе можно попытаться выделить 4 гармонику, затем использовать три каскада удвоения частоты: $4 \times 2 \times 2 \times 2 = 32$.

При использовании 36 гармоники в задающем генераторе можно выделить 3 гармонику, затем использовать еще один утроитель и два каскада удвоения частоты: $3 \times 3 \times 2 \times 2 = 36$.

Сразу нужно оговориться, что кварцевые резонаторы на частоты 8, 9, 12, 16, 24, 36 и т.д. имеют свои гармоники на частотах начала любительских диапазонов. Поэтому применять кварцы на эти частоты в гетеродинах недопустимо.

Предположим, что у нас имеется кварц на частоту 9,216 МГц. Это значит, что мы должны на выходе гетеродина получить 36 гармонику. Схема гетеродина будет выглядеть как $3 \times 3 \times 2 \times 2 = 36$.

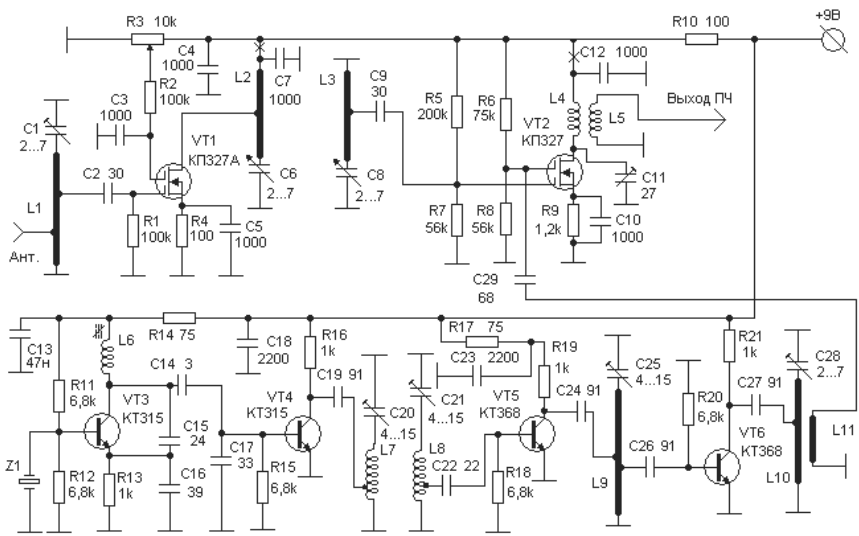


Рис. 11.11. Схема конвертера для диапазона 435 МГц

На рис. 11.11 приведена принципиальная схема конвертера на любительский УКВ диапазон 432-436 МГц.

Конвертер содержит УВЧ на транзисторе VT1, смеситель на VT2 и многокаскадный гетеродин на транзисторах VT3, VT4, VT5 и VT6.

Сигнал от антенны поступает на контур L1C1, затем усиливается каскадом на VT1. Контуры L2C6 и L3C8 создают полосовой фильтр для частот диапазона 432 МГц, после которого сигнал подается на один из затворов смесителя VT2. На второй затвор смесителя через конденсатор C28 подается сигнал гетеродина.

Гетеродин состоит из кварцевого генератора на VT3, причем генератор работает на третьей гармонике кварцевого резонатора Z1, каскада последующего утроения частоты на VT4 и двух каскадов удвоения частоты на VT5 и VT6.

На выходе гетеродина получим частоту 9,216 × 36 = 331,776 МГц.

В этом случае промежуточная частота должна быть переменной и изменяться от 100,224 до 104,224 МГц. Как правило, радиолюбитель будет использовать только узкий участок диапазона, поэтому беспокоиться о перестройке контуров промежуточной частоты не стоит. В крайнем случае, для расширения полосы пропускания по ПЧ, параллельно каждой из контурных катушек в тракте ПЧ можно подключить резистор сопротивлением 1-2к. Это несколько уменьшит добротность контура и расширит полосу пропускания по ПЧ.

Если вдруг вам покажется, что приемнику не хватает усиления, то можно попробовать сразу же после смесителя установить дополнительный каскад усиления по ПЧ на транзисторе КТ368. Схема такого каскада показана на рис. 11.12.

Используя программу INDUKTIW, назначим основные параметры для контуров УВЧ, смесителя и гетеродина.

Линии L1, L2 и L3 выполнены из медного провода Ø 2 мм, длина 30 мм. Располагаются параллельно основанию на высоте 5-7 мм. От-

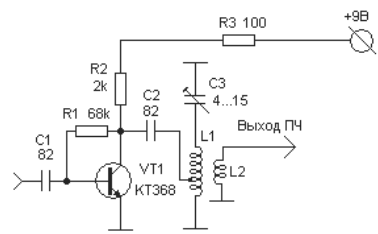


Рис. 11.12. Схема дополнительного каскада усиления ПЧ

вод от середины, у L1 отвод для антенны сделать на расстоянии 8 мм от заземленного конца. Линии L2 и L3 располагаются параллельно друг другу на расстоянии 10-15 мм.

При расчете параметров катушки L4 по программе INDUKTIW вводим частоту 102 МГц и емкость 15 пФ. Получаем величину индуктивности 0,16 мкГн и число витков 5 при диаметре катушки D = 9 мм и длине 10 мм. Катушка L5 имеет 3 витка провода ПЭЛ 0,3 и наматывается поверх катушки L4 у ее заземленного по ВЧ конца.

Катушка L6 должна наматываться на каркасе диаметром 8 мм с подстроечным сердечником. Частота настройки (третья гармоника кварцевого резонатора) 28 МГц, по результатам расчета (без учета сердечника) должна иметь 18,5 витков, но учитывая, что катушка будет подстраиваться сердечником, назначим число витков 13.

Катушки L7 и L8 должны располагаться параллельно друг другу на расстоянии между краями витков катушек 8-10 мм. Параметры этих катушек рассчитываются на частоту 83 МГц (девятая гармоника) и величину емкости 15 пФ. Получается индуктивность 0,24 мкГн, число витков 6 при диаметре катушки 9 мм и длине намотки 10 мм.

Катушка L9 может выполняться или в виде обычной катушки, тогда при индуктивности 0,093 мкГн она должна иметь 6 витков (диаметр 3,5 мм, длина 7 мм), либо в виде линии длиной 50 мм из провода Ø 2 мм. Один из отводов делается от середины катушки (линии), второй – удален от первого на 5 мм ближе к заземленному концу.

Линия L10 имеет длину 30 мм, выполнена из провода Ø 2 мм. Располагается параллельно основанию на удалении 5-7 мм.

Линия связи L11 имеет длину 15 мм, выполнена из провода Ø 1 мм, располагается параллельно L10 на расстоянии 2-3 мм.

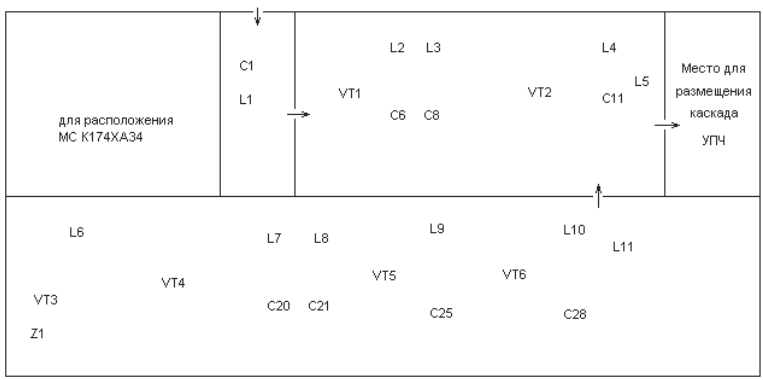


Рис. 11.13. Возможный вариант корпуса

Теперь рассмотрим возможную конфигурацию корпуса, в котором должны быть размещены все каскады конвертера. Схематическое изображение экранирующих перегородок корпуса показано на рис. 11.13.

На рис. 11.13 обозначены примерные расположения наиболее значимых элементов конвертера.

Настройка радиоприемника

Настройку любого только что сделанного радиоаппарата непременно следует начинать с проверки правильности монтажа. Этим правилом пренебрегать ни в коем случае нельзя.

Настройку будем производить с помощью самодельного прибора ГИР (гетеродинный измеритель резонанса, описан в главе 10), работающего в режиме волномера, и обычного мультиметра (тестера). Мультиметр должен находиться в режиме измерения переменного напряжения, при этом измерения необходимо проводить через дополнительный последовательно подключенный резистор сопротивлением 10 кОм. Объяснение такой необходимости смотрите ниже.

Настройку гетеродина начинаем с проверки работы кварцевого генератора. Конденсатор 1000-2000 пФ подключаем параллельно катушке L8. Вольтметр переменного напряжения (через резистор 10 кОм) подключаем к эмиттеру транзистора VT3 и конденсатором 2000-10 000 пФ замыкаем базу VT3 на корпус. При этом наблюдаем резкое (до нуля) уменьшение показаний вольтметра. При отсоединении конденсатора от базы VT3 показания вольтметра должны резко возрасти. Это говорит о возбуждении генератора на частоте кварца.

Убираем конденсатор, подключенный параллельно L8 и соединяем базу транзистора VT3 с корпусом при помощи конденсатора емкостью 2000-10 000 пФ. Таким образом мы перемыкаем этим конденсатором кварцевый резонатор. При этом кварцевый автогенератор превращается в обычный LC-генератор, частота генерации которого определяется контуром L8C15C16. Вращением сердечника катушки L8 надо установить частоту генерации, близкую к утроенной частоте кварцевого резонатора. Контролировать частоту генератора следует прибором ГИР, находящимся в режиме волномера. В дальнейшем этот прибор будем называть просто «волномером». После этого блокирующий конденсатор отключаем от базы транзистора VT3 и производим точную подстройку частоты контура L8C15C16 (вращением сердечника катушки L8) по максимуму показаний волномера, установленного на частоту третьей гармоника кварца (28 МГц) .

Далее приступаем к настройке цепи умножителей гетеродинного тракта. При настройке умножителей необходимо контролировать режимы работы транзисторов по постоянному току. Удобнее всего измерять напряжение на коллекторе, так как при известном сопротивлении резистора, стоящего в коллекторной цепи, легко определить ток, протекающий через транзистор:

$I = (E_п – E_к)/R_к$, где I – ток, протекающий через транзистор, мА; $E_п$ – напряжение источника питания, В; $E_к$ – напряжение на коллекторе транзистора, В; $R_к$ – сопротивление коллекторного резистора, кОм.

Особенность измерения режима заключается в том, что это измерение надо проводить в рабочем состоянии, то есть при наличии сигнала. Дело в том, что большинство транзисторов, примененных в гетеродине, работают в режиме больших сигналов, а это значит, что режимы работы по постоянному току и по высокой частоте взаимосвязаны. При этом подключение щупа измерительного прибора может повлиять на режим работы каскада по высокой частоте и, таким образом, ввести ошибку в измерения. Другая опасность заключается в том, что даже при измерении режима транзистора, работающего в режиме малых сигналов, при присоединении щупа возможно самовозбуждение каскада. Такое самовозбуждение может значительно повлиять на режим работы транзистора и, таким образом, исказить результаты измерений. Для того чтобы подобные эффекты не возникали, надо производить измерения через резистор сопротивлением 10 кОм и более. Резистор надо закрепить на кончике щупа, для того чтобы проводник, подключенный к схеме, имел минимальную длину. Очевидно, что наличие добавочного резистора занижает показания вольтметра, однако возникающую погрешность нетрудно учесть. Для удобства измерений можно, например, перейти на меньший передел вольтметра, а затем, подобрав сопротивление внешнего резистора, вернуться к прежней шкале.

Налаживание первого утроителя, выполненного на транзисторе VT4, начинается с регулировки режима возбуждения. Подбором емкости конденсатора C17 надо добиться того, чтобы постоянное напряжение на коллекторе транзистора составило 5-6 В. Это будет соответствовать коллекторному току транзистора VT4 около 6 мА.

После этого следует приступить к настройке двухконтурного фильтра L7C20—L8C21. Настройка производится по максимуму коллекторного тока транзистора VT5, стоящего в следующей ступени умножителя. Точность настройки контура на частоту нужной гармоники

следует контролировать волномером. Для этого катушку волномера следует приблизить к торцевой части измеряемой катушки и вращением измерительного органа частотомера измерить частоту максимальных показаний прибора. Необходимую степень возбуждения транзистора VT5 можно регулировать, изменяя точку подключения контуров фильтра к коллектору транзистора VT4 и базе транзистора VT5. При подборе отводов на катушках надо следить, чтобы оба контура были нагружены примерно в одинаковой степени. О значении нагруженной добротности контура можно судить по остроте настройки с помощью подстроечного конденсатора. Если один из контуров имеет более «тупую» настройку, то отвод на катушке следует перепаять ближе к заземленному выводу. При правильной настройке постоянное напряжение на коллекторе транзистора VT5 должно составлять 5-6 В. Если ток будет несколько больше указанного, то это неплохо. Главное – надо следить за тем, чтобы транзистор не нагревался. Если транзистор заметно наощупь нагревается, то следует уменьшить подаваемое на этот транзистор возбуждение.

Точно так же, как и транзистора VT5, настраивается работа транзистора VT6. При этом для контроля за правильностью настройки контура L10C28 на нужную частоту следует пользоваться измерительной линией, описанной в главе 10 (см. рис. 10.5).

Настройку УВЧ следует начать с установки тока через транзистор VT1. Величина тока должна быть порядка 2-3 мА, устанавливается эта величина подбором резистора R4 при положении резистора R3 в состоянии наибольшей громкости (наибольшая величина сопротивления R3). Ток измеряется миллиамперметром в цепи стока транзистора. Точка замера отмечена на схеме крестиком.

Затем аналогичным путем устанавливается (резистором R9) ток величиной 1-2 мА через транзистор смесителя VT2.

Для грубой настройки УВЧ на антенный вход следует подключить генератор шума (см. материал в главе 10). Грубая настройка контуров L1C1, L2C, L3C8 и L4 выполняется соответствующими подстроечными конденсаторами по максимуму шумов на выходе приемника. Точную настройку следует выполнить с использованием сигнала от специального генератора или по шумам эфира.

При необходимости можно измерить шумовую характеристику УВЧ по описанной в главе 10 методике.

Если нет транзистора…

Если у вас нет малошумящих двухзатворных полевых транзисторов, то УВЧ всех ранее описанных конвертеров (и на диапазон 14-5 МГц и на диапазон 432 МГц) можно выполнить на малошумящих биполярных транзисторах отечественного производства.

Такими транзисторами являются КТ3128А, ГТ346, ГТ328 и ГТ313Б. Все они применялись в производстве бытовых телевизоров и УКВ радиоприемников.

На транзисторах КТ3128А можно создать УВЧ со следующими параметрами:

- ❑ Расчетный коэффициент шума на частоте 600 МГц ..... 6,3 дБ
- ❑ Коэффициент усиления двухкаскадного УВЧ..... 15 дБ
- ❑ Напряжение питания.....9-12 В

На рис. 11.14 представлена принципиальная электрическая схема УВЧ и смесителя, которую можно применить в рассмотренных ранее УКВ конвертерах в случае, если нет двухзатворных полевых транзисторов типа КП327 и КП350.

Схема УВЧ не имеет каких либо особенностей. Сигнал с антенного входа выделяется контуром L1C1 и усиливается каскадом на VT1. Полосовой фильтр L2C5–L4C6 преграждает путь различным помехам. Каскад на VT2 является вторым усилителем ВЧ. Усиленный сигнал выделяется в контуре L5C10. Транзистор VT3 является смесителем частот. На затвор VT3 поступает сигнал с контура L5C10, а в цепь истока подается сигнал от гетеродина. Результирующая частота

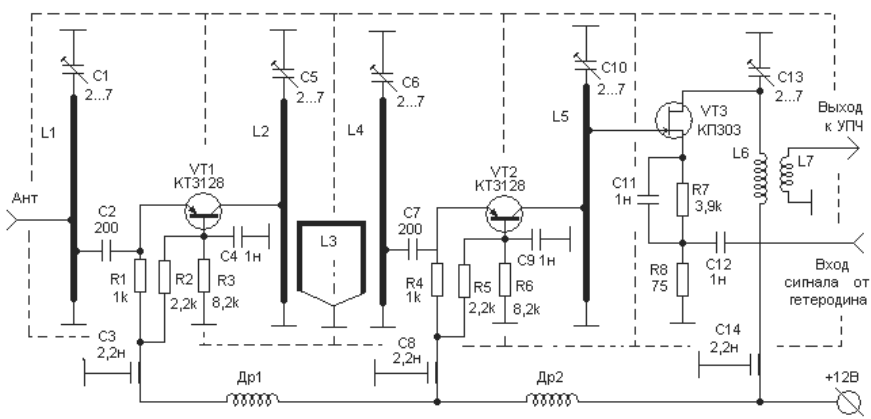


Рис. 11.14. Схема УВЧ на биполярных транзисторах

ПЧ выделяется контуром L6C13 и через катушку связи L7 подается к УПЧ.

Линии L1, L2, L4 и L5 по размерам и форме аналогичны линиям на рис. 11.11. Катушка L6 аналогична такой же катушке на рис. 11.11.

Петля L3 имеет размер (примерно) 12×12 мм.

Дроссели Др1 и Др2 намотаны на оправке диаметром 3 мм куском провода ПЭЛ 0,3, который должен иметь длину (0,1-0,2)λ.

При настройке резисторами R3 и R6 устанавливаются коллекторные токи VT1 и VT2, которые должны быть равны и составлять 1-2 мА. Ток через транзистор VT3 устанавливать не нужно.

Конденсаторы C3, C8 и C14 – проходные. Штриховыми линиями показаны расположения перегородок в корпусе.

Если эту схему применить для диапазона 145 МГц, то параметры контуров можно взять из вышерасположенной схемы конвертера для этого диапазона.

Малошумящие транзисторы

Во всех описанных в этой книге усилителях высокой частоты на различные диапазоны применены широкодоступные транзисторы отечественного производства. Во многих случаях этого бывает достаточно. Но если вы хотите получить от УВЧ минимально возможный уровень шумов, а это обеспечит приемнику максимальную чувствительность, то нужно искать и применять в первом каскаде УВЧ только специальные малошумящие транзисторы.

Одним из таких транзисторов можно назвать арсенидгаллиевый полевой транзистор ATF-10136 (или ATF-1D136), который имеет коэффициент шума на частоте 500 МГц, равный 0,4 дБ. Отечественные транзисторы АП325 и 3П602 имеют близкие шумовые параметры.

О микросхеме К174ХА42

Уже после того, как был полностью подготовлен материал этой главы, у меня появилась информация о микросхеме К174ХА42, которая так же, как и МС К174ХА34, представляет собой готовый полностью УКВ ЧМ радиоприемник. Для радиолюбителей эта микросхема очень удобна тем, что работает до частоты 150 МГц. А это значит, что микросхема легко превращается в УКВ ЧМ приемник для диапазона 145 МГц.

Мне пока не пришлось поэкспериментировать с МС К174ХА42, надеюсь, что это удастся сделать читателям этой книги. Далее привожу информацию по этой МС.

Микросхемы К174ХА42А (TDA7000) и К174ХА42Б (TDA7010) предназначены для работы в экономичных радиовещательных и связных приемниках частотно-модулированных сигналов. Микросхемы содержат все функциональные узлы супергетеродинного ЧМ приемника (от антенного входа до выхода НЧ) и требуют для его реализации минимум навесных элементов: резонансный LC-контур, несколько конденсаторов и один резистор.

Регулировка такого приемника сводится к настройке контура гетеродина – установке границ диапазона. Это стало возможным благодаря низкой промежуточной частоте – 70 кГц, что позволяет использовать для селекции сигнала ненастраиваемые RC-фильтры, отказавшись от критичных полосовых резонансных LC-фильтров.

Микросхема оснащена высокоэффективной корреляционной системой подавления шума (бесшумной настройки – БШН). Она подавляет звуковой сигнал при неточной настройке, входном сигнале с уровнем, близким к уровню шума, и при настройке на зеркальный канал.

МС К174ХА42А(TDA7000) рассчитана для работы в связных радиоприемных устройствах, а К174ХА42Б(TDA7010) – в радиовещательных приемниках бытового назначения. Микросхема К174ХА42 может также найти применение и в радиотрактах телевизионной аппаратуры, в телефонах с радиоканалом, в системах личной и служебной радиосвязи, устройствах поискового вызова, охранных устройствах, в аппаратуре телеуправления. Небольшое число требуемых внешних элементов, простота настройки и низкая стоимость делают ее весьма привлекательной для широкого использования в радиолюбительских конструкциях.

Выпускают эту микросхему в пластмассовом корпусе двух вариантов: К174ХА42А – в восемнадцативыводном корпусе 2104.18-4 (238.18-3), а К174ХА42Б – в шестнадцативыводном 2103.16-9 (238.16-2).

Масса прибора не превышает 2,5 г. Полный аналог К174ХА42А - микросхема TDA7000; аналогом К174ХА42Б является МС TDA7010. К174ХА42А и К174ХА42Б отличаются лишь типом корпуса.

Основные электрические характеристики при $t_{окр. ср}$ = 25±10 °С

Номинальное напряжения, питание, В 4,5

Потребляемый ток, мА, не более 8

Частота входного ВЧ сигнала, МГц 1,5-150

Чувствительность (входное напряжение ограничения по уровню –3 дБ), мкВ 6

Выходное напряжение НЧ, мВ 100

Коэффициент нелинейных искажений, %, не более..... 0,5

Сопротивление нагрузочного резистора в цепи открытого коллектора усилителя 34, кОм, не более, при напряжении питания

4,5 В..... 22

9 В 47

Отношение сигнал/шум*, дБ, не менее 50

Коэффициент подавления составляющей АМ*, дБ, не менее .. 50

*Значения этих параметров измерены при следующих условиях: напряжение питания 4,5 В, входная частота ВЧ сигнала 69 МГц, девиация частоты ±50 кГц, модулирующая частота 1 кГц; при измерении коэффициента подавления АМ глубина модуляции равна 30%.

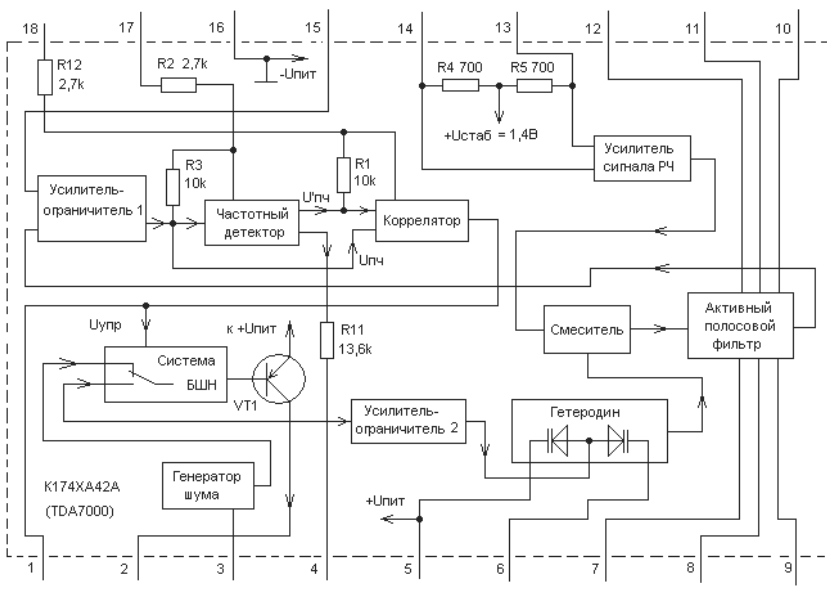


Рис. 11.15. Схема К174ХА42А

Предельно допустимые значения параметров

Напряжение питания, В 2,7-9

Наибольшее входное напряжение РЧ, мВ 200

Рабочий температурный интервал, ˚С .....–10-+55

Упрощенная функциональная схема прибора К174ХА42А изображена на рис. 11.15.

ЧМ приемник МС К174ХА42А построен по супергетеродинной схеме с однократным преобразованием частоты. Входной сигнал после усиления смешивается с сигналом гетеродина. Благодаря относительно низкой промежуточной частоте (ПЧ) сигнала, снимаемого с выхода смесителя, амплитуда побочных составляющих преобразования настолько мала, что они практически отсутствуют на входе усилителя сигнала промежуточной частоты.

Для подавления внеполосных сигналов предусмотрен активный полосовой фильтр ПЧ четвертого порядка. Выходной сигнал фильтра усилитель-ограничитель 1 нормирует по амплитуде. Усилитель-ограничитель 1 имеет большой коэффициент усиления (более 90 дБ) и большой динамический диапазон. Преобразованный сигнал ПЧ поступает на вход частотного детектора и одновременно на вход корреляторa.

Частотный детектор представляет собой преобразователь частота – напряжение. Демодулированное напряжение низкой частоты поступает, во-первых, на второй усилитель-ограничитель и далее на гетеродин, замыкая в системе петлю обратной связи по частоте, и, во-вторых, на вход коммутатора системы бесшумной настройки (БШН) и затем на предварительный усилитель НЧ и на выход приемника.

Выходной сигнал коррелятора используют для управления коммутатором системы БШН, подавляющей межстанционные помехи.

Кроме указанных узлов, микросхема содержит внутренний стабилизатор питающего напряжения (на схеме не показан), выходной усилитель НЧ (он изображен на схеме в виде транзистора VT1) и генератор шума, входящий в систему БШН. Генератор шума имитирует ЧМ шум и подключается коммутатором к входу предварительного усилителя НЧ при переходах от одной принимаемой станции к другой или при неточной настройке. Шумовой сигнал в этих случаях свидетельствует о работоспособности приемно-усилительного тракта. В микросхеме К174ХА42Б управление генератором шума не предусмотрено.

В приемнике применена частотная демодуляция с обратной связью по частоте – выходной НЧ сигнал демодулятора использован для соответствующего смещения частоты гетеродина в противофазе с сигналом ПЧ. Этим достигнуто уменьшение девиации частоты сигнала ПЧ

и, как следствие, практически полное отсутствие гармонических искажений выходного сигнала.

Необходимая степень «сжатия девиации» получается, если емкость колебательного контура гетеродина $C_о = C_к + C_{пар} + C_{вар}$ выбрать из эмпирического соотношения: $C_о = F_о/2$ ($C_к$ – емкость контурного конденсатора; $C_{пар}$ – паразитная емкость контура, $C_{вар}$ – емкость варикапа элемента перестройки, емкость везде в пикофарадах; $F_о$ – частота настройки контура, в мегагерцах). Это выражение, применимое для всех значений частоты в диапазонах УКВ-1 и УКВ-2, позволяет определить параметры контура гетеродина – емкость конденсатора, а затем индуктивность катушки.

Для подавления сигналов паразитных каналов приема служит система БШН. Работа системы основана на корреляции сигнала ПЧ и того же сигнала, задержанного и инвертированного. Оба сигнала подводят к входу коррелятора. Если прямой сигнал $U_{пч}$ представляет собой последовательность когерентных импульсов постоянного периода (как это и бывает в случае приема радиовещательной станции), то задержка сигнала $U'_{пч}$ должна быть равна периоду следования. Такой сигнал получают инвертированием прямого сигнала.

Инвертирование и задержку сигнала выполняет фазовый фильтр (на схеме рис. 11.15 не показан). При точной настройке на станцию формы обоих сигналов идентичны и имеют высокую степень корреляции. При расстройке фаза сигнала $U'_{пч}$ смещается относительно прямого – корреляция мала. В результате действия помех или шума возникают значительные изменения периода и формы сигнала $U'_{пч}$; в этих случаях корреляции практически нет.

По результату сравнения этих сигналов коррелятор вырабатывает сигнал управления коммутатором, плавно включающим усилитель НЧ при высокой корреляции или генератор шума при слабой. Этим исключается прохождение на выход приемника различных щелчков, помех и резких звуков.

Образцовое напряжение, необходимое для работы частотного демодулятора и коррелятора, формируют внутренние активные фазовращатели, выполненные на операционных усилителях с единичным коэффициентом усиления, фазовращатель (фазовый фильтр) обеспечивает сдвиг фазы сигнала на $\pi/2$ на частоте $f_{пч} = К/C_ф$, где $C_ф$ - емкость конденсатора, подключенного к выводу 17 микросхемы (см. рис. 11.16). При сопротивлении резисторов R2 и R3 микросхемы, указанном на этой схеме, и емкости конденсатора $C_ф$, равной 330 пФ (C7 на рис. 11.16), $f_{пч} = 70$ кГц. Входной и выходной сигналы $U_{пч}$ и $U'_{пч}$ остаются равными по напряжению при любой частоте.

В корреляторе внутренний фазовращатель с внешним конденсатором, подключенным к выводу 18, сдвигают фазу еще на $\pi/2$. Таким об-

разом, общий сдвиг фазы сигналов будет равным 180°. После инвертирования одного из сигналов происходит их сравнение.

Корреляционная система БШН с обратной связью по частоте в конечном счете обеспечивает единственный канал приема и точную настройку на станцию. Выходной сигнал коррелятора (с вывода 1) может быть использован для управления индикатором настройки.

На рис. 11.16 приведена принципиальная схема типового простого премного устройства ЧМ сигналов на МС К174ХА42А.

Конденсатор С16 (см. рис. 11.16) определяет постоянную времени системы бесшумной настройки. Фильтр R1C12 задает постоянную времени цепи коррекции предыскажений сигнала НЧ. От емкости конденсатора С11 зависит уровень шума, поступающего в НЧ тракт; чем больше емкость, тем громче шум. Если необходимо обеспечить абсолютно бесшумную настройку, этот конденсатор не подключают.

Конденсатор С10 входит в состав фильтра петли ОС по частоте. Он устраняет побочные составляющие сигнала ПЧ на выходе частотного детектора и определяет постоянную времени цепи ОС; влияет также на форму амплитудно-частотной характеристики тракта.

Конденсатор С15 – фильтр в цепи питания микросхемы. Конденсатор С5 превращает симметричный РЧ вход микросхемы в несимметричный. При монтаже конденсатора С5 необходимо максимально укоротить его выводы и принять меры к уменьшению индуктивной и емкостной связи с контуром гетеродина. Конденсатор С6 – фильтровый в цепи местной обратной связи усилителя-ограничителя 1, а С7

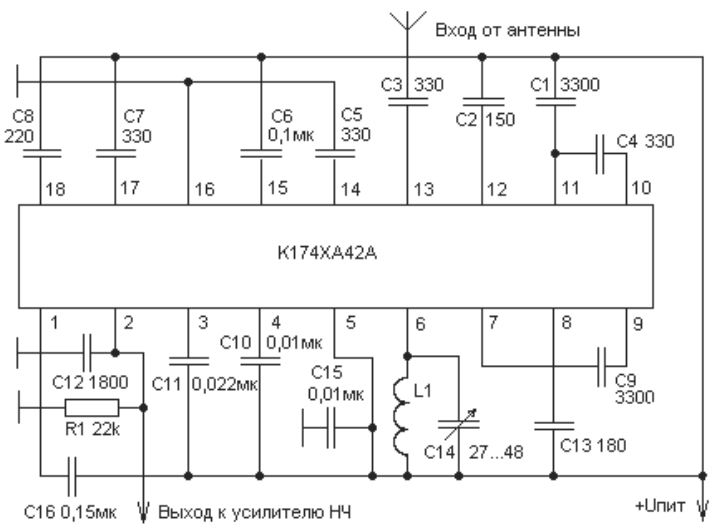


Рис. 11.16 Схема приемника ЧМ сигналов на К174ХА42А

и С8 – фазосдвигающие конденсаторы фазовых фильтров частотного детектора и коррелятора соответственно.

Типовая схема включения микросхемы К174ХА42Б представлена на рис. 11.17.

Цоколевка МС К174ХА42А:

вывод 1 – подключение конденсатора фильтра коррелятора;

вывод 2 – выход усилителя НЧ (с открытым коллектором);

вывод 3 – подключение конденсатора генератора шума;

вывод 4 – подключение конденсатора фильтра петли ОС по частоте;

вывод 5 – плюсовой вывод питания;

вывод 6 – подключение LC-контура гетеродина;

выводы 7-12 – подключение конденсаторов полосового фильтра ПЧ;

выводы 13,14 – вход усилителя сигнала радиочастоты;

вывод 15 – подключение конденсатора входной цепи усилителя-ограничителя 1;

вывод 16 – общий вывод; минусовый вывод питания:

вывод 17 – подключение конденсатора фазовращателя частотного детектора;

вывод 18 – подключение конденсатора фазовращателя коррелятора.

В каталогах фирм, торгующих радиокомпонентами, можно найти эти микросхемы. Особенно интересна МС К174ХА42А.

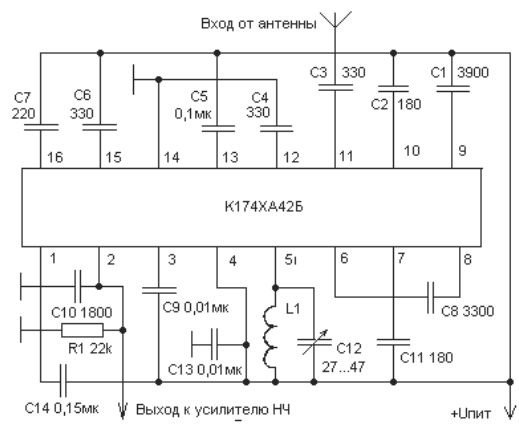


Рис. 11.17. Типовая схема включения К174ХА42Б

ГЛАВА 12.
УКВ РАДИОПЕРЕДАТЧИКИ

Простейший УКВ ЧМ радиопередатчик... 304

Передатчик на 145 МГц 309

Передатчик 145 МГц с эффективным смесителем..... 314

Передатчик с фиксированной частотой .. 316

Применение МС К174ПС1 319

Модульные усилители мощности 320

Контроль мощности 321

В этой главе рассмотрим конструкции нескольких простых радиопередатчиков, предназначенных для радиосвязи на любительских УКВ диапазонах.

В главе 1 (см. рис. 1.2) была приведена блок-схема УКВ передатчика с довольно подробным описанием всех блоков этой схемы. Поэтому не буду повторяться и ограничусь пока сообщением о том, что все приведенные ниже УКВ ЧМ передатчики будут в основном соответствовать этой блок-схеме.

ПРОСТЕЙШИЙ УКВ ЧМ РАДИОПЕРЕДАТЧИК

Блок-схема этого простейшего радиопередатчика показана на рис. 12.1. Схема состоит из следующих блоков.

Назначение различных блоков на этой схеме следующее:

1. Блок 1 является задающим генератором (ЗГ) и представляет собой маломощный генератор электромагнитных колебаний определенной частоты. Для изменения частоты задающего генератора имеется узел перестройки частоты, позволяющий изменять излучаемую ЗГ частоту в пределах заданного диапазона. Кроме того, к задающему генератору подключен модулятор, выполняющий модуляцию частоты звуковым сигналом от микрофона Мик1.
2. Блок 2 служит умножителем частоты, генерируемой ЗГ, до необходимой величины. Обычно УКВ передатчики должны иметь на выходе достаточно высокую частоту, но изготовить ЗГ на эту частоту бывает или очень сложно, или невозможно обеспечить на этой высокой частоте требуемую стабильность. Поэтому ЗГ УКВ передатчика строится на довольно низкой частоте (порядка до 20 МГц), а затем эта частота умножается в полное число раз до необходимой величины несколькими каскадами умножения.

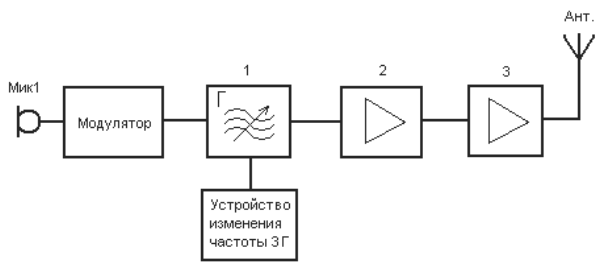


Рис. 12.1. Блок-схема радиопередатчика

3. Блок 3 является усилителем мощности (УМ) передатчика. Это очень ответственный блок, который должен обеспечить необходимую мощность сигнала в антенне.
4. Кроме этих блоков на схеме рис. 12.1 показано устройство изменения частоты задающего генератора и модулятор.

Рассмотрим конкретную схему простейшего УКВ ЧМ передатчика, который может служить и как самостоятельный передатчик на определенный диапазон частот, и как блок к более сложному передающему УКВ аппарату. Схема этого передатчика показана на рис. 12.2.

На схеме рис. 12.2 не показаны модулятор и усилитель мощности. Принципиальная схема модулятора будет приведена на следующем рисунке, а схему усилителя мощности можно выбрать из числа опубликованных в главе 9 этой книги.

УКВ ЧМ передатчик, принципиальная электрическая схема которого показана на рис. 12.2, состоит из ЗГ на транзисторе VT1 и двух каскадов удвоения частоты. Первый из них выполнен как двухтактный удвоитель на транзисторах VT2 и VT3, второй каскад удвоения также является двухтактным и выполнен на транзисторах VT4 и VT5. Все транзисторы – КТ315 (для простоты приобретения и исполнения). Двухтактные схемы удвоителей выбраны с целью подавления нечетных гармоник ЗГ. Кроме того, удвоители по двухтактной схеме дают сильный сигнал и очень легко настраиваются, что очень важно для начинающих.

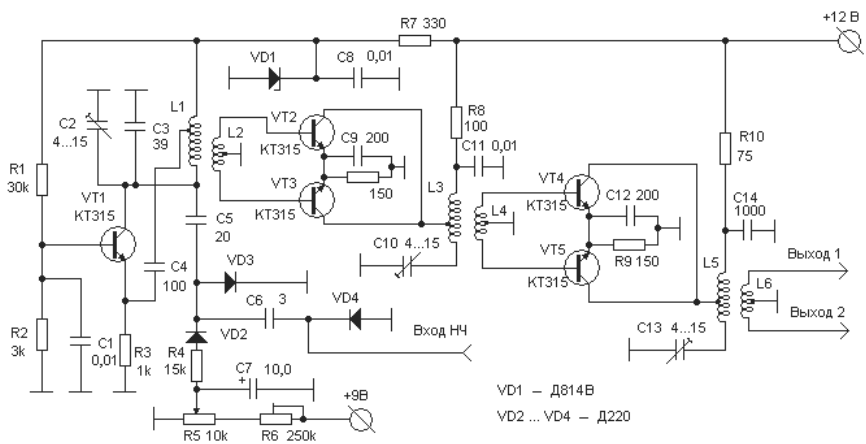


Рис. 12.2. Схема простейшего УКВ ЧМ передатчика

Стабилитрон VD1 служит для стабилизации напряжения питания ЗГ. Это сделано с целью улучшения стабильности излучаемой ЗГ частоты.

На рис. 12.3 показана схема модулятора, выход которого подключается к ЗГ через «Вход НЧ».

Модулятор представляет собой простейший предварительный усилитель сигналов НЧ на двух транзисторах VT1 и VT2. К входу модулятора подключен динамический микрофон, с выхода модулятора НЧ сигнал может подаваться на «Вход НЧ» задающего генератора (см. рис. 12.2).

Устройство управления частотой ЗГ выполнено на диодах VD2 и VD3, резисторах R4, R5 и R6, конденсаторах C5 и C7 (см. рис. 12.2).

Предлагаю изготовить такой передатчик на одну из свободных частот широковещательного УКВ диапазона (например, для частоты 66 МГц, если в вашем регионе на этой частоте или близких к ней частотах нет работающих радиостанций). Этот передатчик сначала будет служить для целей освоения процесса создания подобных аппаратов, а впоследствии он пригодится для совместной работы с МС К174ХА34 в составе довольно сложной УКВ ЧМ радиостанции.

Если на выходе необходимо получить частоту 66 МГц, то ЗГ должен генерировать частоту 66 : 4 = 16,5 МГц. На эту частоту должен быть настроен контур L1C2C3. Контур L3C10 должен быть настроен на вторую гармонику частоты ЗГ, то есть на частоту 33 МГц, а контур L5C13 должен быть настроен на частоту 66 МГц.

С помощью программы INDUKTIW определим число витков каждой из катушек передатчика.

Катушка L1 должна быть настроена на частоту 16,5 МГц, предполагаемая емкость контура 30 пФ. При этих значениях программа вы-

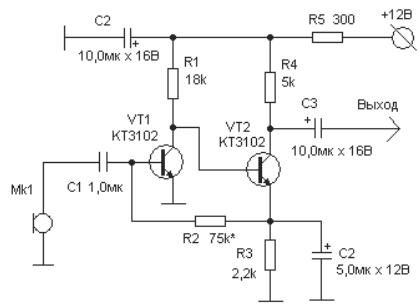


Рис. 12.3. Схема модулятора

дает величину индуктивности 3,095 мкГн, что для диаметра катушки 8 мм и длины 10 мм дает расчетное число витков 25,6. Катушка L1, исходя из условия стабильности частоты, должна обязательно выполняться на каркасе. При этом намотка катушки должна выполняться с максимально возможным натяжением провода, концы катушки должны быть жестко закреплены, между витками катушки должен быть зазор не менее 0,5 мм. На схеме рис. 12.2 для настройки контура применены конденсаторы С2 и С3. Но это совсем не обязательный вариант. Настройка контура может также выполняться с помощью подстроечного сердечника, вворачиваемого в корпус катушки. При этом варианте надобность в конденсаторах С2 и С3 пропадает, и размещение деталей на плате становится более компактным. Выбор должны делать вы, исходя из своих возможностей.

Полученное количество витков 25,6 предполагает отсутствие дополнительных емкостей, подводимых к контуру извне. Поэтому реальное количество витков должно быть меньше этой величины. Если предполагается настройка контура емкостями, то число витков может быть 24. Если контур будет настраиваться подстроечным сердечником, то число витков нужно уменьшить значительно, например, до 18. Магнитная проницаемость сердечника может очень сильно увеличить индуктивность катушки.

Катушка L3 должна работать на частоте 33 МГц, предполагаемая емкость 20 пФ. При этих данных, а также при диаметре катушки 9 мм и длине 10 мм, расчетное число витков получаем 14,2. Выбираем количество витков 12. Дело в том, что к емкости собственно контура нужно прибавить сумму выходных емкостей двух транзисторов (VT2 и VT3), подключенных непосредственно к контуру.

Катушка L5 должна работать на частоте 66 МГц, предполагаемая емкость 15 пФ. При этом получаем индуктивность, равную 0,38 мкГн и число витков 8,19, если диаметр катушки 9 мм, а длина – 10 мм. Выбираем число витков 7.

Для изготовления катушки связи L2 (а также и L4) необходимо взять два отрезка провода ПЭЛ 0,3 (или аналогичного с другим видом изоляции) такой длины, которой было бы достаточно для выполнения трех витков на диаметре 9 мм. Определим длину отрезка $(3{,}14 \times 9) \times 3 = 85$ мм и добавим еще на концы 20 мм. Получим длину отрезка 105 мм. Зажимаем концы двух этих отрезков и скручиваем (свиваем) оба провода в единый жгутик. Затем на оправке диаметром

8-9 мм делаем из этого жгутика три витка, которые собираем вместе и обматываем по периметру кольца тонкой ниткой, чтобы кольца не распадались. Получилось колечко с четырьмя выводами – два начала и два конца. Зачищаем все четыре конца и скручиваем начало первого провода с концом второго провода – это будет средняя точка L2, которую в дальнейшем будем припаивать к основанию (земле). Два других конца будут подключаться к базам VT2 и VT3.

На рис. 12.4а схематично показан один из возможных вариантов расположения элементов двухтактного умножителя частоты на VT2 и VT3. Если монтаж делается на плате из фольгированного материала, то в плате делаются ножом-резаком дорожки для крепления выводов транзисторов VT2 и VT3. Если монтаж делается на основании из металла (например, белой жести), то для крепления выводов транзистора вырезается специальный кубик из фольгированного материала, на котором делаются ножом канавки в соответствии с рис. 12.4а.

На рис. 12.4б тоже схематично показан вариант готовой катушки связи L2 или L4.

Настройка передатчика начинается с настройки контура L1C2C3 на частоту 16,5 МГц. Удобнее всего это делается с помощью связного радиоприемника. В крайнем случае настройку нужно выполнить с помощью волномера (ГИРа). Затем измерительная катушка волномера приближается к катушке L3, и контур L3C10 настраивается на максимальное показание измерительного прибора волномера.

Точно так же настраивается и контур L5C13.

Суммарная величина тока через два транзистора двухтактного умножителя частоты зависит от величины сопротивления резистора в цепи эмиттеров и индивидуальных параметров транзистора. По идее, катоды транзисторов должны быть разъединены и каждый из транзисторов должен иметь свой собственный резистор, величина

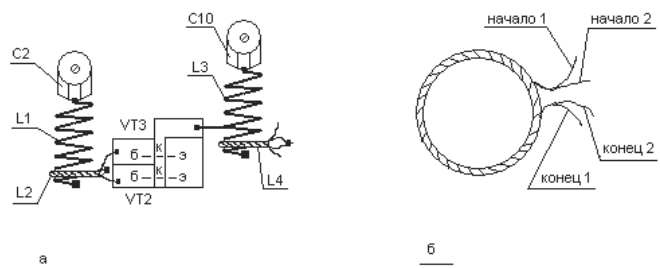


Рис. 12.4. Вариант расположения элементов умножителя частоты

которого должна зависеть от индивидуальных параметров транзистора. Однако многолетний опыт показал, что параметры транзисторов с одинаковыми буквами в обозначении примерно равны и ничего плохого при соединении эмиттеров двух транзисторов не происходит. *Следует помнить, что уменьшение сопротивления резистора в цепи эмиттеров до величины 75 Ом и менее приводит к резкому увеличению тока, перегреву транзисторов и выходу их из строя.*

После окончания настройки к выходу 1 катушки L6 следует подсоединить кусок провода длиной 0,5 метра, который будет служить антенной передатчика. Подключается модулятор с микрофоном, и теперь можно пробовать прослушивание сигнала нового передатчика либо на бытовой радиоприемник с УКВ диапазоном, либо на предварительно изготовленный УКВ ЧМ радиоприемник на МС К174ХА34.

После того как вы успешно приняли сигналы своего нового передатчика на радиоприемник, необходимо резистором R6 установить границы диапазона перестройки частоты передатчика, а подбором конденсатора С6 добиться качественной модуляции сигнала передатчика.

Делать к этому передатчику усилитель мощности и подключать к выходу передатчика внешнюю антенну *нельзя*. Это создаст помехи для радиоприемников и телевизоров вашим соседям.

Еще раз напоминаю, что этот передатчик в дальнейшем может пригодиться как составная часть для последующих, более сложных аппаратов.

ПЕРЕДАТЧИК НА 145 МГЦ

Рассмотрим конструкцию передатчика для проведения любительской УКВ ЧМ связи на любительском диапазоне 145 МГц. На рис. 12.5 приведена блок-схема передатчика.

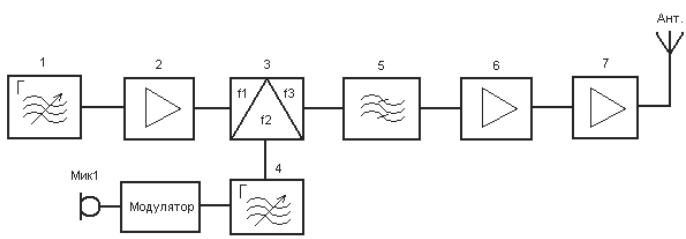


Рис. 12.5. Блок-схема передатчика на 145 МГц

Принципиальная электрическая схема кварцевого гетеродина и смесителя для этого передатчика размещена на рис. 12.6. Схема генератора плавного диапазона для этого передатчика размещена на рис. 12.8. В качестве УМ можно использовать схему трехкаскадного усилителя мощности, показанную на рис. 12.7.

Задающий кварцевый генератор выполнен по трехточечной схеме на транзисторе VT1. На транзисторе VT2 выполнен умножитель частоты, который может работать либо в режиме удвоения частоты, либо в режиме утроения частоты. Режим работы зависит от настройки контура L1C4C6, расположенного в цепи коллектора VT2. Далее следует двухтактный удвоитель частоты на VT3 и VT4, удвоенная частота выделяется контуром L3C8C9.

С этого контура через катушку связи L4 сигнал подается на выполненный по двухтактной схеме на транзисторах VT5 и VT6 балансный смеситель. Сигнал от внешнего (на схеме не показан) генератора плавного диапазона (ГПД) поступает на смеситель с «Вход 1» через конденсаторы C11 и C12. Результирующий сигнал выделяется контуром L5C14C15.

Далее следует еще один каскад удвоения частоты, выполненный по двухтактной схеме на транзисторах VT7 и VT8. Сигнал удвоенной частоты выделяется контуром L7C16C17.

Через катушку связи L8 сигнал подается на усилитель мощности, который может быть выполнен по схеме, изображенной на рис. 12.7.

Схема усилителя мощности не имеет особенностей и практически равноценна схеме, изображенной на рис. 9.1. Описание схемы и порядок выполнения настройки УМ смотрите в главе 9.

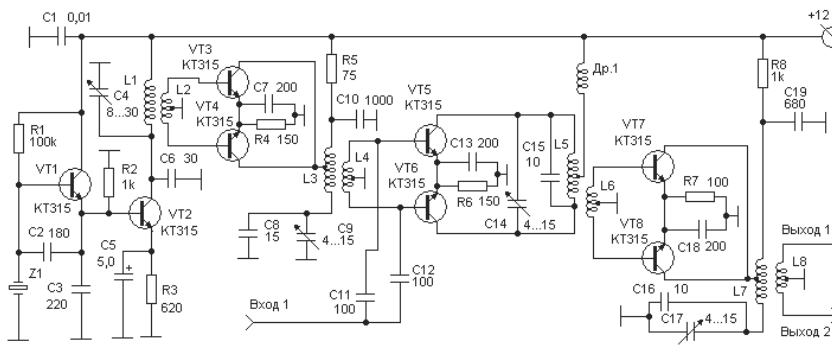


Рис. 12.6. Схема гетеродина и смесителя

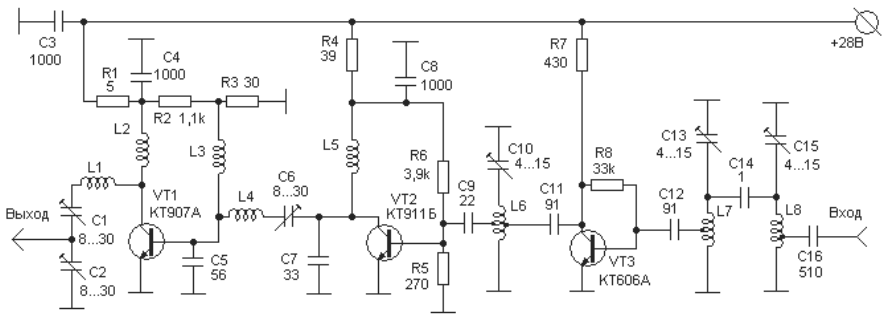


Рис. 12.7. Схема усилителя мощности

На рис. 12.8 показана схема генератора плавного диапазона, которая может быть использована в составе данного на рис. 12.5 передатчика.

Генератор плавного диапазона (ГПД) выполнен на транзисторе VT1. Рабочая частота генератора задается настройкой контура L1C2C3 и набором емкостей, поступающих на контур от диодов VD2-VD4 через конденсатор C5. От контура ГПД через катушку L2 сигнал поступает к базам транзисторов VT2 и VT3, которые работают в двухтактном удвоителе частоты. Удвоенная частота выделяется в контуре L3C10, от которого через катушку связи L4 может подаваться к смесителю передатчика.

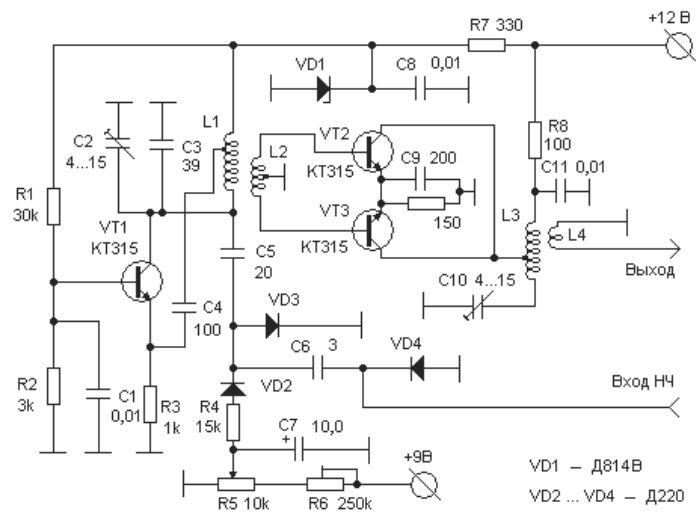


Рис. 12.8. Схема ГПД

В предложенной схеме ГПД перестройка частоты в пределах диапазона выполняется системой электронной настройки, выполненной на диодах VD2 и VD3. Напряжение питания к этим диодам подается через делитель на резисторах R5 и R6.

ГПД имеет «Вход НЧ», на который необходимо подать сигнал от модулятора и микрофона. Схему модулятора с подключенным динамическим микрофоном можно взять на рис. 12.3.

Описание примененных в передатчике различных узлов и компонентов закончено. Теперь необходимо выбрать величины частот, которые могут обеспечить нормальную работу передатчика в диапазоне 144-146 МГц.

Вернемся к рис. 12.6.

Передатчик должен работать в диапазоне частот 144-146 МГц, значит, контур L7C16C17 должен быть настроен на частоту этого диапазона.

Рассуждаем далее следующим образом. Между смесителем и выходом передатчика находится один каскад удвоения, следовательно, на выходе смесителя необходимо получить частоты 72-73 МГц, которые после удвоения превратятся в 144-146 МГц. Следовательно, контур L5C14C15 должен быть настроен на частоту в диапазоне 72-73 МГц.

На входы смесителя необходимо подать сигнал от кварцевого гетеродина с частотой чуть ниже 70 МГц и сигнал от ГПД порядка 10-15 МГц. Здесь может быть большое число различных вариантов, и ваш выбор в дальнейшем в подобном случае будет зависеть от имеющихся в наличии кварцевых резонаторов. В данном случае очень удобным может быть такой вариант: когда от кварцевого гетеродина подать на смеситель фиксированную частоту 60 МГц, а от ГПД подать перестраиваемый диапазон частот от 12 до 13 МГц. Тогда на выходе смесителя как раз и получим частоты 72-73 МГц.

Для этого варианта нужно иметь кварцевый резонатор на частоту 15 МГц, что обычно не представляет больших трудностей. При этом контур L1C4C6 должен быть настроен на частоту 30 МГц, а контур L3C8C9 – на частоту 60 МГц.

Рассмотрим схему ГПД (рис. 12.8).

В рассматриваемом варианте на выходе ГПД нужно иметь частоты 12-13 МГц. При этом контур L3C10 должен быть настроен на эти частоты. Контур L1C2C3 должен перестраиваться в диапазоне 6-6,5 МГц, что после удвоения даст нам необходимые 12-13 МГц. Система электронной перестройки частоты должна обеспечить перестройку частоты в заданном диапазоне. Расчет системы электронной

перестройки частоты приведен в Приложении 3, поэтому останавливаться на этом вопросе не стоит.

Не будем также останавливаться на описании выбора числа витков катушек индуктивности. Все это очень подробно рассмотрено в описании предыдущего передатчика.

Рассмотрим некоторые моменты, связанные с изготовлением усилителей мощности. Еще раз напоминаю, что радиолюбителям всех категорий разрешено на УКВ иметь мощности передатчиков **не более 5 Вт**. Поэтому в данной книге как раз и рассматриваются схемы УМ, выходная мощность которых не превышает разрешенной. Только для специальных целей и по специальным разрешениям можно радиолюбителям использовать передатчики повышенной мощности.

Вот некоторые из главных условий, которые необходимо соблюдать при создании УМ:

- транзисторы оконечной и предоконечной ступеней УМ должны устанавливаться на радиаторы-охладители. Желателен обдув воздухом этих охладителей;
- контур, расположенный в цепи коллектора любого транзистора УМ, должен быть экранирован перегородкой от контура, расположенного в цепи базы этого же транзистора. Это предотвращает самовозбуждение транзисторных усилительных каскадов;
- не следует пытаться получить от транзистора большую мощность, чем записано в паспорте. Необходимо следить за коллекторным током транзистора и не допускать величину тока выше указанной в паспорте;
- на выходе УМ постоянно должна быть включена рабочая нагрузка или эквивалент нагрузки с расчетной величиной входного сопротивления. Особенно за этим необходимо следить при создании реле переключения антенны.

В любительской литературе часто можно найти описание конструкций различных УМ, фотографии с расположением деталей в этих УМ. Каждый из радиолюбителей сам решает вопросы компоновки создаваемых им аппаратов, в том числе и различных УМ. Советую учиться на собственном опыте.

ПЕРЕДАТЧИК 145 МГЦ С ЭФФЕКТИВНЫМ СМЕСИТЕЛЕМ

Первой особенностью этого передатчика является балансный смеситель, выполненный на двухзатворных полевых транзисторах. Вторая особенность – кварцевый гетеродин выполнен на высокочастотном кварце 58 МГц.

Блок-схема передатчика соответствует рис. 12.5.

Принципиальная схема передатчика (без генератора плавного диапазона) показана на рис. 12.9.

Передатчик предназначен для линейного преобразования сигналов от ГПД (или от внешнего SSB передатчика) с частотами диапазона 28-30 МГц в сигналы с частотами диапазона 144-146 МГц и последующего усиления мощности до 2,5 Вт. При этом мощность входного от ГПД сигнала должна составлять не более 0,25 мВт. Таким образом, коэффициент передачи устройства составляет 40 дБ. Высокая линейность передатчика получается в большей степени за счет применения в балансном смесителе двухзатворных полевых транзисторов.

Смеситель передатчика – балансный. В нем применены двухзатворные полевые транзисторы VT1 и VT2, обеспечивающие высокую линейность. На их затворы поступают входной сигнал от ГПД и сигнал гетеродина частотой 116 МГц. Сигнал суммарной частоты – 144-

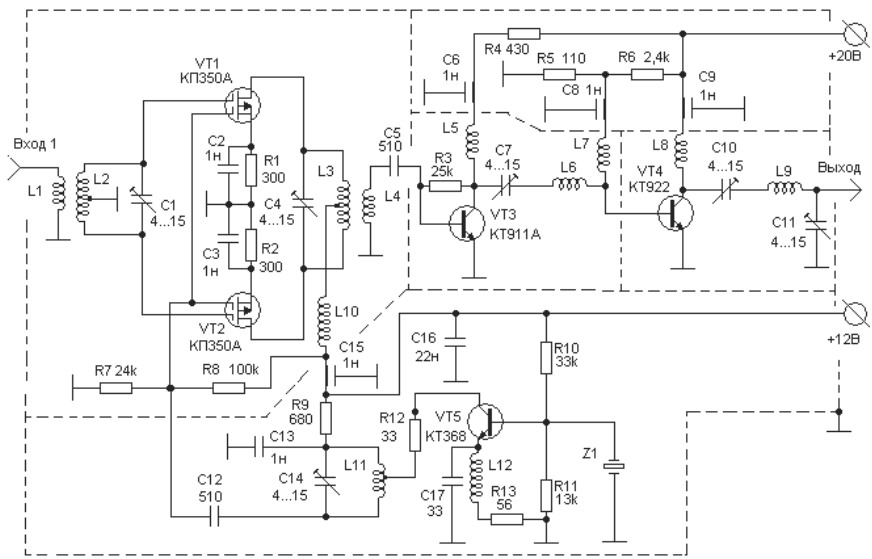


Рис. 12.9. Схема передатчика с эффективным смесителем

146 МГц – выделяется контуром L3C4, включенным в цепи стоков VT1 и VT2.

Коэффициент передачи смесителя равен 10 по мощности. Это очень большая величина по сравнению со смесителями других типов.

В гетеродине применен кварцевый резонатор Z1 на частоту 58 МГц и транзистор VT5 с контуром L11C13 в цепи коллектора, настроенным на вторую гармонику кварцевого резонатора Z1. При изменении питающего напряжения на ±1 В уход частоты гетеродина составляет ±200 Гц.

Далее сигнал усиливается двумя каскадами линейного усилителя мощности. В первом каскаде на VT3, имеющем наибольшее усиление (200), использован транзистор, работающий в классе А. Выходной каскад (его усиление по мощности равно пяти) выполнен на транзисторе VT4, обладающем повышенной электрической прочностью и хорошей линейностью.

Выход передатчика рассчитан на нагрузку 70 Ом.

Питается передатчик от двух источников с напряжением 12 и 20 В.

Катушки L1, L2 намотаны на кольцевом ферритовом сердечнике 20ВЧ К7×4×2; L1 содержит два витка, L2 – 2×6 витков провода ПЭВ-1 0,23. Катушка L2 намотана в два провода: конец первого, соединенный с началом второго, служит средней точкой. Катушки L3, L4 намотаны на цилиндрическом фторопластовом каркасе диаметром 7 и длиной 25 мм. Катушка L3 намотана посеребренным проводом диаметром 1 мм и имеет пять витков с отводом от середины. Выводы от крайних витков пропущены сквозь отверстия в каркасе. Длина намотки – 15 мм. Катушка L4 состоит из двух частей (по одному витку) того же провода, одетого во фторопластовую трубочку. Ее витки расположены между крайними витками L3 и соединены параллельно. Катушка L11 – бескаркасная. Она состоит из 5,75 витка посеребренного провода диаметром 1 мм, длина намотки – 10 мм, внешний диаметр – 8 мм, отвод – от 0,25-го витка сверху (по схеме). Катушки L5 и L8 выполнены из куска провода ПЭВ-20,3 длиной 150 мм. Они имеют бескаркасную намотку на оправке Ø 2,5 мм.

Катушки L6 и L9 бескаркасные, диаметром 9 мм и длиной 7 мм. Намотаны проводом из посеребренной меди Ø 0,8 мм.

Дроссели L10, L7 и L12 намотаны на резисторах МЛТ-0,25 сопротивлением 100 кОм проводом ПЭВ-1 0,12 в один ряд до заполнения (должно уложиться около 30 витков).

Все подстроечные конденсаторы – КТ4-21б.

Каскады передатчика разделены экранами (расположение деталей соответствует принципиальной схеме). Для обеспечения устойчивой работы усилителя его базовые цепи отделены экранами от коллекторных.

Остальные детали установлены на печатных платах, закрепленных на стойках на радиаторе.

Настройку приставки начинают с гетеродина. При отсутствии генерации ток коллектора транзистора VT5 составляет примерно 8 мА, при возбуждении от резонатора – 12 мА. Кварц должен возбудиться на механической гармонике, частота которой обозначена на корпусе. В случае возбуждения кварца на основной частоте следует уменьшить емкость конденсатора С17. При возникновении паразитных колебаний можно зашунтировать дроссель L12 резистором сопротивлением 100 Ом, а также включить резистор сопротивлением 56 Ом вместо R12 (между коллектором и контуром L11C13).

При настроенном гетеродине ВЧ напряжение на затворах смесителя должно составлять 2,2-2,7 В. При измерении входную емкость прибора нужно компенсировать расстройкой конденсатора С13.

При настройке смесителя на вход передатчика подают сигнал частотой 28,3 МГц, а к катушке L4 подключают любой измеритель мощности. Настраивая контуры L2C1 и L3C4 и увеличивая входной сигнал, получают входную мощность 2,5 мВт. Подключают измеритель мощности к генератору и измеряют мощность, которая подавалась на вход. Она должна быть равной 0,25 мВт.

При мощности сигнала на входе усилителя 2,5 мВт ток коллектора первого каскада должен быть равен 30-32 мА, выходного каскада – 240-250 мА.

Затем проверяют совместную работу всех каскадов передатчика.

Необходимо помнить, что балансный смеситель имеет линейную характеристику и может обеспечить гораздо большую, чем 2,5 мВт, выходную мощность, поэтому превышение уровня 0,5 мВт на входе может привести в негодность транзистор VT3.

ПЕРЕДАТЧИК С ФИКСИРОВАННОЙ ЧАСТОТОЙ

Передатчик с фиксированной частотой предназначен для работы на любительском УКВ диапазоне 144-146 МГц в режиме ЧМ. Описание и схема этого передатчика включены мною в эту книгу для примера несколько иного построения схемы передатчика и умножителей частоты, чем в большинстве других схем, размещенных в этой книге.

Думаю, что схема этого передатчика может вызвать интерес у некоторых радиолюбителей.

Обратите внимание на задержку по времени при подаче питания на ЗГ.

Мощность, подводимая к последнему каскаду на VT5 в режиме ЧМ, составляет порядка 0,2 Вт.

Изменение частоты передатчика производится заменой кварцевого резонатора. Номинальное напряжение питания – 20 В.

Принципиальная схема передатчика приведена на рис. 12.10.

Передатчик состоит из задающего генератора (транзистор VT1), утроителя (VT2), удвоителя (VT3), предварительных усилителей мощности (VT4 и T5). Если к этому передатчику добавить усилитель мощности на одном транзисторе КТ907А, то можно будет получить на выходе этого каскада мощность порядка 4 Вт.

Частотный модулятор подключается к точке А.

Задающий генератор выполнен по схеме с общей базой, с включением кварцевого резонатора на частоту около 7,2 МГц (или 12 МГц) в цепь обратной связи. Он возбуждается на третьей гармонике кварца. Все усилительные каскады и умножители частоты собраны по схеме с общим эмиттером. Напряжение смещения на базы транзисторов подается от делителей напряжения, а для стабилизации режима транзисторов по постоянному току в цепь эмиттеров включены резисторы. Для устранения отрицательной обратной связи по переменному току в цепи эмиттеров включены развязывающие конденсаторы. Связь цепи базы во всех каскадах автотрансформаторная.

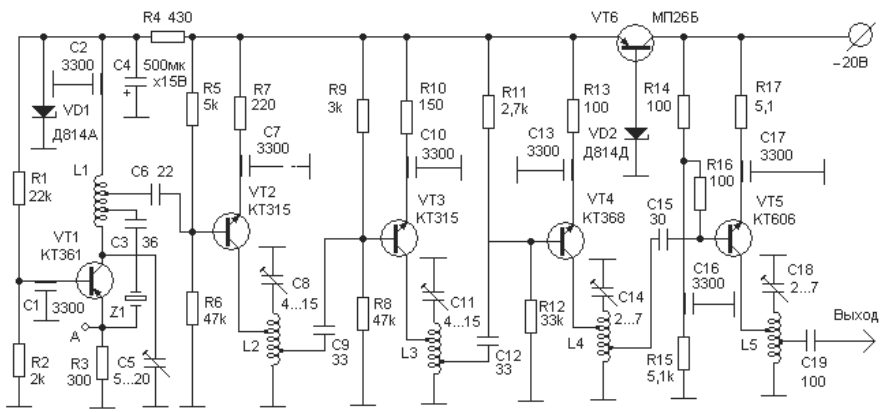


Рис. 12.10. Схема передатчика с фиксированной частотой

В передатчике предусмотрена задержка подачи питания на задающий генератор. При подаче напряжения 20 В на передатчик напряжение одновременно поступает на транзисторы Т2, Т3, Т4, Т5. В то же время начинает заряжаться конденсатор С4. Время заряда выбрано 0,5-1 с. Как только напряжение на конденсаторе С4 достигнет необходимого уровня, генератор заработает. Подобная схема предохраняет от выхода из строя транзистор оконечного каскада из-за подачи возбуждающего напряжения при отключенной нагрузке.

Передатчик собран на шасси с размерами 210×57×32 мм, изготовленном из листовой латуни толщиной 1 мм.

Конденсатор С5 типа КПК-М. Резистор R17 типа УЛИ, остальные – МЛТ.

Намоточные данные приведены в табл. 12.1.

Таблица 12.1. *Намоточные данные катушек*

Обозначение по схеме	Число витков	Отвод*	Провод	Способ намотки	Диаметр намотки (внутренний), мм
L1	24	19 и 14	ПЭВ-1	Виток к витку	На каркасе Ø 6 мм
L2	9	5 и 8	Ø 0,31	С шагом 2,0 мм	9,2
L3	4	0,5 и 3	Посеребренный Ø 0,8	С шагом 3,5 мм	9,2
L4	4	0,5 и 3			9,2
L5	4	0,5 и 3			9,2

* Отводы считают от нижнего вывода катушки

Коллекторные токи транзисторов измерены при отключенном кварце Z1. Ток VT1 должен быть порядка 5-6 мА, ток VT2 – 0,5-1 мА, ток VT3 – 0,5-1 мА, ток VT4 – 1-1,5 мА, ток VT5 – 20-25 мА.

Настройку передатчика начинают с задающего генератора. Медленно изменяя емкость конденсатора С5 и контролируя частоту волномером, добиваются, чтобы генератор устойчиво возбуждался на третьей механической гармонике кварца. Убедиться в правильности работы генератора можно с помощью КВ приемника, настроив его на частоту сигнала задающего генератора на VT1 в телеграфном режиме. Тон в телефонах должен быть чистым.

Особенно внимательным следует быть при использовании в генераторе кварцев от радиостанции РСИУ-3. Эти кварцы имеют цилиндрический пластмассовый корпус коричневого или черного цвета,

диаметр корпуса 20 мм, длина корпуса 40 мм. Они легко возбуждаются на паразитных частотах, а иногда происходит срыв генерации при включении питания.

Более надежный генератор можно выполнить по уже рекомендованной в главе 5 схеме на полевом транзисторе КП303. Число витков катушки L1 – 16, а катушки L2 – 4. Частота кварца должна быть 7,2 МГц (или 12 МГц). Генератор настраивают на пятую (или третью) механическую гармонику кварца 36 МГц. Сигнал с генератора через конденсатор С6 подается на второй каскад передатчика, который теперь работает удвоителем.

Убедившись в том, что задающий генератор работает надежно, приступают к настройке остальных каскадов.

Контур L2C8 настраивают на частоту 72 МГц (конденсатором С8), а конуры L3C11, L4C14 и L5C18 – на частоту 144 МГц.

Для более точного согласования подбирают отводы у катушек L2-L5.

После этого проверяют передатчик (волномером) на отсутствие излучения паразитных частот, кратных частоте 32 МГц (24 МГц). Если сигналы этих частот присутствуют на выходе передатчика, то необходимо уменьшить связи между каскадами (отводами катушек) и уменьшением емкостей переходных конденсаторов и более тщательно настроить все каскады.

ПРИМЕНЕНИЕ МС К174ПС1

Микросхема К174ПС1(ПС4) может быть применена в качестве смесителя частот передатчика. Схема внутреннего строения этой МС показана на рис. 4.15.

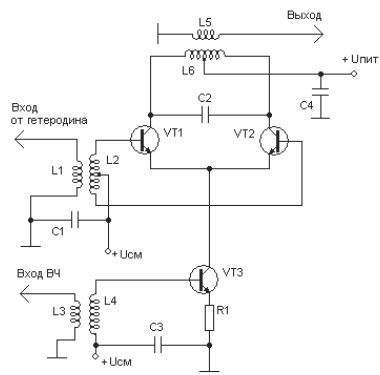


Рис. 12.11. Схема балансного смесителя частот

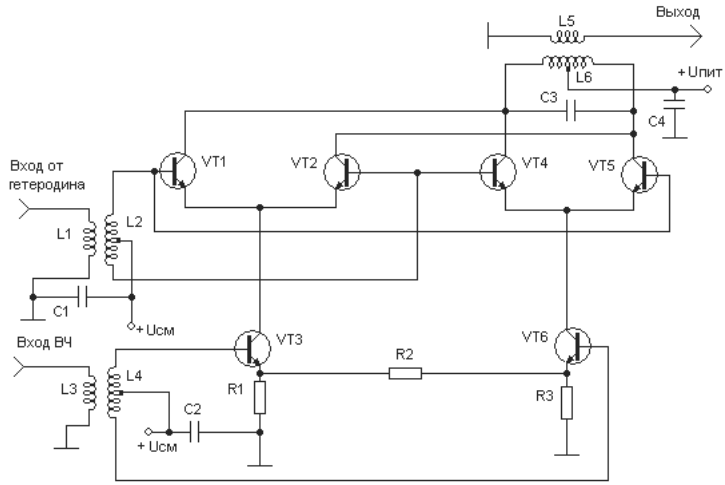


Рис. 12.12. Схема кольцевого балансного смесителя

На базе этой МС можно создать балансный смеситель частот, схема которого показана на рис. 12.11.

Но в выходном сигнале балансного смесителя могут присутствовать паразитные компоненты как сигнала гетеродина, так и входного ВЧ сигнала.

На рис. 12.12 показана принципиальная схема кольцевого балансного смесителя, которая также может быть реализована на базе МС К174ПС1(ПС4).

Смеситель, созданный по этой схеме, практически лишен недостатков простого балансного смесителя.

Далее предлагаю вам схему экспериментального передатчика, смеситель которого выполнен на МС К174ПС1 по схеме кольцевого балансного смесителя. Эта схема показана на рис. 12.13.

Предлагаю вам самим, основываясь на полученном опыте, рассчитать параметры всех элементов этого передатчика, смонтировать, настроить и проверить качество сигнала передатчика.

МОДУЛЬНЫЕ УСИЛИТЕЛИ МОЩНОСТИ

Зарубежными фирмами производятся усилители мощности в виде отдельного модуля, который при подаче на его вход сигнала мощностью 20-40 мВт выдает на выходу усиленный сигнал мощностью 5 Вт. Напряжение питания – 0-11 В.

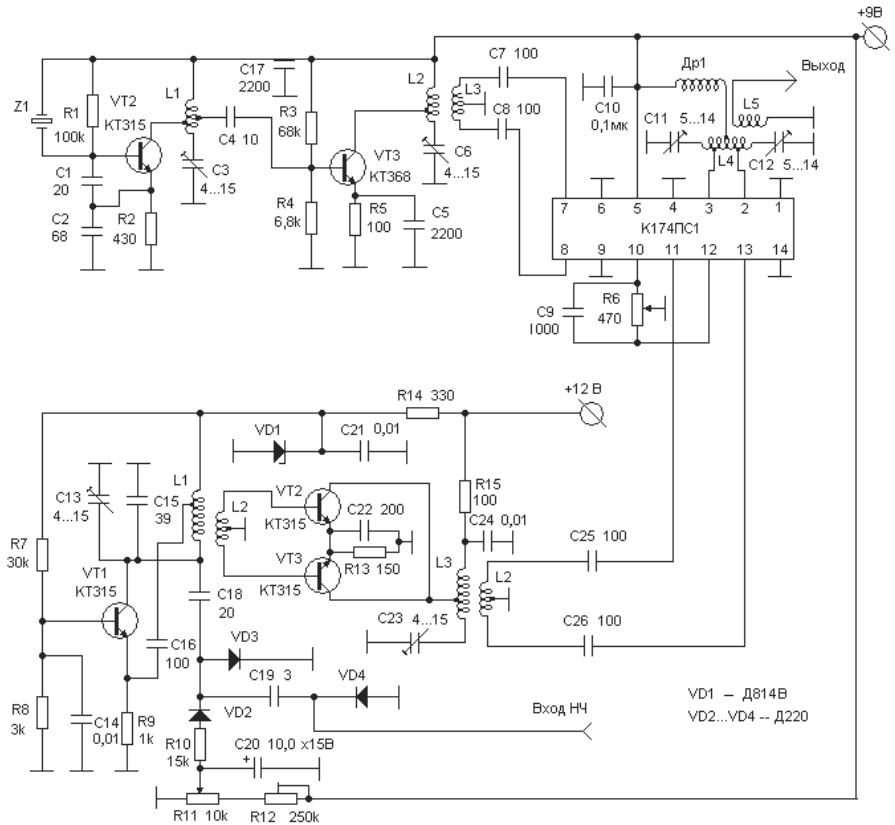


Рис. 12.13. Схема передатчика со смесителем на МС К174ПС1

В любительской литературе приводятся следующие названия подобных модулей:

M67799MA, M57714M-01, M57797MA-01, M67705M-01 и M67749M-01.

КОНТРОЛЬ МОЩНОСТИ

Измерение выходной мощности передатчика с достаточной для любительских целей точностью можно выполнить с помощью эквивалента нагрузки и высокочастотного вольтметра.

Для начала необходимо построить график, выполненный на основании зависимости выходной мощности от величины сопротивления нагрузки и величины напряжения на этой нагрузке. В табл. 12.2 приведены величины, необходимые для построения графика.

Таблица 12.2. *Расчет графика*

U, В	1	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16
U^2	1	4	9	16	25	36	64	100	144	196	256
$U^2/100$	0,01	0,04	0,09	0,16	0,25	0,36	0,64	1	1,44	1,96	2,56
$U^2/75$	0,013	0,053	0,12	0,213	0,33	0,48	0,853	1,33	1,92	2,61	3,41
$U^2/50$	0,02	0,08	0,18	0,36	0,50	0,72	1,28	2,0	2,88	3,92	5,12

Пример построения такого графика показан на рис. 12.14.

Зависимость между указанными величинами выражается математической формулой $P = U^2 / R$, где

P – выходная мощность;

U – напряжение на нагрузке;

R – сопротивление нагрузки.

Практически это делается следующим образом. К выходу передатчика подключается эквивалент нагрузки, включается передатчик на полную мощность, и в этом положении измеряется величина напряжения на эквиваленте нагрузки.

Измеренную величину напряжения откладываем на оси графика и по точке пересечения горизонтальной прямой, соответствующей измеренному напряжению, с кривой линией зависимости находим расчетную величину мощности.

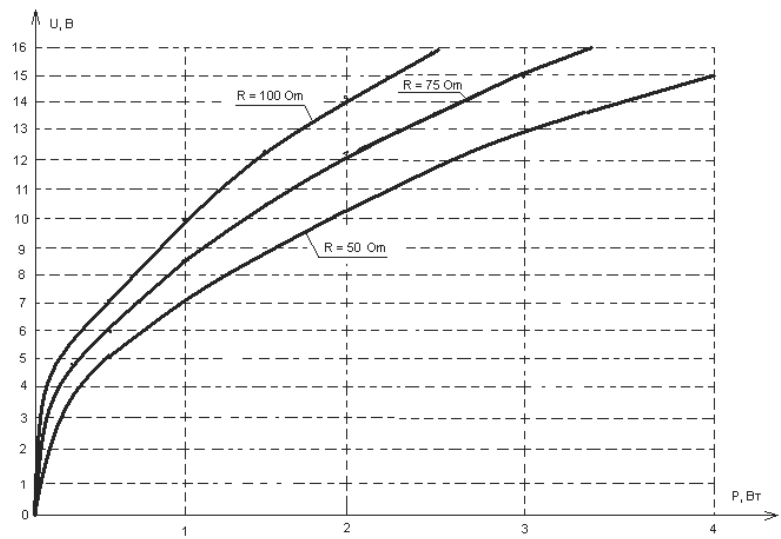


Рис. 12.14. График для расчета мощности

ГЛАВА 13.
УКВ ЧМ РАДИОСТАНЦИИ

Простая УКВ ЧМ радиостанция 326
Основной блок радиостанции 328
Кварцевый гетеродин 331
Конвертер 144/64 МГц 332
Передающая приставка 64/144 МГц с УМ 334
Настройка 335

Радиостанция с генератором плавного диапазона 336
Назначение рабочих частот 338
Дополнительный каскад УПЧ 339
Некоторые советы 340

Радиостанция для диапазона 435 МГц .. 341
Выбор рабочих частот 344

Дополнительные устройства радиостанций 345
Выходные каскады УМ 345
ВЧ разъемы 346

Антенные переключатели 346
Варианты АП для РЛС 346
АП для любительских радиостанций 351
АП с переключающими диодами 352

В 60-х и начале 70-х годов прошлого столетия большинство радиолюбителей на УКВ диапазонах работали с ламповыми передатчиками на одну фиксированную частоту. Как правило, эти передатчики имели кварцевую стабилизацию частоты и были предназначены для работы телеграфом в самом начале любительского диапазона. Приемники, тоже ламповые, были довольно приличные и позволяли вести прием на всех частотах в пределах диапазона.

Имея такую аппаратуру, приходилось проводить связи с корреспондентом на разнесенных частотах – передатчик каждой из радиостанций работал на своей собственной частоте. Если даешь в эфир общий вызов, то сразу же после вызова начинаешь искать по диапазону сигналы отвечающей на этот вызов радиостанции. Такая работа в эфире на разных (разнесенных) частотах была крайне неудобной, хорошо еще было то, что все работали в довольно узкой полосе частот.

Затем в эфире стали появляться УКВ радиостанции с однополосной модуляцией (SSB), которые имели перестраиваемые по частоте передатчики, работающие на одной частоте с приемником. Такие радиостанции, как правило, имели аппаратуру, сделанную по принципу трансвертерной приставки к уже имеющемуся КВ трансиверу. Слово «трансвертер» обозначает любительский приемо-передающий аппарат, содержащий в своем составе и приемник и передатчик, в которых отдельные узлы работают как при приеме сигналов, так и при передаче. Блок-схема такой радиостанции приведена на рис. 13.1.

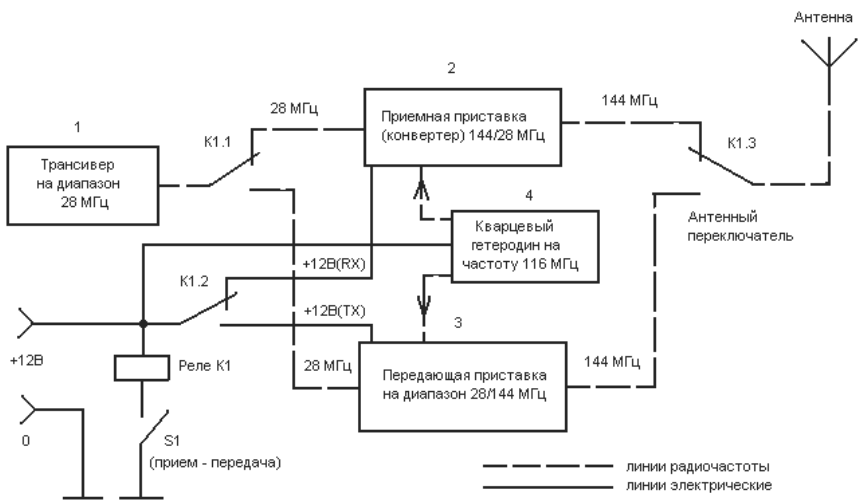


Рис. 13.1. Блок-схема УКВ приставки

Основным блоком (узлом) этой радиостанции является коротковолновый (КВ) трансивер на диапазон 28 МГц (блок 1). Для приема сигналов от радиостанций, работающих в диапазоне 144 МГц, к этому основному блоку подключается приемная приставка (конвертер – блок 2), которая принимает поступающие от антенны сигналы радиостанций в диапазоне 144 МГц и переводит (конвертирует) их на частоту 28 МГц, являющуюся в данном случае частотой промежуточной. Сигналы частотой 28 МГц принимаются и обрабатываются приемной частью трансивера 28 МГц.

При передаче сигналы частотой 28 МГц от трансивера поступают на передающую приставку 28/144 МГц (блок 3), которая поступающие на ее вход сигналы с частотой 28 МГц переводит на частоту 144 МГц, усиливает эти сигналы до определенной мощности и передает в антенну.

На схеме присутствует еще один блок – блок 4, который является кварцевым гетеродином на частоту 116 МГц и включен постоянно – и при приеме сигналов, и при передаче.

Включение и отключение реле К1 производится контактом S1, управляемым от педали «прием-передача» основного блока. Так что при включении на передачу трансивера на 28 МГц тут же включается на передачу и блок 3.

На схеме имеется еще один элемент – антенный переключатель. Показано, что переключение антенны от приемного блока на выход блока передающего выполняется контактом К1.3 реле К1. На самом деле это не так. Контакт К1.3 включает специальное антенное реле, которое и производит переключение антенны с приема на передачу.

Итак, мы рассмотрели блок-схему любительской УКВ радиостанции на диапазон 144 МГц. Такая радиостанция может работать любым видом модуляции, которым работает основной блок – КВ трансивер.

Сергей Георгиевич Жутяев в 1981 году опубликовал свою книгу «Любительская УКВ радиостанция», в которой описал конструкцию УКВ любительской радиостанции, способной работать на трех диапазонах – 144-146 МГц, 432-436 МГц и 1296-1298 МГц [1]. Эта книга до сего времени является главным пособием для радиолюбителей, начинающих осваивать УКВ диапазоны.

В настоящее время основная масса радиолюбителей на УКВ диапазонах использует покупные УКВ ЧМ радиостанции с синтезаторами частоты. Эти радиостанции имеют специфическое внутреннее строение, которое для понимания начинающих осваивать изготовление УКВ аппаратуры может быть очень сложным. В любом случае, чтобы

разобраться в строении современной УКВ аппаратуры, необходимо усвоить азы, представленные в этой книге.

ПРОСТАЯ УКВ ЧМ РАДИОСТАНЦИЯ

На рис. 13.2 представлена блок-схема предлагаемой для рассмотрения радиостанции, во многом похожая на схему, изображенную на рис. 13.1. Отличие в том, что в новом варианте радиостанции предлагается в качестве основного блока использовать простейшие приемник и передатчик, описанные в главах 11 и 12.

Блок 1 состоит из простого УКВ ЧМ радиоприемника (1а), способного принимать сигналы в диапазоне частот 64...66 МГц, простого УКВ ЧМ радиопередатчика, способного передавать ЧМ сигналы также в диапазоне 64-66 МГц.

Блок 2 представляет собой приемный конвертер, способный принимать от антенны сигналы с частотой в диапазоне 144-146 МГц и, при помощи кварцевого гетеродина на фиксированную частоту 79,8 МГц, конвертировать эти сигналы в диапазон частот 64-66 МГц.

Блок 3 – это кварцевый генератор на частоту 79,8 МГц.

Блок 4 представляет собой передающую приставку, на один вход которой поступают ЧМ сигналы в диапазоне частот 64-66 МГц, а на другой вход – сигналы от КГ с частотой 79,8 МГц.

Переход с приема на передачу осуществляется путем замыкания контакта S1, который может быть встроен либо в педаль, либо в дер-

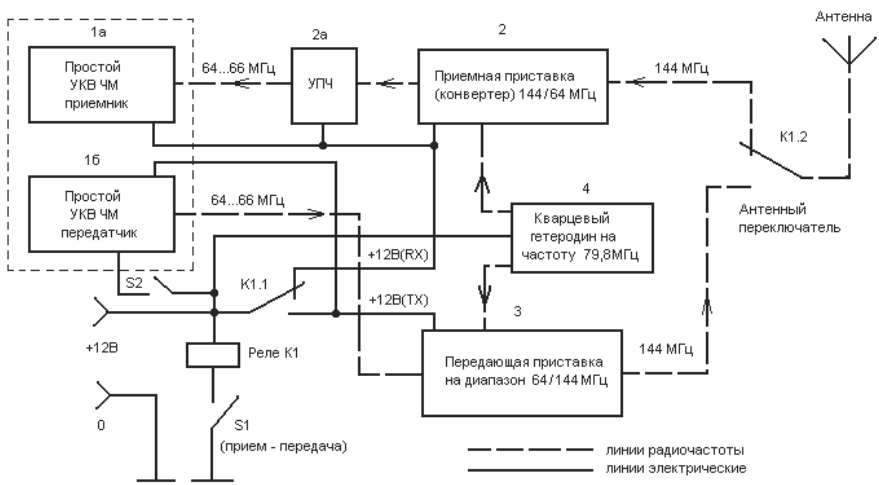


Рис. 13.2. Блок-схема простой УКВ ЧМ радиостанции

жатель микрофона, либо просто находиться в виде тумблера на панели радиостанции. При замыкании S1 включается реле К1, контакты которого подают питание +12В(ТХ) на УКВ передатчик 1б и передающую приставку 3. Одновременно происходит переключение антенны на передачу. Радиостанция находится в режиме передачи до тех пор, пока замкнут контакт S1.

При размыкании S1 отключается реле К1, и питание с узлов передатчика переключается на узлы приемника +12 В(RX). Одновременно на прием переключается антенна.

Работать на радиостанции можно следующим образом.

1. Вращением ручки настройки приемника находим сигналы радиостанции, с которой необходимо установить радиосвязь.
2. Включаем тумблер S2, который подает напряжение питания на УКВ ЧМ передатчик 1б. Начиная с этого момента в работу включены и приемник и передатчик. Это сделано для того, чтобы рукояткой настройки передатчика настроить передатчик точно на частоту своего же приемника. Когда и приемник и передатчик настроены на одну и ту же частоту, отключаем тумблер S2.
3. Теперь, когда и приемник и передатчик настроены на одну и ту же частоту, можно вызывать интересующую вас радиостанцию и устанавливать радиосвязь.

Несколько слов об этике проведения любительских радиосвязей.

- Прежде чем сделать общий вызов («Всем, всем») на какой-то частоте, убедитесь, не занята ли эта частота другими радиостанциями.

- В эфире существует право собственности на частоту. Если вы находите свободную частоту и начинаете на этой частоте проводить радиосвязи, то есть вас начинают вызывать другие радиостанции – вы становитесь хозяином этой частоты. Если какая-либо станция становится на вашу частоту и начинает давать вызовы – это признак хулиганства в эфире, которое наказывается любительской общественностью.

- Если вы вызвали какую-то радиостанцию и начали проводить с этой станцией радиосвязь, то эта станция является хозяйкой частоты. Поэтому после проведения радиосвязи вы должны удалиться с частоты этой радиостанции.

ОСНОВНОЙ БЛОК РАДИОСТАНЦИИ

Простой УКВ ЧМ радиоприемник, схема которого показана на рис. 11.2, может использоваться в качестве блока 1а без каких либо изменений. Единственно следует помнить, что напряжение питания должно быть +12 В(RX) и должно подаваться от контакта реле К1.1.

На схеме рис. 11.2 перестройка частоты приемника осуществляется конденсатором переменной емкости С7. Можно к этому варианту добавить настройку электронную, которая в нескольких вариантах подробно расписана в этой книге. Ручку настройки следует вывести на переднюю панель радиостанции и дать ей название «Настройка».

К НЧ выходу приемника следует подключить усилитель сигналов НЧ. Лучшим вариантом будет, по моему мнению, использование УНЧ на микросхеме К174УН7 или аналогичной (рис. 1.3). При отсутствии этой МС можно использовать УНЧ, показанный на рис. 1.9, или УНЧ на рис. 1.5 с добавлением предварительного усилителя с рис. 1.6.

Рассмотрим параметры катушек, примененных в схеме на рис. 11.2.

Катушка гетеродина L1 может иметь 10 витков для диапазона частот 65 МГц. Наматывается проводом ПЭЛ 0,5 на оправке диаметром 3,5 мм. Оправкой может служить хвостовик сверла Ø 3,5 мм. После намотки катушка растягивается в длину таким образом, чтобы между витками был зазор в 1 мм.

К выводам 12 и 13 микросхемы через конденсаторы С8 и С9 включается контур входного сигнала L2C5. На этот контур через катушку связи подается сигнал от антенны или от предварительного усилителя высокой частоты. Катушка L2 может иметь 6 витков для диапазона 65 МГц. Катушка наматывается на оправке Ø 3,5 мм проводом ПЭЛ 0,5. Контур L2C5 подстраивается конденсатором С5 на середину нужного вам диапазона. После намотки катушка растягивается в длину таким образом, чтобы между витками был зазор в 1 мм.

Катушка связи L3 в любом варианте имеет 3 витка и намотана поверх катушки L2 (точно по центру L2). Провод может быть ПЭЛ 0,3.

Выход сигнала к усилителю низкой частоты производится от вывода 14 микросхемы через конденсатор С11 и переменный резистор R1. К этому выходу могут быть подключены головные телефоны (наушники). Если вам необходим громкоговорящий прием сигналов радиостанций, то необходимо сделать дополнительный УНЧ.

Предварительная ориентировочная настройка приемника может быть выполнена следующим образом. Контур L2C5 отсоединить от

конденсаторов С8 и С9. Свободный вывод конденсатора С9 соединить с корпусом, а через конденсатор С8 подать на вывод 12 микросхемы ЧМ сигнал необходимой частоты. Если генератора на нужную частоту нет, то к конденсатору С8 нужно подсоединить или внешнюю УКВ антенну (можно телевизионную), или просто длинный провод, который будет служить антенной для приема сигналов местных вещательных радиостанций диапазона 66-78 МГц. Подстройкой конденсатором С7 следует добиться появления отдетектированного НЧ сигнала на выходе резистора R1. В случае необходимости нужно установить параллельно L1 дополнительный конденсатор или изменить число витков катушки L1.

После настройки контура гетеродина подключается входной контур L2C5 и настраивается по максимуму сигнала на выходе. При этом сигнал с нужной частотой подается на катушку L3 через конденсатор очень малой емкости.

Окончательная настройка приемного блока 1а (приемника) может быть выполнена только после настройки и градуировки радиопередающего блока 1б. Для этого необходимо настраивать передатчик (блок 1б) по порядку на все частоты в пределах заданного диапазона 64-66 МГц и, подстроив приемник на эту частоту, делать соответствующую отметку на шкале частот приемника.

Шкалы частот настройки приемника и передатчика должны совпадать.

Простой УКВ ЧМ передатчик, схема которого показана на рис. 12.2, может без каких-либо изменений использоваться в качестве блока 1б. К передатчику следует подключить модулятор, показанный на рис. 12.3.

На выходе этого передатчика необходимо получить частоты в диапазоне 64-66 МГц. Поскольку передатчик построен по принципу четырехкратного умножения частоты задающего генератора, то это означает, что задающий генератор должен выдавать частоты в диапазоне 16-16,5 МГц.

Пользуясь программой INDUKTIW, рассчитаем параметры примененных в передатчике катушек индуктивности.

Катушка L1 должна быть настроена на частоту 16,5 МГц, предполагаемая емкость контура 30 пФ. При этих значениях программа выдает величину индуктивности 3,095 мкГн, что для диаметра катушки 8 мм и длины 10 мм дает расчетное число витков 25,6. Катушка L1, исходя из условия стабильности частоты, должна обязательно выполняться на каркасе. При этом намотку катушки следует выполнять

с максимально возможным натяжением провода, концы катушки должны быть жестко закреплены, между витками катушки должен быть зазор не менее 0,5 мм. На схеме рис. 12.2 для настройки контура применены конденсаторы С2 и С3. Но это совсем не обязательный вариант. Настройка контура может также выполняться с помощью подстроечного сердечника, вворачиваемого в корпус катушки. При этом варианте надобность в конденсаторе С3 пропадает и размещение деталей на плате становится более компактным. Выбор должны делать вы, исходя из своих возможностей.

Если настройку контура L1C2C3 в процессе работы радиостанции на нужный диапазон частот предполагается выполнять конденсатором переменной емкости, то элементы электронной настройки VD2, VD3, R4, C7, R5, R6 и подвод напряжения +9 В следует удалить. Далее необходимо определить минимальную емкость конденсатора С2, которую он должен иметь на частоте 66 МГц, и максимальную емкость этого же конденсатора на частоте 64 МГц. Эта процедура может быть выполнена с помощью программы INDUKTIW. С помощью этой же программы можно выполнить расчет дополнительных емкостей, которые следует подключить параллельно С2 и последовательно с группой конденсаторов, чтобы обеспечить полное перекрытие необходимого диапазона частот.

Полученное количество витков 25,6 в катушке L1 предполагает отсутствие дополнительных емкостей, подводимых к контуру извне. Поэтому реальное количество витков должно быть меньше этой величины. Если предполагается настройка контура емкостями, то число витков может быть 24. Если контур будет настраиваться подстроечным сердечником, то число витков нужно уменьшить значительно, например до 18. Магнитная проницаемость сердечника может очень сильно увеличить индуктивность катушки.

Катушка L3 должна работать в диапазоне частот 32-33 МГц, предполагаемая емкость 20 пФ. При этих данных, а также при диаметре катушки 9 мм и длине 10 мм, расчетное число витков получаем 14,2. Выбираем количество витков 12. Дело в том, что к емкости собственно контура нужно прибавить сумму выходных емкостей двух транзисторов (VT2 и VT3), подключенных непосредственно к контуру.

Катушка L5 должна работать в диапазоне частот 64-66 МГц, предполагаемая емкость 15 пФ. При этом индуктивность получаем равную 0,38 мкГн, и число витков 8,19, если диаметр катушки 9 мм, а длина – 10 мм. Выбираем число витков 7.

Изготовление катушек связи с противофазными сигналами на выходе описывалось в этой книге ранее, но для большей убедительности повторю эту процедуру еще раз.

Для изготовления катушки связи L2 (а также и L4) необходимо взять два отрезка провода ПЭЛ 0,3 (или аналогичного с другим видом изоляции) такой длины, которой было бы достаточно для выполнения трех витков на диаметре 9 мм. Определим длину отрезка $(3{,}14 \times 9) \times 3 = 85$ мм и добавим еще на концы 20 мм. Получим длину отрезка 105 мм. Зажимаем концы двух этих отрезков и скручиваем (свиваем) оба провода в единый жгутик. Затем на оправке диаметром 8-9 мм делаем из этого жгутика три витка, которые собираем вместе и обматываем по периметру кольца тонкой ниткой, чтобы кольца не распадались. Получилось колечко с четырьмя выводами – два начала и два конца. Зачищаем все четыре конца и скручиваем начало первого провода с концом второго провода – это будет средняя точка L2, которую в дальнейшем будем припаивать к основанию (земле). Два других конца будут подключаться к базам VT2 и VT3 (и VT4, VT5 в другом варианте).

Следует помнить, что питание на передатчик должно подаваться с контакта реле К1.1 +12 В(ТХ) и от основного источника питания через тумблер S2, установленный на передней панели радиостанции и имеющий название «Подстройка частоты передатчика».

КВАРЦЕВЫЙ ГЕТЕРОДИН

Схема предлагаемого для этой радиостанции гетеродина с кварцевой стабилизацией частоты (блок 4) уже неоднократно применялась в различных конструкциях, описанных в этой книге, и показана на рис. 13.3.

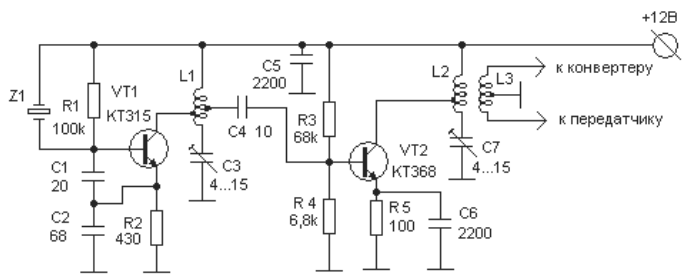


Рис. 13.3. Схема кварцевого гетеродина

Схема не имеет каких-либо особенностей, все элементы схемы были описаны ранее. Задающий генератор с кварцевой стабилизацией частоты (транзистор VT1) работает на третьей гармонике кварцевого резонатора Z1, имеющего резонансную частоту 8,867 МГц.

Катушка L1 настраивается на третью гармонику кварца 8,867 × 3 = 26,6 МГц. Индуктивность этой катушки при емкости 25 пФ получается равной 1,43 мкГн, количество витков при диаметре 9 мм и длине 15 мм получается 16,8. Выбираем, что число витков L1 равно 14.

Катушка L2 настраивается на девятую гармонику кварца 8,867 × 9 = 79,8 = 80 МГц. Индуктивность этой катушки будет 0,263 мкГн при емкости 15 пФ. Количество витков – 12,7, при диаметре 4 мм и длине 8 мм. Выбираем число витков 10.

Примеры настройки различных схем КГ приведены в главе 7 и главе 12.

КОНВЕРТЕР 144/64 МГЦ

Принципиальная электрическая схема примененного в этой радиостанции конвертера 144/64 МГц приведена на рис. 13.4.

Схема не имеет каких-либо особенностей. УВЧ выполнен на двухзатворном полевом транзисторе VT1 типа КП327. Можно применить

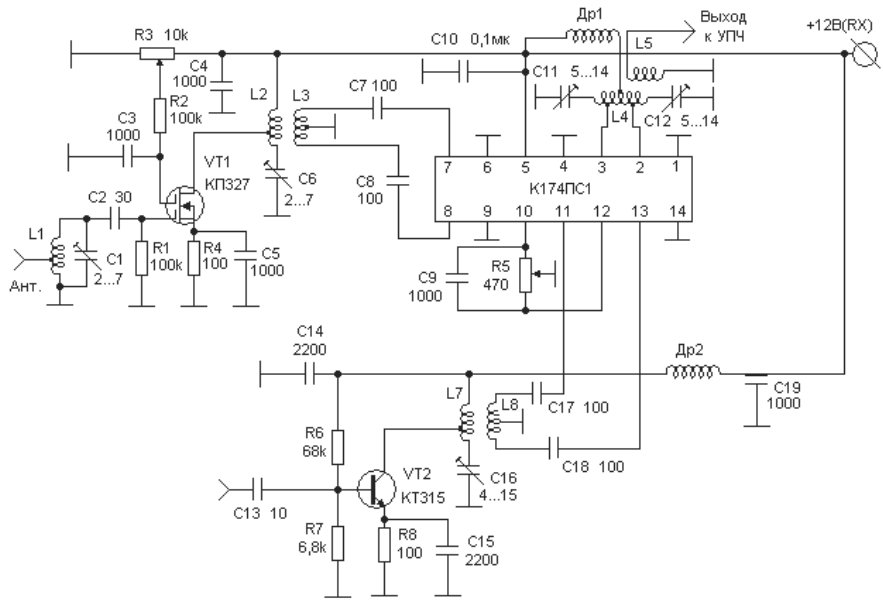


Рис. 13.4. Схема конвертера

транзистор КП350А. Сигнал от антенного переключателя поступает на контур L1C1, настроенный на частоту 145 МГц. Усиленный сигнал выделяется контуром L2C6 и через катушку связи L3 (в противофазе) и конденсаторы С7 и С8 поступает на входы 7 и 8 МС К174ПС1.

Сигнал от кварцевого гетеродина (см. рис. 13.3) через конденсатор С10 подается на затвор усилительного каскада, выполненного на VT2. Усиленный сигнал гетеродина выделяется контуром L7C16 и через катушку связи L8 и конденсаторы С17 и С18 в противофазе подается на выводы 11 и 13 МС К174ПС1. К выводам 3 и 2 МС подсоединяется катушка L4, являющаяся частью колебательного контура L4C11C12. В этом контуре выделяется разностная частота, которая через катушку связи L5 подается к каскаду УПЧ, схема которого приведена на рис. 13.5а.

На блок-схеме рис. 13.2 этот каскад изображен как блок 2а.

Катушки L1 и L2 на рис. 13.4 имеют по 5 витков провода (желательно посеребренного) Ø 0,8 мм, намотаны на каркасе Ø 8 мм и имеют длину 15 мм. Катушки должны быть разделены экранами.

Катушка L7 имеет 6 витков провода ПЭЛ 0,6 и намотана на каркасе 3,5 мм, зазор между витками – 1 мм. Катушка связи L8 имеет 3 витка, намотана сразу двумя скрученными проводами ПЭЛ 0,3, при этом начало одной катушки соединяется с концом другой, а это соединение подключается к корпусу. Такого типа катушки связи для подачи противофазного сигнала неоднократно описывались в предыдущих главах.

Катушка L4 состоит из 7 витков, выводы 3 и 2 от МС подключаются ко второму витку от начала и от конца катушки. Дроссель Др1 подключается к среднему витку катушки L4.

Катушка связи L5 состоит из трех витков ПЭЛ 0,3 и намотана поверх L4 в районе среднего витка этой катушки (возле точки подключения Др1).

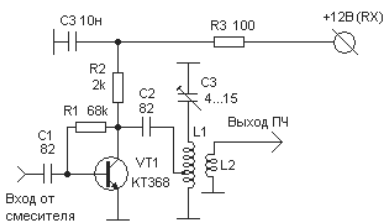


Рис. 13.5. Схема отдельного каскада УПЧ

Дроссели Др1 и Др2 могут быть намотаны на ферритовом колечке 7×4×2 (или подобном) проводом ПЭЛ 0,2 и могут содержать 15-20 витков. Марка феррита роли не играет.

Катушка L1 на рис. 13.5 содержит 7 витков, намотана на каркасе Ø 3,5 мм проводом ПЭЛ 0,6. Катушка связи L2 содержит 3 витка и намотана поверх L1 и заземленного конца катушки.

ПЕРЕДАЮЩАЯ ПРИСТАВКА 64/144 МГЦ С УМ

Принципиальная схема примененной в этой радиостанции передающей приставки приведена на рис. 13.6.

Смеситель приставки выполнен на двухзатворных полевых транзисторах VT1 и VT2, что обеспечивает достаточно большую мощность сигнала на выходе смесителя. Это очень важно для начинающих осваивать изготовление УКВ аппаратуры.

Сигнал от УКВ ЧМ передатчика (блок 1б) подается через катушку связи L1 на контур L2C1, катушка которого имеет заземленный средний виток. Благодаря такому подключению с концов катушки L2 на затворы транзисторов VT1 и VT2 сигнал от основного передатчика будет поступать в противофазе, что необходимо для работы двухтактного смесительного каскада.

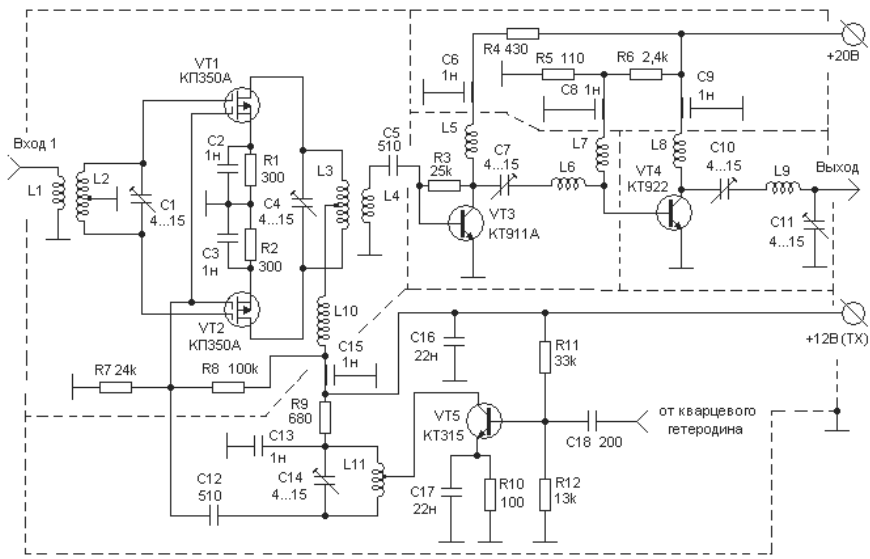


Рис. 13.6. Схема передающей приставки

Сигнал от кварцевого гетеродина (блок 4) через конденсатор С18 поступает на усилительный каскад, выполненный на транзисторе VT5. Усиленный сигнал гетеродина выделяется в контуре L11C14, а затем через С12 синфазно подается на вторые затворы VT1 и VT2.

Разностный сигнал на выходе смесителя выделяется контуром L3C4 и через катушку связи L4 подается на первый каскад усилителя мощности VT3.

Катушка L2 содержит 7 витков провода ПЭЛ 0,6 и намотана на оправке Ø 3,5 мм. Зазор между витками – 1 мм. Заземляется средний виток катушки. В некоторых случаях между отводом от среднего витка катушки L2 и землей следует включить дроссель, наподобие дросселя L10.

Катушка L1 содержит 3 витка провода ПЭЛ 0,3 и намотана поверх катушки L2 ровно посередине, возле заземленного отвода.

Катушка L3 содержит 4 витка провода ПЭЛ 0,8 (лучше использовать провод посеребренный) и намотана на оправке Ø 8 мм. Растянуть до длины 12 мм. Отвод – ровно от среднего витка катушки.

Дроссель L10 можно намотать на ферритовом колечке 7×4×2 или на аналогичном (марка феррита роли не играет), число витков 15-20.

Размеры катушек УМ, чтобы не повторяться, возьмите в главе 9, рис. 9.12.

НАСТРОЙКА

Настройку радиостанции следует начать с настройки кварцевого гетеродина. Напряжение питания усилителя мощности должно быть отключено. В книге довольно подробно расписаны варианты настройки кварцевых гетеродинов, выполненных по различным схемам, поэтому повторяться не имеет смысла. В процессе этой настройки следует убедиться в работе каскада усиления на VT3 (рис. 13.6) и убедиться в том, что сигнал КГ поступает на смеситель через конденсатор С12. Если в процессе наладки окажется, что поступающее от КГ на смеситель напряжение велико, то С12 нужно будет заменить конденсатором переменной емкости (подстроечникам) и им подбирать более удобную величину напряжения.

Затем следует убедиться в работоспособности каскада усиления на VT2 (рис. 13.4). Если сигнал от гетеродина окажется большим, то можно параллельно катушке L7 подключить резистор сопротивлением 1000-300 Ом. Это уменьшит добротность контура и уменьшит величину подаваемого на смеситель напряжения.

После настройки кварцевого гетеродина следует приступить к настройке основных приемника и передатчика (блоки 1а и 1б). Настройка этих аппаратов в предыдущих главах расписана достаточно подробно, поэтому никаких проблем возникнуть не должно, если применены заведомо исправные радиокомпоненты.

Настройку конвертера следует начать с применением генератора шума. Затем более точную подстройку контуров следует проводить либо по приему слабослышимых радиостанций, либо по сигналам специальных генераторов. Все эти методы уже были неоднократно описаны в этой книге.

Перед началом настройки усилителя мощности не забудьте подключить эквивалент нагрузки. Это исключительно важно.

Надеюсь, что у вас не возникнет проблем с настройкой этого первого УКВ аппарата. В случае необходимости, проштудируйте еще и еще раз нужные главы этой книги. В крайних случаях можете обращаться к автору по электронной почте.

РАДИОСТАНЦИЯ С ГЕНЕРАТОРОМ ПЛАВНОГО ДИАПАЗОНА

На рис. 13.7 показана блок-схема несколько измененного варианта предыдущей радиостанции на диапазон 145 МГц.

Основное отличие этой радиостанции от предыдущей в том, что вместо кварцевого гетеродина на фиксированную частоту использу-

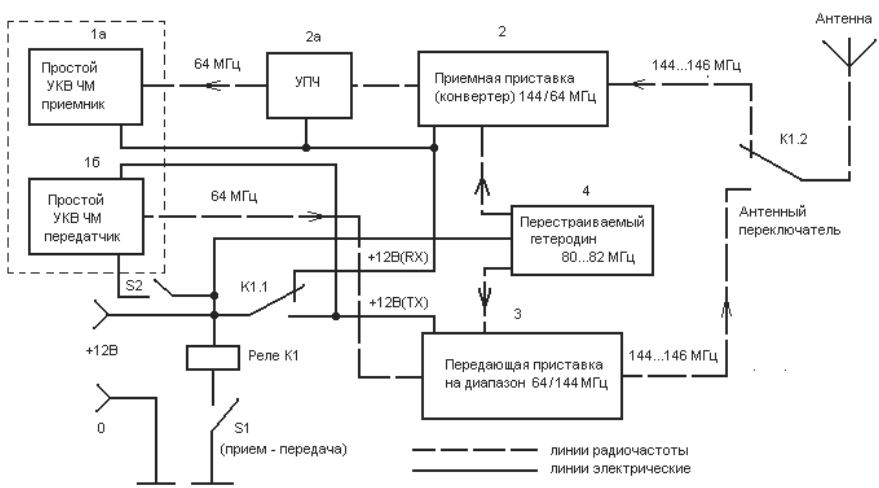


Рис. 13.7. Блок-схема радиостанции с ГПД

ется гетеродин с плавной перестройкой по диапазону (ГПД – генератор плавного диапазона). Кроме того, в этой радиостанции применен дополнительный усилитель промежуточной частоты с большим коэффициентом усиления и очень узкой полосой пропускания, что заметно улучшит чувствительность радиостанции на прием.

Обратите внимание на то, что в схеме сохранен тумблер S2, который по-прежнему будет использоваться при необходимости перестройки передатчика на другую частоту. Необходимость в таких перестройках встречается довольно часто.

Рассмотрим возможные варианты использования доступных кварцевых резонаторов для гетеродина смесительного типа, принципиальная схема которого представлена на рис. 13.8.

Кварцевый генератор выполнен на транзисторе VT1, генерирует на основной частоте кварца. На VT2 выполнен умножитель частоты, который может работать и в режиме удвоения, и в режиме утроения частоты. Умноженная частота кварцевого генератора выделяется в контуре L2C4C6, затем посредством катушки L3 передается на двухтактный умножитель частоты, выполненный на VT3 и VT4.

Некоторым радиолюбителям может не понравиться частое применение двухтактных каскадов умножения и смешивания частот. Как говорится, вольному – воля. Можете с успехом в подобных случаях применять одноактные каскады, но лучшего не добьетесь. Как показал многолетний опыт применения, при использовании двухтактных каскадов улучшается спектр сигнала за счет отсутствия или нечетных или четных гармоник, увеличивается мощность сигнала на выходе умножителя. К тому же на один каскад расходуется меньшее число радиодеталей.

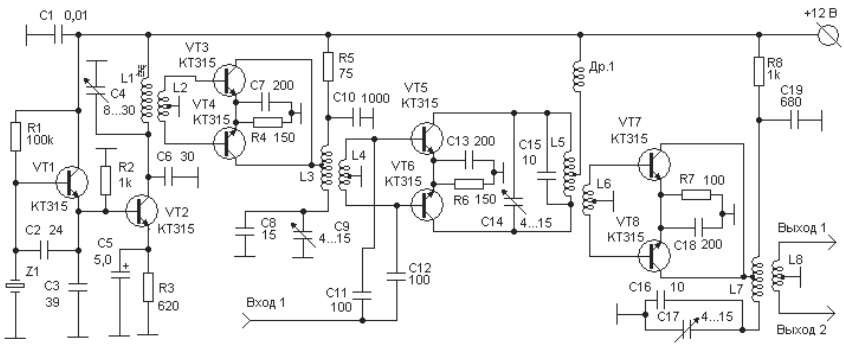


Рис. 13.8. Схема гетеродина смесительного типа

На выходе двухтактного удвоителя располагается контур L3C8C9, с которого через L4 сигнал поступает к базовым выводам транзисторов VT5 и VT6, работающих как балансный смеситель частоты от КГ с частотой генератора плавного диапазона (ГПД), поступающей на смеситель с «Вход 1» через конденсаторы C11 и C12. Результирующий сигнал выделяется на контуре L5C14C15, после чего сигнал проходит еще один каскад удвоения на транзисторах VT7 и VT8. На выходе гетеродина находится контур L7C16C17, с которого через L8 сигнал подается и на приемную часть радиостанции (конвертер), и на передающую.

Определим рабочие частоты гетеродина и всей радиостанции в целом.

Назначение рабочих частот

На выходе передающей части радиостанции мы должны получить сигналы в диапазоне 144-146 МГц. Главный приемник – блок 1а (и передатчик, блок 1б) должны вести прием и передачу на одной и той же частоте. Ранее было решено, что такой частотой может быть частота 64 МГц (или близкая к этой).

При этом гетеродин с плавной перестройкой частоты должен излучать диапазон частот от 144 – 64 = 80 МГц до 146 – 64 = 82 МГц. Это значит, что контур L7C16C17 должен работать в диапазоне 80-82 МГц.

Контур L5C14C15 (перед удвоителем) должен работать в диапазоне 40-41 МГц. Это диапазон частот на выходе смесителя. Чтобы получить такую сумму частот, необходимо от ГПД иметь частоту не бо-

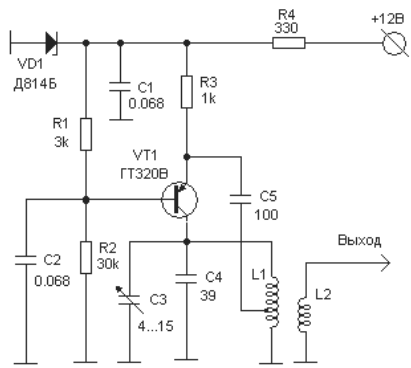


Рис. 13.9. Схема ГПД

лее 10 МГц (из условия лучшей стабильности), а на долю кварцевого гетеродина приходится частота порядка 30 МГц.

Довольно часто в любительской практике можно встретить кварцевый резонатор на частоту примерно 7,7 МГц. Или чуть больше, или чуть меньше – роли не играет. Будем применять кварц на частоту 7,7 МГц.

Для этой частоты кварца контур L1C4C6 должен быть настроен на частоту 15,4 МГц, контур L3C8C9 – на частоту 15,4 × 2 = 30,8 МГц.

Чтобы обеспечить на выходе смесителя диапазон частот 40-41 МГц, ГПД должен перестраиваться в диапазоне частот от 40 – 30, 8 = 9,2 МГц до 41 – 30,8 = 10,2 МГц.

В качестве ГПД можно с успехом применить генератор, схема которого изображена на рис. 13.9. Можно применить генератор по более сложной схеме, которая способна обеспечить большую стабильность частоты, например, схема на рис. 12.8, из которой следует предварительно убрать цепи модулятора.

Теперь остается определить число витков катушек. Эту процедуру вы спокойно выполните без подсказки, напомню только то, что все катушки, работающие на частотах ниже 25 МГц, должны выполняться на каркасах с подстроечными сердечниками. Катушка ГПД должна наматываться с возможно большим натяжением провода, между витками должен быть зазор примерно 1 мм, длина катушки должна быть не более 1,5 от диаметра этой катушки. Эти условия могут обеспечить контуру ГПД приличную добротность, что очень важно для ГПД.

Дополнительный каскад УПЧ

Работа основного приемника (блок 1а) на фиксированной частоте имеет значительное преимущество по сравнению со схемой

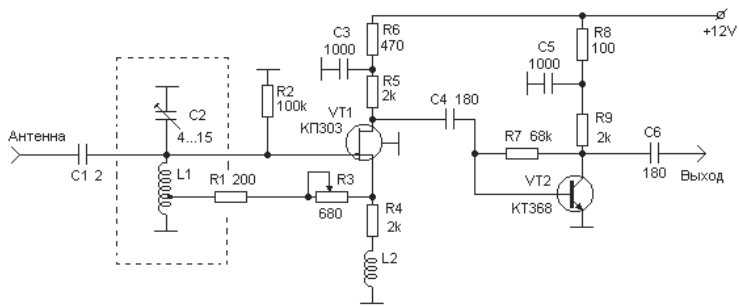


Рис. 13.10. Схема УПЧ с Q-умножением

предыдущей радиостанции в том, что на фиксированной частоте можно установить фильтр ПЧ с приличными характеристиками и создать усилитель сигналов ПЧ с большим коэффициентом усиления.

В данном случае предлагаю вам в качестве дополнительного каскада УПЧ использовать двухкаскадный усилитель сигналов ПЧ с положительной обратной связью, схема которого показана на рис. 13.10.

УПЧ с положительной обратной связью часто называют усилителем с Q-умножением. Латинской буквой Q обычно обозначается добротность контура, а под «умножением Q» имеется в виду увеличение добротности. Известно, что с увеличением добротности контура обостряется резонансная кривая этого контура и, как следствие этого явления, сужается полоса пропускания фильтра, в котором этот контур задействован.

Подобного рода усилители с Q-умножением описаны в главе 6, поэтому останавливаться на подробном описании принципа работы этого УПЧ нет необходимости. В качестве транзистора VT2 в этой схеме можно применить транзистор КТ610, как это сделано на рис. 6.3.

Некоторые советы

Все блоки радиостанции между собой следует соединять короткими отрезками тонкого коаксиального кабеля с волновым сопротивлением примерно 50-60 Ом.

ГПД следует смонтировать в достаточно жестком корпусе, все соединения должны быть выполнены толстым одножильным проводом. Все детали должны быть закреплены, никакое «болтание» деталей и проводов не допускается. Ось от конденсатора настройки (С3 на рис. 13.9) должна быть выведена на переднюю панель и иметь приличную шкалу настройки. Соединения С3 с катушкой можно выполнить отрезком коаксиального кабеля. При этом учтите, что емкость кабеля прибавится к общей емкости контура. Подключение к конденсатору настройки дополнительных емкостей сделайте по расчетам с помощью программы INDUKTIW.

Основной приемник и передатчик (блоки 1а и 1б) можно прикрепить к разным сторонам металлического листа. Затем этот лист закрепить на общем корпусе радиостанции.

Следует хорошо продумать экранирование контуров УВЧ, ГПД и усилителя мощности. Вопросы экранирования других узлов и блоков нужно решать по месту, исходя из конструктивных соображений.

Не стремитесь к миниатюризации, пока не освоите основы создания УКВ аппаратуры. Для создания миниатюрных аппаратов у вас еще будет достаточно времени.

Если вам по каким-то причинам не нравится предложенный мною для этой конструкции блок – выбирайте любой другой из числа описанных в этой книге. Я постарался привести в этой книге как можно больше различных вариантов для одного и того же блока.

РАДИОСТАНЦИЯ ДЛЯ ДИАПАЗОНА 435 МГЦ

Блок-схема радиостанции приведена на рис. 13.11.

От блок-схемы предыдущей радиостанции блок-схема на рис. 13.11 отличается только задействованными частотами.

Настройка основного приемника (1а) и передатчика (1б) должна быть выполнена на самой возможно высокой частоте. Для К174ХА-34 эта частота должна быть порядка 100 МГц. Но не будем рисковать и примем для фиксированной настройки основного блока (эта частота также будет промежуточной частотой радиостанции) частоту 80 МГц.

В качестве перестраиваемого по частоте гетеродина (блок 4) будем использовать гетеродин, схема которого размещена на рис. 13.8, но совершенно с другими частотами. Схема нового варианта блока 4 показана на рис. 13.12.

Рассмотрим один из возможных вариантов задействованных в радиостанции частот. Предположим, что в КГ используется кварцевый

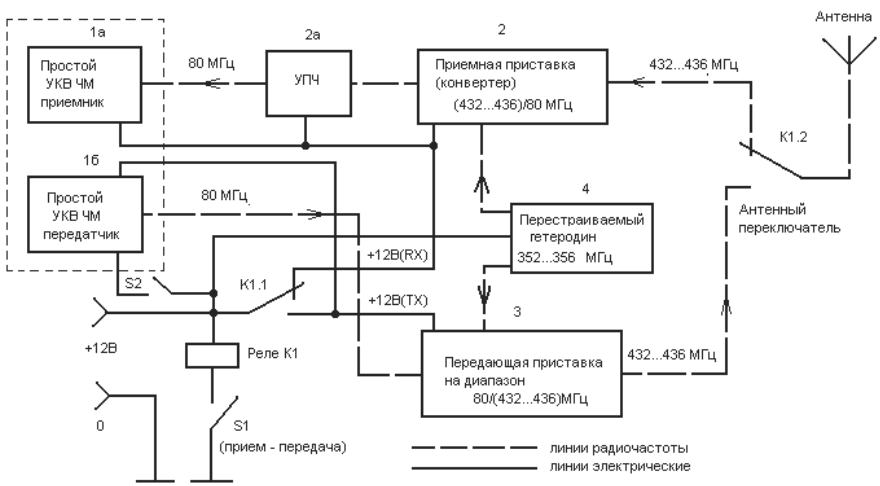


Рис. 13.11. Блок-схема радиостанции на 435 МГц

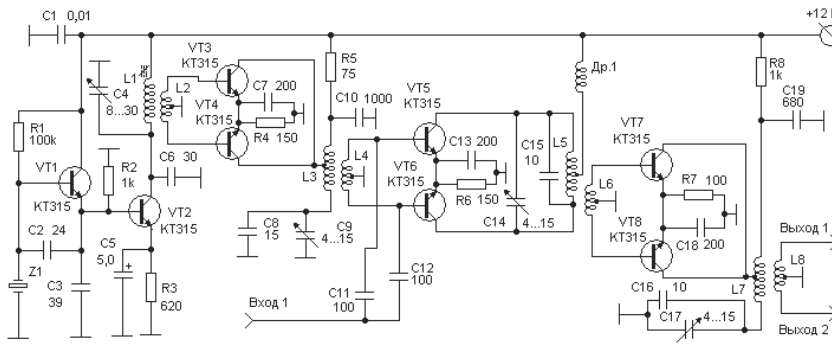


Рис. 13.12. Схема перестраиваемого по частоте гетеродина

резонатор на частоту 12 МГц. Такие резонаторы не являются редкостью, хотя вы можете использовать кварц совершенно на другую частоту.

В качестве конвертера (блок 2) примем устройство, схема которого показана на рис. 13.13.

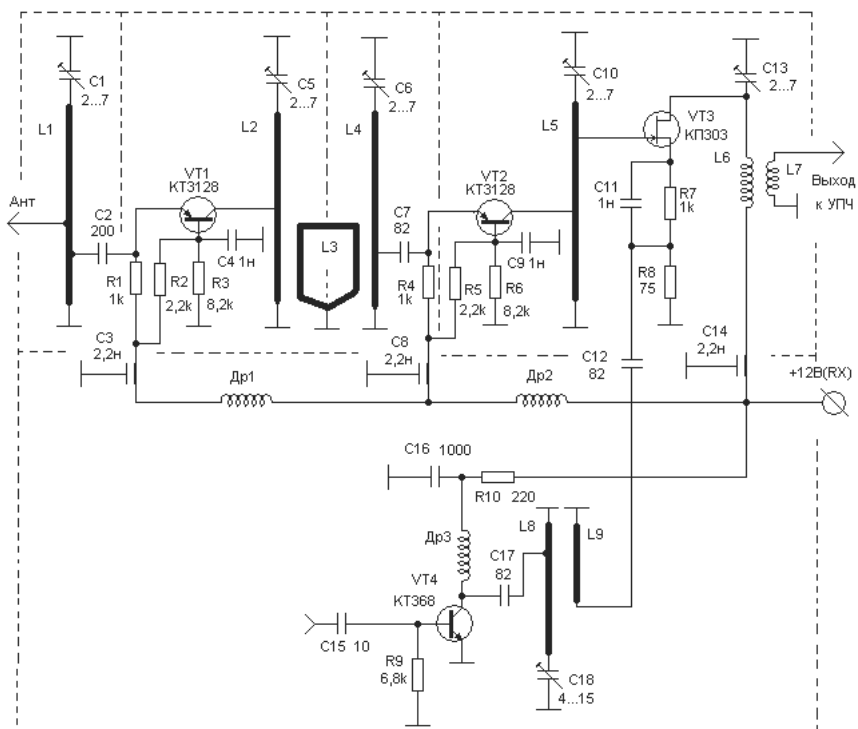


Рис. 13.13. Схема конвертера на диапазон 435 МГц

В качестве передающей приставки примем устройство, схема которого показана на рис. 13.14.

Усилитель высокочастотных сигналов выполнен на транзисторах VT1 и VT2 типа КТ3128. Эти транзисторы отечественного производства применялись в телевизионных приемниках на ДМВ диапазонах. Они обладают довольно приличными шумовыми параметрами и не очень капризны в эксплуатации. Если у вас появятся зарубежные транзисторы с лучшими параметрами, то можно будет их использовать в этой схеме, только сначала следует уточнить величину напряжения питания, при которой должны работать новые транзисторы.

Аналогичную схему УВЧ можно использовать и для диапазона 145 МГц.

Смесительный каскад выполнен на транзисторе VT3 типа КП303. Можно использовать КП305 или КП307.

На транзисторе VT4 выполнен умножитель частоты, поступающей от гетеродина. Каскад может работать и в режиме удвоения частоты, и в режиме утроения. В данном случае этот каскад будет работать удвоителем. Сигнал с выхода удвоителя (L9) через конденсатор C19 подается в истоковую цепь смесителя VT3.

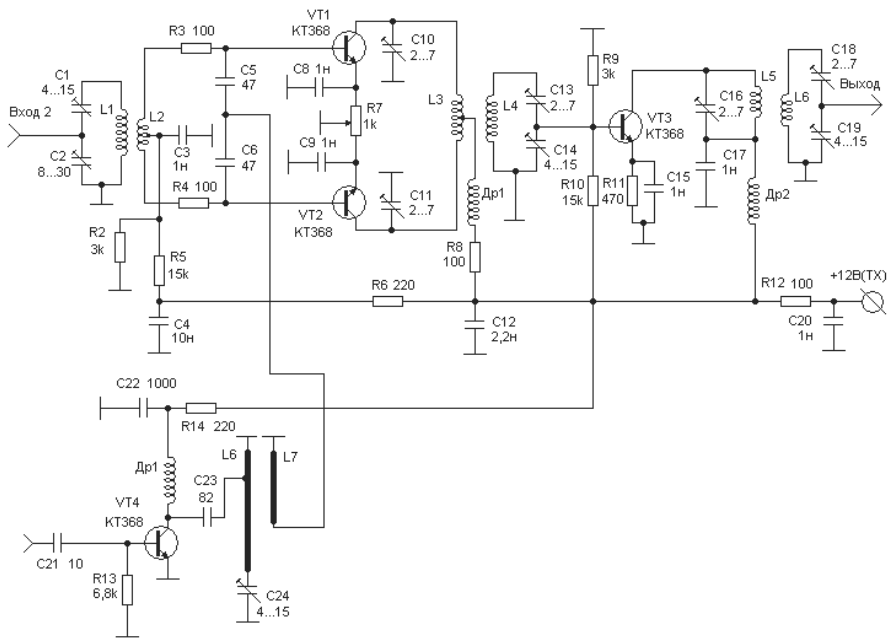


Рис. 13.14. Схема передающей приставки

Сигнал от передатчика 1б поступает на **Вход 2** и контур L1C1C2. Катушка связи L2 подает сигнал к базам балансного смесителя, выполненного на VT1 и VT2. С другой стороны через конденсаторы C5 и C6 на затворы этих же транзисторов подается сигнал от каскада на транзисторе VT4, который является последним каскадом гетеродина и работает в режиме удвоения частоты.

Результирующий сигнал на выходе смесителя выделяется в контуре L3C10C11. В непосредственной близости от этого контура (на удалении 4-6 мм) располагается параллельный контур L4C13C14, который оказывается индуктивно связанным с выходным контуром смесителя. Система из этих двух, связанных между собой индуктивно, контуров выполняет роль полосового фильтра для частот диапазона 432-436 МГц.

Каскад на транзисторе VT3 является предварительным усилителем мощности. Сигнал с выхода контура L6C18C19 по отрезку коаксиального кабеля должен подаваться на блок усиления мощности.

В качестве усилителя мощности можно без изменений применить УМ, схема которого показана на рис. 9.10. Там же имеется описание всех примененных контуров.

Выбор рабочих частот

Вернемся к схеме гетеродина – см. рис. 13.12.

В нашем варианте применения кварца на частоту 12 МГц в контуре L1C4C6 должна выделяться третья гармоника основной частоты кварца – 36 МГц. Следовательно, VT2 должен работать в режиме утроения частоты.

На контуре L3C8C9 должна выделяться частота 72 МГц (36 × 2 = 72).

Напоминаю, что ранее нами принята частота ПЧ = 80 МГц. Поэтому на выходе перестраиваемого гетеродина следует иметь диапазон частот от 432 – 80 = 352 МГц до 436 – 80 = 356 МГц.

Вспомните, что последние каскады гетеродина находятся в конвертере (VT4 на рис. 13.13) и передающей приставке (VT4 на рис. 13.14), и они будут работать в режиме удвоения частоты. Следовательно, перед этими удвоителями (то есть на выходе L8 – рис. 13.12) должен быть выделен диапазон частот от 352 : 2 = 176 МГц до 356 : 2 = 178 МГц.

Из этого видно, что на контуре L5C14C15 должны выделяться частоты в диапазоне от 176 : 2 = 88 МГц до 178 : 2 = 89 МГц. Эти частоты получаются в результате преобразования на выходе смесителя, на

вход которого от кварцевого генератора поступает сигнал частотой 72 МГц.

Отсюда вычисляем диапазон частот, которые должны подаваться на смеситель от генератора плавного диапазона.

Нижняя частота равна 88 – 72 = 16 МГц, верхняя частота равна 89 – 72 = 17 МГц.

ГПД должен выдавать сигналы частотой 16-17 МГц. Построить такой ГПД можно или на одном транзисторе, или с удвоением частоты (на нескольких транзисторах).

Примем вариант однотранзисторного ГПД, схема которого показана на рис. 13.9. В дальнейшем можно будет применить более сложную схему ГПД.

Вариант изготовления аппаратуры из отдельных блоков очень привлекателен тем, что позволяет без больших затрат убирать неудачный блок, а вместо него устанавливать новый. Конструкция получается несколько более громоздкой, зато всегда имеется возможность для дальнейшей модернизации.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА РАДИОСТАНЦИЙ

Выходные каскады УМ

При разработке конструкции выходного каскада усилителя мощности передатчика для диапазона 145 МГц можно пользоваться типовой схемой, показанной на рис. 13.15.

По изображенной на рис. 13.15 схеме можно создать выходной каскад для усилителя мощности от 2 до 80 Вт. Величина выходной

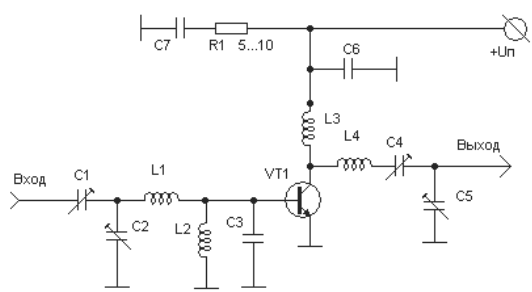


Рис. 13.15. Схема типового выходного каскада УМ

мощности будет зависеть от типа задействованного транзистора, напряжения питания и от мощности подаваемого на вход сигнала.

В табл. 13.1 приведены данные элементов схемы рис. 13.15 в зависимости от типа примененного транзистора. В таблице применены следующие обозначения:

$U_п$ – напряжение источника питания, $P_{вых}$ – мощность на выходе отлаженного усилителя, $P_{вх}$ – мощность подаваемого на вход сигнала, $K_{ус}$ – коэффициент усиления каскада, C1-C5 и L1-L4 – примененные в схеме конденсаторы и катушки.

ВЧ разъемы

Для подключения антенны к радиоприемной аппаратуре используются специальные высокочастотные разъемы. Существует большое число типов самых разнообразных разъемов, каждый из них предназначен для определенного типа кабелей и имеет соответствующее волновое сопротивление.

Следует помнить, что каждый из разъемов, даже если он применен с соответствующим ему кабелем, вносит определенные потери передаваемой через этот разъем ВЧ энергии. Даже в идеальном случае применения разъема КСВ ухудшается на несколько десятых долей. (О коэффициенте стоячей волны КСВ читайте в главе 15.)

Если же вы решаетесь применить какой-то случайный, с неизвестным волновым сопротивлением, разъем, то рискуете потерять многое и при передаче и при приеме.

Поэтому советую вам в домашней самодельной аппаратуре отказаться от применения случайных разъемов и соединять фидер с выходом УМ (или с входом УВЧ) напрямую.

АНТЕННЫЕ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ

Варианты АП для РЛС

Проблема переключения антенны с выхода УМ передатчика на вход УВЧ всегда была одной из главных на УКВ любительской радиостанции. Если на коротких волнах применение специальных антенных реле довольно простой конструкции вполне допустимо, то на УКВ применять подобные реле нельзя.

Чтобы немного разобраться в вопросе переключения одной и той же антенны с приема на передачу и наоборот, следует обратиться к

***Таблица 13.1**. Данные элементов схемы на рис. 13.15*

VT1	$U_п$, В	$P_{вых}$, Вт	$P_{вх}$, Вт	$K_{ус}$, dB	C1, пФ	C2, пФ	C3, пФ	C4, пФ	C5, пФ	L1	L2	L3	L4
КТ920А	12,6	2	0,3	~10	4-20	6-30	47	10-40	10-.40	2/7/0,5	7/5/0,5	2,5/7/1	2,5/7/1
КТ920Б	12,6	5	0,8	~10	4-20	6-30	47	10-40	10-40	2/7/0,5	7/5/0,5	2,5/7/1	2,5/7/1
КТ920В	12,6	20	6,6	~9	10-40	10-60	2×47	8-30	8-30	0,5/6/1,5	6/4/0,5	2,5/7,5/1,5	2,5/7,5/1,5
КТ920Г	12,6	15	5	~8	10/40	10/60	2×47	8-30	8-30	0,5/6/1,5	6/4/0,5	2,5/7,5/1,5	2,5/7,5/1,5
КТ922А	28,0	5	0,5	~12	4-20	6-30	47	10-40	10-40	2/7/0,5	7/5/0,5	2,5/7/1	2,5/7/1
КТ922Б	28,0	20	3,6	~10	10-40	10-60	2×47	8-30	8-30	0,5/6/1,5	6/4/0,5	2,5/7,5/1,5	2,5/7,5/1,5
КТ922В	28,0	40	10	~10	10-40	10-60	2×47	8-30	8-30	0,5/6/1,5	6/4/0,5	2,5/7,5/1,5	2,5/7,5/1,5
КТ922Г	28,0	17	3,6	~10	10-40	10-60	2×47	8-30	8-30	0,5/6/1,5	6/4/0,5	2,5/7,5/1,5	2,5/7,5/1,5
КТ925А	12,6	2	0,3	~12	4-20	6-30	47	10-40	10-40	2/7/0,5	7/5/0,5	2,5/7/1	2,5/7/1
КТ925Б	12,6	5	1	~10	4-20	6-30	47	10-40	10-40	2/7/0,5	7/5/0,5	2,5/7/1	2,5/7/1
КТ925В	12,6	20	6,6	~10	10-40	10-60	2×47	8-30	8-30	0,5/6/1,5	6/4/0,5	2,5/7,5/1,5	2,5/7,5/1,5
КТ925Г	12,6	15	5	~10	10-40	10-60	2×47	8-30	8-30	0,5/6/1,5	6/4/0,5	2,5/7,5/1,5	2,5/7,5/1,5

Параметры катушек L1, L2, L3 и L4 записаны следующим образом: первое число обозначает количество витков, второе число – диаметр оправки в мм, на которой должна наматываться эта катушка, третье число – диаметр провода в мм, которым должна быть намотана катушка. Имеется в виду, что для намотки катушек используется медный посеребренный провод.

опыту подобных переключений в радиолокационных станциях (РЛС) старого типа.

Вы знаете, что в РЛС после передачи в определенном направлении очень мощного импульса ВЧ энергии станция практически моментально должна переключить антенну на прием, чтобы обработать отраженную от обнаруженного объекта энергию этого импульса. Подобные циклы являются основой работы РЛС.

В старого типа РЛС проблема переключения антенны решалась с помощью отрезков волноводных линий и газоразрядных замыкателей.

Рассмотрим варианты антенного переключателя радиолокационных станций, использующих общую антенну для передачи и приема, который служит для автоматического переключения антенны с выхода передатчика к входу приемника. Во время передачи энергия СВЧ колебаний, создаваемая передатчиком, должна поступать в антенну и не просачиваться на вход приемника, чтобы защитить входные цепи приемника от повреждения. При переходе РЛС на прием поступающий от антенны сигнал не должен поглощаться в цепях генератора, а с минимальными потерями поступать на вход приемника.

Учитывая, что передатчик РЛС средней мощности генерирует импульсы с мощностью в несколько сот киловатт, а допустимая мощность на входе приемного устройства должна быть менее 100 мВт, определяем порядок величины переходного затухания, требуемого от антенного переключателя:

$$L = 10 \lg (100 \cdot 10^3 / 10^{-1}) = 60 \text{ дБ}.$$

Из условия минимальных потерь следует, что линия передачи должна работать в режиме согласования как во время приема, так и во время передачи, с учетом элементов антенного переключателя. Время переключения РЛС с одного режима на другой должно быть порядка долей микросекунды.

Основным элементом антенного переключателя является *управляемый элемент: газовый разрядник, полупроводниковый прибор или ферритовый элемент.*

Ответвительная схема АП является одной из наиболее ранних схем АП, применявшихся в радиолокации. Она широко использовалась в РЛС до появления БАП на щелевых мостах и ферритового АП. Работа схемы ОАП основана на использовании двух различных переключательных элементов, включенных в линию передачи между передатчиком и антенной. В качестве переключательных элементов

применяют специальные газоразрядные приборы СВЧ – резонансные разрядники.

Известно несколько вариантов последовательного и параллельного включения разрядников в волновод АП. Схема первого из вариантов показана на рис. 13.16. На этом рисунке вместо волноводной линии мною показана линия коаксиальная. Для данной схемы это практически одно и то же.

Показанная на рис. 13.16 одна из распространенных схем ОАП содержит параллельно включенный разрядник в ответвлении приемника и последовательно включенный разрядник в волноводе передатчика, а также использует свойства короткозамкнутого и разомкнутого отрезков линии длиной $\lambda/4$ и $\lambda/2$.

Газовый разрядник представляет собой баллон, наполненный смесью водорода или аргона с парами воды под давлением порядка 3-30 мм рт. ст. В баллоне имеются два основных электрода и электрод поджига.

Дело в том, что отрезки волноводных линий определенной длины обладают некоторыми замечательными свойствами. Так, отрезок волновода длиной $\lambda/4$, короткозамкнутый на конце, носит название *четвертьволнового трансформатора* или *четвертьволнового шлейфа*. Включенный в волноводную линию короткозамкнутый отрезок не вносит никаких потерь энергии, потому что его входное сопротивление равно бесконечности.

Точно таким же свойством обладает разомкнутый на конце отрезок полуволновой линии.

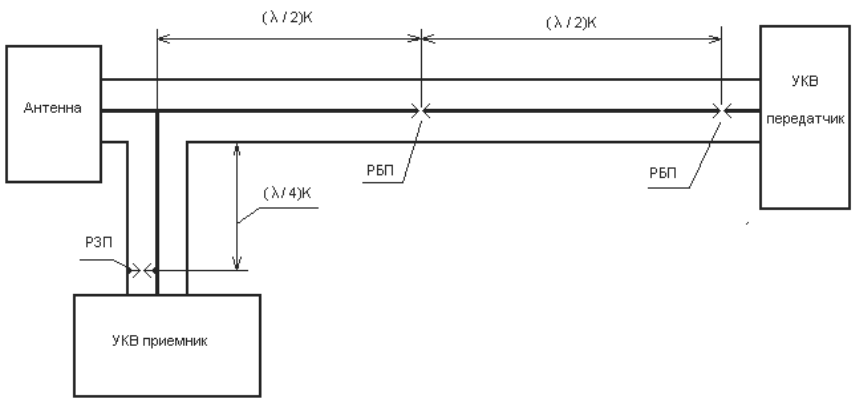


Рис. 13.16. Схема ответвительного антенного переключателя

Во время излучения мощного импульса передатчика оба разрядника пробиваются и представляют собой сопротивления, близкие к короткому замыканию. Поэтому мощность передатчика лишь с небольшими потерями проходит в антенну. Функции устройства защиты приемника в этой схеме выполняет разрядник в плече приемника, называемый *разрядником защиты приемника (РЗП).*

При приеме сигнала низкого уровня разрядники не горят. Поэтому разрядник, последовательно включенный в плечо передатчика и называемый *разрядником блокировки передатчика (РБП),* создает для принимаемого от антенны сигнала Рс полуволновый разомкнутый на конце отрезок волновода, имеющий очень большое входное сопротивление. (При необходимости приема сигналов в относительно широкой полосе частот – до 5% от средней частоты рабочего диапазона – используют два последовательно включенных РБП. РЗП, включенный параллельно, в этом случае «прозрачен» для поступающего от антенны сигнала и пропускает его с незначительными потерями в приемник.

Шлейфовый переключатель содержит разрядники, включенные в отрезки линии (ответвления или шлейфы), присоединенные параллельно главному фидеру.

На рис. 13.17 показана схема шлейфового переключателя. Волновод на этой схеме изображен в виде двухпроводной линии.

Разрядник Р1, называемый разрядником защиты приемника (РЗП), включен в ответвление к приемнику на расстоянии $\lambda/4$ от места присоединения ответвления к главному фидеру. Разрядник Р2, называемый разрядником блокировки передатчика (РБП), включен в замкнутое на

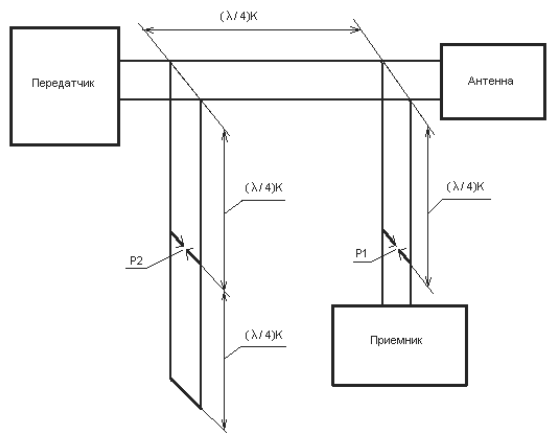


Рис. 13.17. Схема шлейфового АП

конце ответвление (полуволновый шлейф) на расстоянии λ/4 от места присоединения ответвления к главному фидеру. Расстояние между местами присоединения двух ответвлений равно λ/4.

При поступлении в антенный переключатель мощного импульса от передатчика в разрядниках возникает газовый разряд и их сопротивление резко уменьшается. Благодаря тому, что разрядники подключены к главному фидеру через отрезки линий длиной λ/4, входные сопротивления этих линий в месте их присоединения к главному фидеру весьма велики, и ответвления не создают помех для прохождения импульса от передатчика к антенне. Разрядник защиты приемника вносит большое затухание в линию, присоединяющую приемник, и тем защищает вход приемника от мощного сигнала.

В режиме приема, когда от антенны поступает небольшая мощность, газовый пробой в разрядниках не возникает и принятый антенной сигнал беспрепятственно проходит по ответвлению в приемник. Этот сигнал не поступает в цепи передатчика, так как короткое замыкание на конце шлейфа, находящееся на расстоянии λ/2 + λ/4 от места присоединения ответвления к приемнику, трансформируется в очень большое сопротивление, отключающее цепи передатчика от антенны.

АП для любительских радиостанций

Антенный переключатель для любительской радиостанции можно создать по подобию любой из двух рассмотренных ранее схем.

В конце 1970-х годов мною был опробован АП по рассмотренной выше шлейфовой схеме. Вместо разрядников в качестве переключающих элементов использовались контакты специального электромагнитного реле, которое включалось при переключении радиостанции

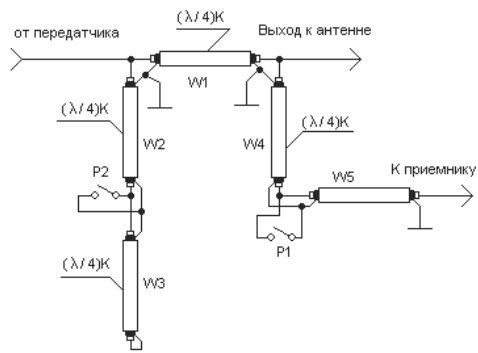


Рис. 13.18. Шлейфовый вариант АП

для работы на передачу. Контактные пластинки обычного электромагнитного реле очень длинные, поэтому пришлось на базе электромагнитного реле с достаточно мощным электромагнитом делать систему из очень коротких контактных пластин. Схема АП показана на рис. 13.18.

АП по этой схеме работал нормально. Неприятные ощущения были только от хлопков срабатывающего реле. Потом появилась идея заменить короткозамыкающие контакты реле на транзисторные ключи. Схема подобного ключа на транзисторе КТ315 показана на рис. 13.19. Транзистор КТ315 имеет короткие выводы и может нормально справляться с работой замыкания центральной жилы кабеля на оплетку под управлением постоянного напряжения +U(TX).

Под точкой А имеется в виду точка на центральной жиле кабеля, эмиттер транзистора VT1 должен соединяться с заземленной оплеткой кабеля.

К сожалению, мне не удалось до конца разработать эту тему. Предлагаю заняться этим вопросом заинтересованному читателю.

АП с переключающими диодами

В качестве управляемого переключающего прибора вместо газового разрядника для АП любительской радиостанции можно использовать специальные СВЧ переключающие диоды.

Большую перспективу применения в переключающих устройствах СВЧ имеют диоды на основе *p-i-n*-структуры, обладающие управляемым переменным активным сопротивлением. Эти диоды отличаются простотой изготовления и содержат центральную область слаболегированного полупроводника (*i*-область) и контактные области с обеих сторон с высокой концентрацией акцепторной и донорной примесями (*p*+ и *n*+ области). При подаче положительного смещения сопротивление диода становится очень малым, а при отрицательном смещении сопротивление увеличивается до нескольких килоом. Это свойство диода используется для коммутации сигналов в СВЧ трактах.

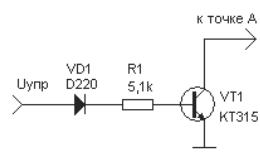


Рис. 13.19. Транзисторный ключ на КТ315

Для применения в АП любительской УКВ радиостанции могут быть с успехом задействованы диоды КА517А-2, КА517Б-2, КА517А, КА517Б. Вот некоторые данные этих диодов.

Критическая частота, не менее ..... 75 ГГц;

Прямое сопротивление потерь, не более ..... 5 Ом;

Пробивное напряжение, не менее ..... 300 В;

Общая емкость диода при Uобр = 100 В ..... 0,15-0,4 пФ.

На рис. 13.20 показана схема одного из возможных вариантов АП для УКВ любительской радиостанции. АП построен по рассмотренному выше варианту ответвительного АП для РЛС.

В схеме использованы переключающие СВЧ диоды КА517А. Можно использовать и другие аналогичные. Для нормальной работы диодов требуется напряжение смещения в пределах 6-9 В. Эта величина устанавливается резистором R1 и подается к диодам через R2 и дроссель Др1.

Во время приема сигналов от антенны диоды VD1 и VD2 находятся в разомкнутом состоянии и сигнал от антенны свободно поступает на вход приемника. При этом диоды VD1 и VD2 представляют собой очень большое сопротивление, следовательно, VD2 препятствует распространению сигнала от антенны к выходным цепям передатчика.

Как только на выходе передатчика появится сигнал достаточной мощности, чтобы открыть диоды VD1 и VD2, диод VD1 соединяет центральную жилу кабеля W1 на оплетку, тем самым преграждает путь к приемнику сигналам от передатчика. Диод VD2 от сигнала передатчика открывается и пропускает этот сигнал к антенне.

После исчезновения сигнала от передатчика вся система возвращается в первичное состояние – устанавливается режим приема сигналов от антенны.

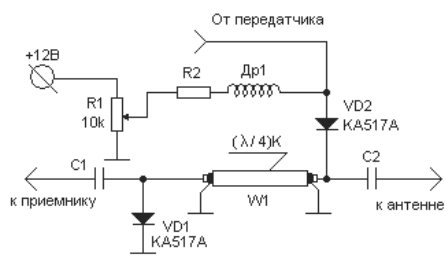


Рис. 13.20. Схема АП для УКВ радиостанции

ЧАСТЬ 3.
АНТЕННЫ ДЛЯ УКВ

Антенны для связи на УКВ 355

Немного теории и основы настройки УКВ антенн 388

ГЛАВА 14.
АНТЕННЫ ДЛЯ СВЯЗИ НА УКВ

Основные особенности 356
Немного о поляризации радиоволн 356
Немного о направленности антенн 357
Эффективность антенны и антенные усилители 358
Специальные антенны 363
Спиральная антенна 363
Спиральная антенна для 1296 МГц 365
Зеркально-параболическая антенна 366
Параболоцилиндрическая антенна 369
Еще один вариант конструкции этой антенны 376
Программа antenna1 377
Антенна ЗИГЗАГ 377
Выполнение полотна зигзагообразной антенны 378
Увеличение эффективности зигзагообразной антенны 381
Антенна DL7KM 385
Способы уменьшения размеров антенны 387

ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

Антенна является самым эффективным и самым надежным усилителем принимаемых сигналов, поэтому вопросом о выборе антенны нужно заниматься с большой ответственностью.

Эта глава книги предназначена для радиолюбителей, начинающих интересоваться вопросами радиосвязи на УКВ, и должна познакомить их с основными особенностями антенн, применяющихся при связи на УКВ, в том числе и при связях с УКВ радиостанциями, установленными на искусственных спутниках Земли (ИСЗ):

- первая особенность заключается в необходимости учитывать поляризацию излучаемых и принимаемых антенной радиоволн;
- вторая особенность – антенна должна быть постоянно ориентирована на радиостанцию корреспондента.

Немного о поляризации радиоволн

Среди радиолюбителей и в радиолюбительской литературе бытует довольно примитивное объяснение явления поляризации. Считается, что если прямолинейная антенна (длинный провод или диполь) расположена горизонтально, то такая антенна излучает и принимает радиоволны, имеющие горизонтальную поляризацию. Если прямолинейная антенна расположена вертикально (штыревая антенна), то такая антенна излучает и принимает радиоволны с вертикальной поляризацией. Хотя такое объяснение является довольно упрощенным, оно не противоречит волновой теории электромагнитных колебаний и имеет право на существование.

Установлено, что при приеме вертикально поляризованных сигналов на антенну с горизонтальной поляризацией происходит потеря по мощности на 3 дБ, что равносильно ухудшению приема в два раза по сравнению с приемом этого же сигнала на антенну с вертикальной поляризацией.

Интересные преобразования поляризационных свойств происходят с УКВ антеннами, установленными на искусственных спутниках Земли (ИСЗ). Каждый из ИСЗ, не имеющих системы стабилизации, в процессе полета по орбите вокруг Земли еще и вращается вокруг какой-то своей оси. Поэтому установленная на ИСЗ антенна постоянно меняет свою ориентацию относительно поверхности Земли, в какой-то период времени она располагается горизонтально поверх-

ности, в другой период – вертикально. Считается, что в подобном случае, когда антенна непрерывно изменяет свою ориентацию по отношению к поверхности Земли, она излучает или принимает радиоволны с вращающейся (круговой) поляризацией. Существует левая и правая круговая поляризация.

Если вы не хотите иметь потерь мощности при приеме сигала, то для приема и излучения радиоволн с вращающейся поляризацией должны применять специальные антенны, допускающие эту самую круговую поляризацию.

В радиолюбительской практике имеются антенны, которые по своей конструкции предназначены для приема и излучения радиоволн с круговой поляризацией, и антенны, которые специальными методами приспосабливаются для приема таких волн. К первому типу антенн относятся спиральные и параболические антенны. Эти антенны по своей конфигурации изначально предназначены для приема или излучения радиоволн с круговой поляризацией. В качестве специальных методов для искусственного создания круговой поляризации можно применить две одинаковые прямолинейные антенны (например, два одинаковых волновых канала), из которых одна устанавливается горизонтально, а вторая – вертикально, при этом антенны запитываются со сдвигом фазы на величину четверти длины волны.

Некоторые из конструкций антенн, удобных для работы на УКВ, в том числе и с ИСЗ, будут описаны ниже.

Немного о направленности антенн

Естественно, что чем выше коэффициент усиления антенны, тем более мощный сигнал можно получить на выходе радиоприемника. Но следует учитывать, что пропорционально росту усиления антенны сужается передний лепесток диаграммы направленности антенны и сужается полоса излучаемых или принимаемых антенной частот. Если антенна имеет очень узкий передний лепесток, то такую антенну трудно точно ориентировать либо на удаленного корреспондента, либо на ИСЗ, и может получиться так, что весь выигрыш от увеличения усиления будет потерян за счет неточной ориентации антенны на корреспондента. Вывод можно сделать один – антенну с высоким усилением можно использовать только тогда, когда вы имеете специальное устройство для точной ориентации антенны на корреспондента.

Эффективность антенны и антенные усилители

Эффективность любой антенны находится в прямой зависимости от ее геометрических размеров. Но при больших размерах возникают вопросы механической прочности и жесткости конструкции. Тем не менее, повышение эффективности антенны – это единственный не имеющий ограничений путь увеличения энергетического потенциала приемника и всей радиостанции.

Для более полного понимания процесса ниже приведу некоторое математическое обоснование. Достаточно подробно этот вопрос описан в [1].

Любую антенну можно представить в виде эквивалентной площадки, стоящей на пути распространения радиоволн. Следующая формула говорит о том, что чем больше геометрическая площадь антенны, тем больше коэффициент ее усиления:

$$G = 4\pi S/\lambda^2,$$

где G – усиление антенны по отношению к изотропному излучателю; S – эквивалентная площадь, м^2; λ – длина волны, м.

С точки зрения приведенной формулы и энергетики совершенно неважно, какую форму будет иметь эквивалентная площадка: будет ли она круглая, квадратная или будет иметь форму вытянутого прямоугольника. В любом случае при равной площади будет равный коэффициент усиления. В то же время форма эквивалентной площадки оказывает самое непосредственное влияние на диаграмму направленности этой антенны. Так, ширина главного лепестка диаграммы направленности может быть связана с линейными размерами площадки следующим приближенным выражением:

$$\Delta\Theta \approx 50\lambda/l,$$

где $\Delta\Theta$ – ширина главного лепестка по уровню – 3 дБ, град; λ – длина волны, м; l – линейный размер эквивалентной площадки в плоскости измерения диаграммы направленности, м.

Эта же формула, переписанная в другом виде, позволяет по известной диаграмме направленности антенны оценить размеры эквивалентной площадки: $l = 50\lambda/\Delta\Theta$.

Пусть, например, испытания антенны диапазона 435 МГц показали, что ширина диаграммы направленности равна 25° в горизонтальной плоскости и 20° в вертикальной плоскости. Легко определить, что эквивалентная площадка будет иметь размер 1,4 м по горизонтали и 1,75 м по вертикали.

Для повышения коэффициента усиления антенной системы очень часто радиолюбители располагают несколько одинаковых антенн рядом друг с другом и подключают их к одному фидеру. Такие антенные системы называются антенными решетками и могут иметь очень большие величины коэффициентов усиления.

Для расчета антенной системы, состоящей из нескольких одинаковых простых антенн, как раз и предназначены расположенные выше формулы. Эти формулы и такие оценки очень удобны для представления процессов, если предполагается увеличивать коэффициент усиления за счет соединения нескольких антенн в антенную решетку. Так, для рассмотренного выше примера расстояние между соседними этажами решетки должно равняться 1,75 м, а между соседними рядами – 1,4 м. При меньших расстояниях эквивалентные площадки будут взаимно перекрываться и общий коэффициент усиления будет меньше суммы коэффициентов усиления всех антенн. При больших расстояниях появятся зазоры между отдельными площадками. В результате общее усиление возрастать не будет, зато будут неоправданно увеличиваться габариты антенны. При этом в главном лепестке диаграммы направленности появляются провалы, разбивающие его на несколько составляющих.

Итак, если вы решили для повышения коэффициента усиления создать антенную решетку из нескольких одинаковых простых антенн, то обязательно учтите необходимость правильного выбора расстояний между соседними простыми антеннами.

Теперь следует несколько слов сказать еще об одном факторе, от которого зависит эффективность антенны. Нужно знать, что в общем случае коэффициент усиления является произведением коэффициента направленного действия антенны (к.н.д.) и ее коэффициента полезного действия (к.п.д.):

$$G = K\eta,$$

где K – к.н.д. антенны; η – к.п.д. антенны. Это значит, что недостаточно сделать антенну большой площади, надо еще суметь всю энергию, падающую на данную площадь, с минимальными потерями доставить к потребителю данной энергии, то есть к входу приемника. При создании любых антенн следует помнить о «принципе взаимности», который говорит об эквивалентности параметров антенны в режиме приема и передачи. Принцип взаимности можно сформулировать следующим образом: «диаграмма направленности или к.н.д.

антенны не зависят от того, используется эта антенна для приема или для передачи».

Излучение электромагнитной энергии связано с протеканием высокочастотного тока по элементам антенны, поэтому потери в самой антенне определяются омическими потерями в металлических элементах. Большое влияние на коэффициент полезного действия антенно-фидерного тракта оказывают потери в кабельных линиях, которые надо обязательно учитывать при оценке энергетического потенциала как отдельного радиоприемника, так и радиостанции в целом, то есть при работе как на прием, так и на передачу.

Следует помнить, что с ростом частоты потери в подводящем кабеле сильно возрастают. Так, например, 20-метровый отрезок кабеля типа РК-75-4-11 ослабляет проходящий по нему сигнал на частоте 144 МГц в 2,1 раза (3,2 дБ), на частоте 432 МГц – в 3,4 раза (5,4 дБ), а на частоте 1296 МГц – в 13 раз (11,2 дБ). Видно, что на высокочастотных диапазонах потери возрастают до недопустимых значений. К тому же здесь приведены данные для идеального случая, когда отсутствуют отражения на концах линии, то есть для случая, когда входное сопротивление антенны равно волновому сопротивлению кабеля. Если же сопротивление нагрузки (антенны) отличается от волнового сопротивления кабеля, то часть энергии отражается от конца кабеля в месте его соединения с антенной и движется в обратном направлении.

Видно, что потери в фидере оказывают существенное влияние на потенциальные возможности как приемника, так и всей радиостанции. В результате могут быть сведены на нет усилия, затраченные на изготовление большой и сложной антенны. И если в режиме передачи еще можно как-то компенсировать потери в фидере за счет увеличения мощности, то в режиме приема потери носят необратимый характер. Разрешить данную проблему помогают антенные усилители, расположенные в непосредственной близости от антенны. Особенно оправдано применение антенных усилителей при связях с ИСЗ, когда для приема и передачи используются различные антенны и частоты.

Вопрос о необходимости применения такого усилителя надо решать в каждом конкретном случае, сравнивая внешние шумы антенны и внутренние шумы приемника. Для того чтобы решить вопрос о необходимости применения антенного усилителя для обеспечения нормального режима работы входной цепи приемника, вместо антенны надо для сравнения подключать резистор, сопротивление которого равно волновому сопротивлению фидера. Если даже в самые бла-

гоприятные ночные часы шумы антенны заметно (в 2 раза и более) превышают шумы резистора, применять антенный усилитель не следует. Более того, лишний каскад усиления сделает приемник более уязвимым по отношению к помехам от близких радиостанций.

Схемы антенных усилителей можно позаимствовать из схем конвертеров соответствующих диапазонов, описания которых были приведены в предыдущих главах книги.

На рис. 14.1 представлена принципиальная электрическая схема антенного усилителя для диапазона 145 МГц. Усилитель должен быть смонтирован в запаянном металлическом кожухе и расположен в непосредственной близости от клемм подключения антенны.

От УВЧ обычного конвертера на 145 МГц схема этого усилителя отличается наличием диода VD1 и высокочастотного дросселя Др1. Диод служит для предотвращения пробоя транзистора наводками от работающего передатчика, а через дроссель подается питание на транзистор. Организация подачи питания на транзистор может быть выполнена непосредственно по кабелю, соединяющему антенну с приемником. При этом на входе приемника следует дополнительно разместить цепочку, состоящую из конденсатора С4 и ВЧ дросселя Др2, которая показана на схеме справа. Подведенное через дроссель Др2 напряжение поступает через кабель на транзистор усилителя и обеспечивает нормальную работу антенного усилителя.

Точно по такому же принципу можно изготовить антенный усилитель и для других диапазонов. При этом ВЧ дроссели должны изготавливаться из куска провода длиной (0,2-0,1)λ. Провод нужной длины наматывается на оправку удобного диаметра (2,5-4 мм) плотно, виток к витку, а затем получившаяся катушка снимается с оправки и растягивается таким образом, чтобы между витками были зазоры по 1-2 мм.

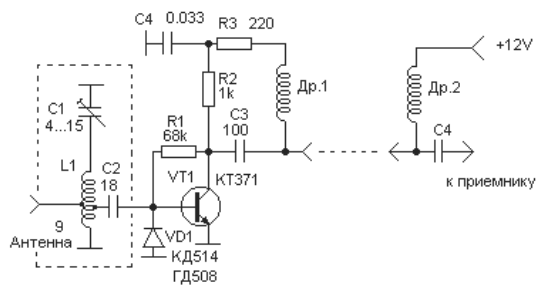


Рис. 14.1. Схема антенного усилителя 145 МГц

При настройке антенного усилителя следует обязательно проверить, не создает ли диод VD1 излишнего шума. Если шум при подключении диода усиливается, то диод следует убрать и попытаться обойтись без него. С. Г. Жутяев в [1] советует применить схему антенного усилителя, выполненного на мощном многоэмиттерном транзисторе типа КТ911А или КТ610А. При этом необходимость в защитном диоде пропадает. Один из вариантов схемы такого антенного усилителя приведен на рис. 14.2.

Катушка L1 для диапазона 145 МГц содержит два витка посеребренного провода диаметром 1,0 мм. Диаметр оправки – 10 мм. Настройку усилителя надо начинать с установки режима транзистора по постоянному току. Подбором резистора R1 надо добиться, чтобы коллекторный ток транзистора составил 15-25 мА. Далее антенный усилитель через отрезок кабеля нужной длины надо подключить к входу приемника и настроить с помощью конденсаторов С1, С2 на наилучшее значение коэффициента шума.

Этот антенный усилитель имеет следующие характеристики: коэффициент усиления около 20 дБ, коэффициент шума 1,5-1,8. Для предотвращения выхода из строя последующих каскадов усиления желательно в режиме передачи снимать напряжение питания с транзистора VT1, а еще лучше соединять провод питания антенного усилителя с землей.

Антенный усилитель для диапазона 1296 МГц описан в журнале «Радио» №8 за 2002 год. Статья называется «Антенный усилитель диапазона 1296 МГц».

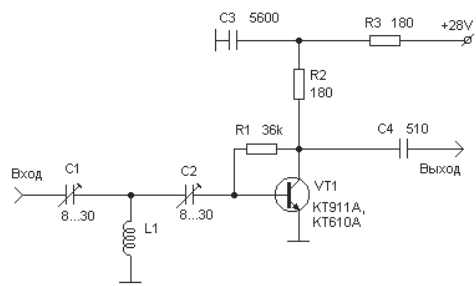


Рис. 14.2. Схема антенного усилителя на мощном транзисторе

СПЕЦИАЛЬНЫЕ АНТЕННЫ

На протяжении многих лет наибольшей популярностью среди радиолюбителей пользуются антенны типа «волновой канал», которые также известны под названием «директорные антенны» и «антенны Уда-Яги». Эти антенны, относящиеся к классу антенн с осевым излучением, имеют наилучшее отношение усиления к массе и к тому же очень просты по конструкции.

Описания таких антенн широко распространены и, по моему мнению, имеются у каждого радиолюбителя. Поэтому в этой статье я приведу описания только специальных антенн, с которыми читатель может быть не знаком.

Спиральная антенна

Спиральная антенна образована проводником, расположенным в пространстве по цилиндрической винтовой линии с шагом s и числом витков n. Эти антенны являются широкополосными, их частотный диапазон (для цилиндрических спиралей) может достигать 30% средней частоты. Входное сопротивление спиральных антенн высоко (120-150 Ом), и для их питания следует применять широкополосные согласующие устройства или несимметричные фидеры с большим волновым сопротивлением.

Спиральные антенны имеют излучение с вращающейся поляризацией, что особенно важно при использовании такой антенны для радиосвязи с ИСЗ. Вращающаяся поляризация более выражена у многовитковых антенн.

Конструктивно спиральные антенны могут иметь цилиндрическую или коническую форму, иметь равный или изменяющийся шаг

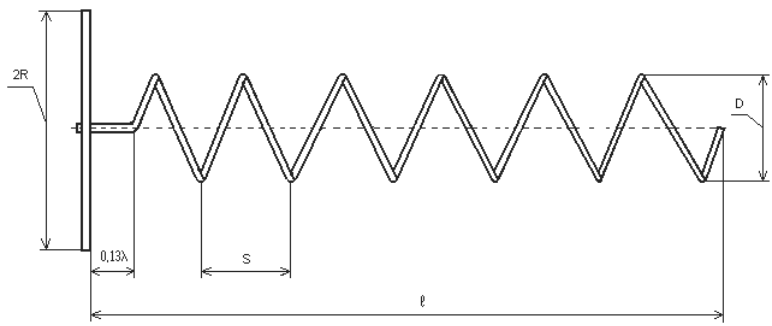


Рис. 14.3. Схема спиральной антенны

между витками, также могут быть различными и другие параметры. В радиолюбительской практике наибольшее применение получили цилиндрические спиральные антенны с постоянным шагом.

Схематическое изображение цилиндрической спиральной антенны представлено на рис. 14.3.

Антенна используется в режиме излучения вдоль оси спирали от точки питания к свободному концу, что имеет место при числе витков $n > 3$, длине каждого витка $1,3 > L/\lambda > 0,75$ и угле подъема спирали $12° < \alpha < 16°$. При этих условиях вдоль антенны устанавливается бегущая волна.

Для получения излучения в одном направлении применяют дисковый рефлектор квадратной или круглой формы, имеющий поперечное сечение $2R = (0,6\text{-}1,0)\lambda$. Рефлектор может быть сплошным, сетчатым или сделан из радиальных стержней, или в форме «паутины». При этом наибольший размер ячейки в сетчатом рефлекторе не должен превышать $0,1\lambda$. При угле подъема спирали $\alpha = 14°$, $s/\lambda = 0,24$ и $n = 6$ антенна имеет оптимальные параметры. Расстояние начала спирали от экрана выбирают равным $0,13\lambda$.

Для приема излучения с линейной поляризацией можно применять антенну, состоящую из двух близко расположенных спиралей с параллельными осями, намотанных в противоположные стороны. Если эти спирали расположить в горизонтальной плоскости, то возможен прием волн с горизонтальной поляризацией, а при вертикальном расположении – с вертикальной поляризацией. Антенна из двух параллельно расположенных спиралей дает возможность при соединении спиралей параллельно получать входное сопротивление $R_{вх} = (65\text{-}80)$ Ом, что удобно при питании ее обычным коаксиальным кабелем без согласующих устройств. Если одиночная спиральная антенна используется для приема радиоволн с горизонтальной или вертикальной поляризацией, то при расчете к.н.д. следует из полученного значения к.н.д. вычесть 3 дБ.

Спиральная антенна имеет меньшие размеры, чем антенна «волновой канал», и способна работать в значительно большей полосе частот.

Расчет параметров спиральной антенны можно проводить по следующим эмпирическим формулам.

Входное сопротивление спиральной антенны, Ом:

$$R_{вх} = 140L/\lambda;$$

К.н.д. антенны:

$$G \approx 15(L/\lambda)^2 \cdot n \cdot s/\lambda;$$

Ширина диаграммы направленности на уровне половинной мощности (на уровне 3 дБ), град.:

$$\Delta\Theta_{0,5} \approx 52/(L/\lambda)\cdot\sqrt{n\cdot s / \lambda};$$

здесь s/λ – шаг спирали, отнесенной к длине волны; l/λ – относительная длина спирали; L/λ – относительная длина одного витка; n – количество витков спирали.

Длина спирали связана с ее шагом и числом витков:

$$n\cdot S/\lambda = l/\lambda.$$

При необходимости можно определить расположение «нулей» диаграммы направленности по формуле:

$$\Delta\Theta_0 = 2{,}2\Delta\Theta_{0,5}.$$

В [3] приведены следующие величины коэффициентов усиления цилиндрических спиральных антенн в зависимости от числа витков: 3 витка – 10,1 дБ; 4 витка – 11,3; 5 – 12,3; 6 – 13,1; 7 – 13,8; 8 – 14,4; 9 – 14,9; 10 – 15,3 дБ.

Примеры спиральных антенн.

1. Спиральная антенна для диапазона $\lambda = 70$ см имеет шаг $s = 15{,}4$ см, число витков $n = 7$ и длину витка $L = 54{,}5$ см (диаметр спирали $D = 16{,}7$ см). Таким образом, отношение $L/\lambda = 0{,}78$, $s/\lambda = 0{,}22$. По номограмме $l/\lambda = 1{,}54$ (то есть $l = 108$ см). $R_{вх} = 109$ Ом, $G = 11{,}4$ дБ, $\Delta\Theta_{0,5} = 53{,}8^{\circ}$ (можно вычислить расположение нулей $\Delta\Theta_0 = 120°$), $R_{вх} = 109$ Ом.
2. Одна из описываемых в любительской литературе спиральных антенн для диапазона $\lambda = 200$ см имеет шаг $s = 50$ см, число витков $n = 3$ и длину витка $L = 204$ см (диаметр спирали $D = 65$ см, расстояние от начала витка до рефлектора равно 41 см. Дисковый рефлектор выполнен из металлического листа и имеет диаметр 120 см. Антенна выполнена из металлической трубки диаметром 6 мм.

Спиральная антенна для 1296 МГц

В литературе [3] и [4] описана спиральная антенна на 1296 МГц, предложенная U1 8AAD и U1 8ABW. Она имеет четыре спирали, установленные на общем щите-рефлекторе. Поляризация поля кру-

говая. Такая антенна достаточно широкополосная и может применяться в диапазоне 1215-1300 МГц.

Поскольку описание антенны приводилось во многих источниках, в данной статье ограничусь только перечислением некоторых основных размеров антенны.

Диаметр витков спирали выбран (с учетом коэффициента укорочения) 0,31λ. Угол подъема спирали 14°, что соответствует расстоянию между витками 0,24λ; при этом антенна имеет оптимальные электрические параметры.

Каждая из спиралей состоит из семи витков, выполнена из посеребренного медного провода диаметром 3,5 мм. Диаметр намотки 71,3 мм, намотка всех четырех спиралей в одну сторону. Щит-рефлектор имеет размеры 600 × 600 мм и изготовлен из твердого дюралюминия толщиной 2 мм.

Следует отметить, что антенна – остронаправленная в обеих плоскостях и требует при установлении связи вращения как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях.

Зеркально-параболическая антенна

Зеркально-параболическая антенна состоит из отражающего металлического зеркала в форме параболоида вращения и излучателя, помещенного в его фокусе. Антенны этого типа относятся к классу синфазных; в любой точке воображаемой плоскости раскрыва зеркала электромагнитное поле синфазно. Синфазность поля определяется свойствами параболы: сумма расстояния от фокуса до любой точки параболы и от этой точки до плоскости раскрыва всегда постоянна. Поступающий на зеркало антенны пучок электромагнитных коле-

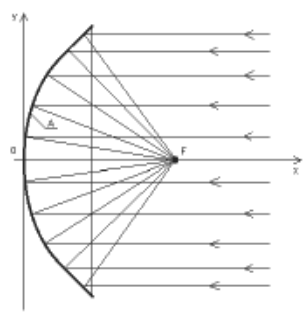


Рис. 14.4. Схема концентрации сигнала в фокусе зеркала

баний за счет отражения от поверхности зеркала, имеющего форму параболоида вращения, концентрируется в точке фокуса. Схематически этот процесс изображен на рис. 14.4.

Схема зеркально-параболической антенны изображена на рис. 14.5.

Чтобы построить параболическое зеркало, необходимо изготовить шаблон соответствующих размеров, связанных уравнением параболы

$y^2 = 4Fx$ (в прямоугольных координатах)

или

$\rho = 2F/(1+\cos\varphi)$ (в полярных координатах),

где F – фокусное расстояние.

Глубина зеркала H (расстояние от его вершины до плоскости раскрыва), диаметр зеркала D и его фокусное расстояние F связаны следующей зависимостью:

$H = D^2/16F$.

При конструировании зеркально-параболических антенн важное значение имеет еще один параметр – угловая апертура Ф – угол, под которым виден раскрыв зеркала из его фокуса. Знание этого угла необходимо для правильного расположения облучателя и выбора его диаграммы направленности. Если главный лепесток диаграммы на-

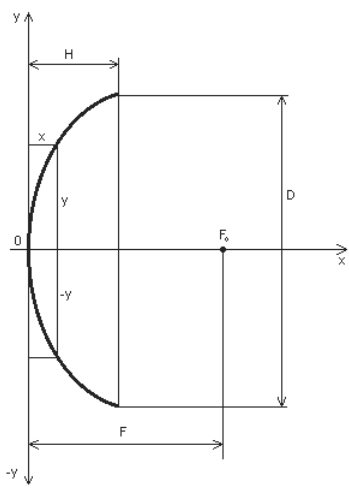


Рис. 14.5. Схема зеркально-параболической антенны

правленности облучателя меньше угловой апертуры Ф, то поверхность зеркала облучается не полностью, мал коэффициент использования поверхности (к.и.п.) Q и при одинаковых условиях антенна имеет меньший к.н.д. (G). Если ширина главного лепестка диаграммы направленности облучателя больше Ф, то часть энергии, проходя мимо зеркала, и к.п.д. антенны, падает. Кроме того, у антенны появляются сильные боковые лепестки. Обычно стремятся делать облучатель таким, чтобы на края раскрыва (на края зеркала) попадало 0,1 мощности, идущей в главном направлении.

Угловая апертура Ф связана с фокусным расстоянием и диаметром зеркала на основании предыдущей формулы следующим образом:

$$\operatorname{tg}(\Phi_0/2) = (D/2F)/(1 - D^2/16F^2).$$

Пример 1. Параболическое зеркало должно иметь диаметр раскрыва D = 110 см и фокусное расстояние F = 40 см. Глубина параболоида H = 19 см. При этом угловая апертура Ф = 138°.

При построении шаблона параболоида следует задавать значения x и определять по формуле соответствующие им значения y, а затем по полученным точкам строить параболу. Если используются полярные координаты, то по значениям угла ϕ находят соответствующие им значения ρ. Если параболоид выполнен на проволочном каркасе, то по значениям x и y определяют размеры и форму радиальных парабол и круговых поясов (то есть, кроме x и y, задают также D). Каркас обтягивают хорошо пропаянной сеткой из медной проволоки.

Коэффициент направленного действия G зеркально-параболических антенн прямо пропорционален площади раскрыва S, коэффициенту использования поверхности Q и обратно пропорционален квадрату длины волны λ. Чем уже диаграмма направленности облучателя, помещенного в фокусе зеркала, тем большее значение G у зеркально-параболической антенны. При этом уровень боковых лепестков уменьшается. Так, например, если в качестве облучателя использован полуволновой вибратор с рефлектором, то к. н. д. G будет меньше, а уровень боковых лепестков выше, чем при использовании в качестве облучателя более направленных антенн (типа «волновой канал», спиральных и др.).

Для определения к. н. д. зеркально-параболической антенны служит формула:

$$G = 4\pi Q(S/\lambda^2).$$

При этом для антенны с круглым раскрывом

$$S = \pi D^2/4.$$

Эти формулы дают возможность по заданным значениям D (или S) и λ определять к.н.д. G для различных значений к.и.п. Q (то есть для различных распределений высокочастотных токов в раскрыве), что, как уже говорилось, зависит от типа облучателя.

Практически трудно получить Q > (0,6-0,7). Для облучателя в форме полуволнового вибратора с рефлектором максимальное значение Q ≈ 0,56.

Пример 2. Для антенны D = 110 см на волне λ = 24 см при расчетах по формулам имеем к.н.д. G = 20,5 дБ. При этом согласно отношению D/λ = 4,6 ширина диаграммы направленности на уровне 3 дБ $\Delta\theta_{0,5} \approx 20^{\circ}$.

Параболоцилиндрическая антенна

Предлагаю вам для рассмотрения и использования разработанную мною конструкцию параболоцилиндрической зеркальной УКВ антенны. Принцип работы этой антенны аналогичен принципу описанной выше зеркально-параболической антенны. Антенна состоит из отражающего зеркального рефлектора и коллинеарного облучателя, размещенного на линии фокуса. Разница заключается в конструкции отражающего зеркала – рефлектора. Такое сложное название – «параболоцилиндрическая» – применено потому, что зеркало рефлектора выполнено в виде части цилиндра, у которого поперечное сечение имеет форму параболы, а не форму части окружности (дуги), как у обычного цилиндра. Такая конструкция рефлектора позволяет при очень узкой диаграмме направленности в вертикальной плоскости иметь довольно широкую диаграмму направленности в горизонтальной плоскости. Подобная форма переднего лепестка диаграммы направленности антенны очень удобна для радиостанций, не имеющих устройств точной ориентации антенны на корреспондента.

Еще одно достоинство этой конструкции заключено в возможности реализовать работу антенны на нескольких частотах за счет одновременного применения нескольких облучателей. Других подобных конструкций мною нигде в литературе не встречалось, поэтому данную конструкцию для упрощения можно назвать «антенна RA3XB».

Схема антенны приведена на рис. 14.6.

Конструктивно антенна выполнена в виде деревянного (или пластмассового) каркаса, состоящего из рамки А, двух стоек В и пластины для крепления облучателей С. К рамке А крепятся специальные ско-

бы E. Эти скобы выполнены из стальной проволоки, изогнутой точно по рассчитанной форме параболы, количество скоб может быть любое, но не менее трех. Концы скоб имеют нарезанную резьбу, которая служит для крепления скоб E к раме A. В рамке A для крепления скоб E сверлятся специальные отверстия. Вариант крепления показан внизу, в центре. Для крепления каждого конца скобы используются по две гайки (деталь 1) и две шайбы (деталь 2). Диаметр проволоки для изготовления скоб следует выбирать в зависимости от габаритных размеров антенны, но не менее 4 мм. При применении проволоки малого диаметра следует увеличить количество задействованных скоб.

К скобам E и рамке A крепится зеркало рефлектора D. Крепление рефлектора к скобам может быть выполнено обычными скобочками из более тонкой проволоки, а к рамке A – шурупами. Рефлектор должен изготавливаться из металлического листа (лучший вариант – алюминиевый лист) или пластмассового листа (жесткий линолеум), отражающая поверхность которого должна быть оклеена алюминиевой фольгой. В самом крайнем случае для временного варианта можно применить картон. При этом отражающая поверхность листа должна быть оклеена алюминиевой фольгой, а противоположная сторона картонного листа для защиты от влаги – полиэтиленовой пленкой.

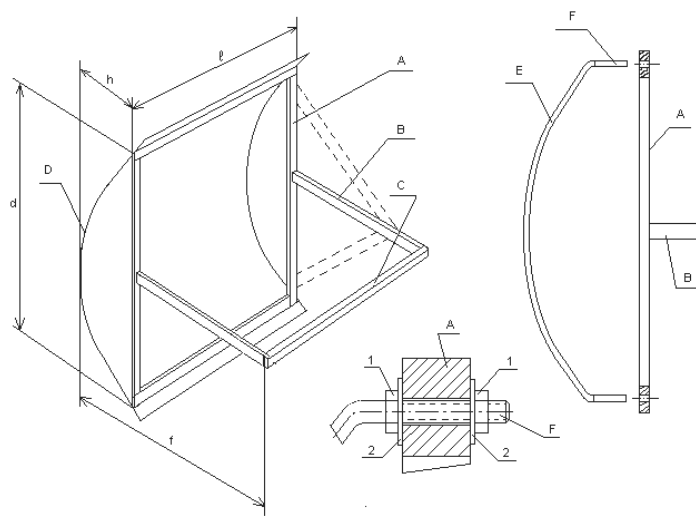


Рис. 14.6. Схема антенны RA3XB

Мною специально не приводятся какие-то геометрические размеры конструкции. Дело в том, что все размеры зависят от выбора изготовителем размеров F и D, а все остальные размеры получаются в результате расчета. Для одного из вариантов можно взять эти размеры из конструкции описанной выше зеркально–параболической антенны (F = 400 мм, D = 1100 мм).

Горизонтальный размер l зависит от размера выбранного облучателя. Если в описанной выше зеркально-параболической антенне вся энергия принимаемых сигналов концентрируется в *одной точке* фокуса, то в данной конструкции антенны вся энергия концентрируется в *линии* фокуса. Поэтому самым удобным для применения может быть облучатель, составленный из нескольких колинеарных диполей, то есть диполей, расположенных на одной линии и соединенных друг с другом через согласующие устройства. Схема самого простого из таких облучателей приведена на рис. 14.7.

Подобные конструкции часто используются радиолюбителями в виде вертикальных антенн с круговой диаграммой направленности на диапазоне 144 МГц. Такая антенна очень хорошо согласуется с кабелем и исключительно удобна для проведения местных радиосвязей. Антенна может быть изготовлена из медного провода диаметром 2-3 мм. Коаксиальный кабель подключается непосредственно к точкам X и X1, при этом к точке X подсоединяется оплетка кабеля, а к точке X1 – центральная жила. При желании можно выполнить более точную настройку антенны путем перемещения точек подключения кабеля вниз или вверх (по схеме) при одновременном контроле излучаемой мощности или коэффициента стоячей волны. Диполи антенны самого низкочастотного диапазона должны располагаться относительно рефлектора таким образом, чтобы между боковой кромкой рефлектора и проекциями на рефлектор концевых точек диполей

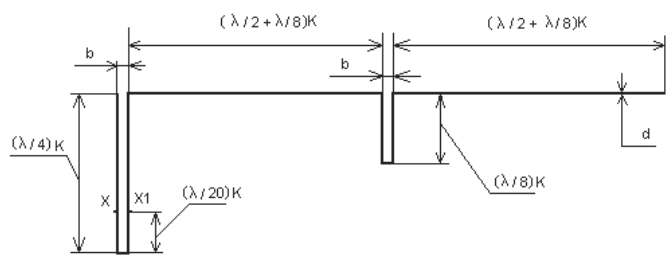


Рис. 14.7. Схема простого облучателя из двух колинеарных диполей

оставалось пространство не менее λ/10. Следовательно, горизонтальный габаритный размер l должен быть равен сумме длин диполей плюс 2λ/10.

Если этот размер окажется слишком большим, то можно взять другую конструкцию облучателя, у которой каждый диполь имеет длину (λ/2)*K, но при этом связаны они между собой четвертьволновыми трансформаторами. Такая схема компоновки колинеарной антенны является классической.

Кстати, обратите внимание, что слово «колинеарный» пишется с одной буквой «л». Дело в том, что в русском языке нет приставки «кол», а имеются две заимствованные их иностранного языка приставки «ко» и «кон». Например, вспомните слова «коаксиальный», «колинеарный», «концентрические» и т.д. Слово «кол» является корневым словом. Вспомните школьные годы и самую нежелательную отметку в дневнике.

На рис. 14.8 представлена схема классического варианта колинеарной антенны, которую можно применить в качестве облучателя антенны RA3XB на любых УКВ диапазонах.

Размер **b** на рис. 14.7 и рис. 14.8 следует выбирать из табл. 14.1. Размеры получены путем расчета при условии, что волновое сопротивление линии во всех случаях равно примерно 300 Ом.

Таблица 14.1. *Размеры для колинеарных диполей*

d, мм	0,8	1	1,5	2	3	4	5	6	7	8	9	10
b, мм	5	6	7	12	19	25	31	37	43	49	55	62

Так что выбор конструкции облучателя обширный, также возможны самые различные варианты совмещений и размещений. Поэтому и габаритный размер по горизонтали может иметь любое удобное для вас значение.

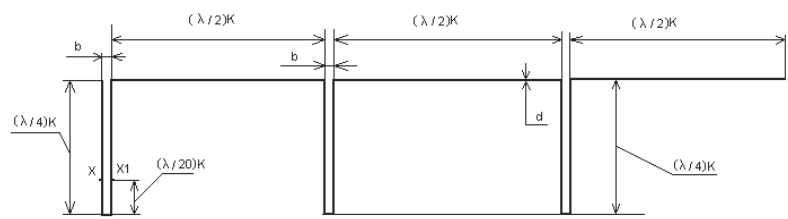


Рис. 14.8. Антенна из колинеарных диполей

Для размещения облучателя в конструкции антенны RA3XB специально предназначена планка С, расположенная точно в линии фокуса. Изготовленный из медного провода облучатель крепится к планке С в нескольких местах капроновыми нитками или изолентой. На планке С можно расположить сразу несколько облучателей для работы в различных диапазонах. Например, сверху планки С располагается облучатель диапазона 435 МГц, а снизу – облучатели диапазона 1296 МГц и диапазона 2400 МГц.

При расчетах длин диполей облучателя следует учитывать величину укорочения длины диполя в зависимости от диаметра проводника, из которого предполагается изготавливать этот диполь. На УКВ диапазонах принято проводить расчет длины диполя с учетом коэффициента укорочения К, который находится в определенной зависимости от отношения λ/d. В табл. 14.2 приведены величины коэффициента укорочения К для некоторых величин отношений λ/d. Промежуточные значения К можно назначить примерно, исходя от размеров двух ближайших значений.

Таблица 14.2. *Коэффициенты укорочения диполя*

λ/**d**	30	40	50	60	80	100	200	300	400	900	2000	5000
K	0,85	0,87	0,88	0,89	0,90	0,907	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98

При изготовлении каркаса антенны следует обратить внимание на создание достаточной жесткости стоек В. Для этого можно будет установить дополнительные укосины, показанные на схеме антенны штриховыми линиями. На стойках В можно будет также разместить коробки с антенными усилителями.

Коэффициент направленного действия антенны рассчитывается по формуле:

$$G = 4\pi S/\lambda^2,$$

где S – площадь раскрыва антенны, S = dl; λ – длина волны. При расчетах длина волны и геометрические размеры должны быть в одних единицах измерения. Обычно используются сантиметры.

Проведем прикидочные расчеты величин к.н.д. антенны для различных диапазонов – диапазона 435 МГц (длина волны – 69 см), диапазона 1296 МГц (длина волны – 24 см) и диапазона 2400 МГц (длина волны 12 см). Расчет проводим для величины площади раскрыва $S = dl = 110 \times 140 = 15400$ см^2, $4\pi S = 193424$ см^2. Данные расчета приведены в табл. 14.3.

Таблица 14.3. *Результаты расчета для d = 110 см*

λ, см	λ^2, см^2	G	G, дБ
690	4761	40,6	16
24	576	335,8	22
12	144	1343,2	30

Увеличивая размер раскрыва антенны d до величины 150 см, можно значительно увеличить к.н.д. Результаты расчета к.н.д. антенны RA3XB при величине d = 150 см приведены в табл. 14.4. Площадь $S = dl = 150 \times 140 = 21000$ см^2, $4\pi S = 263760$ см^2.

Таблица 14.4. *Результаты расчета для d = 150 см*

λ, см	λ^2, см^2	G	G, дБ
690	4761	55,4	19
24	576	457,9	25
12	144	1831,6	32

Выполненный расчет показывает, что даже небольшое увеличение раскрыва антенны значительно увеличивает направленные свойства, а значит и коэффициент усиления антенны.

Огромное преимущество этой антенны по сравнению с антенными решетками в том, что антенну RA3XB не нужно настраивать. Те, кто пытался получить хорошие результаты при настройке длинных директорных антенн или антенных решеток, оценят такое преимущество.

Прикидочными расчетами получено, что угол диаграммы направленности антенны в вертикальной плоскости на 435 МГц будет порядка 18°, а угол в горизонтальной плоскости – порядка 45°. Это говорит о том, что антенну можно использовать как стационарную для проведения связей через ИСЗ на многих из орбит. На более высокочастотных диапазонах угол в вертикальной плоскости будет значительно меньше, а угол в горизонтальной плоскости тоже уменьшится, но на меньшую величину.

Недостаток антенны заключается в ее значительной парусности. Но если учесть возможности довольно простыми средствами достигнуть огромных величин коэффициента усиления, которые не могут быть достигнуты многими из обычных средств, то стоит задуматься об изготовлении этой антенны.

Если при изготовлении антенны точно соблюдены все расчетные данные, то никакой дальнейшей настройки не требуется.

Антенна не прошла достаточных испытаний, поэтому автору будут интересны любые данные об использовании антенны.

Изготовление антенны следует начать с построения линии параболы, по форме которой затем нужно будет изгибать проволочные скобы Е. Эта работа должна быть выполнена с возможно большей точностью. На листе миллиметровки (бумаги с миллиметровой разметкой) размером 2000×500 мм следует сначала начертить осевые линии x и y. Ось x должна проходить посередине длинной стороны листа миллиметровки (поперек листа), а ось y должна располагаться у левой кромки листа. Для примера смотрите схему на рис. 14.5.

Решаем задачу построения параболы, имеющей расстояние фокуса f = 550 мм и размер раскрыва отражающего зеркала d = 1500 мм. Пересечение осевых линий x и y дает точку начала отсчета – точку 0 (ноль). Затем на оси x от точки 0 откладываем первое значение x = 2 мм. Подставляем эту величину в формулу $y^2 = 4fx$ и вычисляем сначала $y^2 = 4 \times 550 \times 2 = 4400$, затем извлекаем из полученного значения квадратный корень, тем самым вычисляем значение y. Полученное значение y откладываем вдоль оси y сначала в зоне положительных величин (выше оси x), затем в зоне отрицательных величин (ниже оси x). Таким образом мы имеем уже три точки необходимой параболы. Затем назначаем величину x = 5 мм и по формулам определяем соответствующее значение величины y. Ставим на бумаге еще две точки, относящиеся к нашей параболе. Точно таким же образом определяем величины y, соответствующие значениям x = 10, 20, 30, 50, 100, 200 и 300 мм. Откладываем полученные величины по обе стороны оси x и получаем полный профиль необходимой параболы.

Все расчетные величины для этого примера приведены в табл. 14.5.

Таблица 14.5. *Расчетные величины параболы*

X	2	5	10	20	30	50	100	200	300
Y^2	4400	11 000	22 000	44 000	66 000	110 000	220 000	440 000	660 000
Y	66	105	148	210	257	332	469	663	812

Если теперь соединить все полученные точки, то получим кривую линию, которая называется параболой и форме которой должны точно соответствовать формы изгиба всех скоб Е. Раскрыв рефлектора должен ограничиваться размером 750 мм выше оси x и размером – 750 мм, то есть ниже оси x. В итоге величина раскрыва рефлектора будет соответственно d = 1500 мм.

Следующим этапом следует назначить габариты рамки А и размеры прочих составных частей. Не вздумайте устанавливать облучате-

ли чуть ближе или чуть дальше от рефлектора! Антенна работать не будет, если облучатели установлены не на линии фокуса! Проверьте размер f от рефлектора до облучателя после сборки всей конструкции еще раз.

Еще один вариант конструкции этой антенны

На рис. 14.9 схематически изображен еще один вариант изготовления антенны RA3XB.

В этом варианте в качестве элемента, задающего форму параболы, используется деревянная доска. Если ширины одной доски недостаточно, то можно сделать составной щит из нескольких узких досок.

1. На доске описанным выше способом вычерчивается контур параболы. Это изображено на поз. 1.
2. Ножовкой вырезается нужная часть доски, при этом следует оставлять припуск величиной не менее 1 мм для дальнейшей, более точной обработки контура параболы. Таким путем изготавливаются два абсолютно одинаковых элемента, изображенные на поз. 2.
3. К этим двум элементам мелкими шурупами крепится рефлектор, получается своеобразное «корыто», к которому затем крепятся держатели облучателя.
4. В заключение вся эта конструкция крепится к жесткой несущей рамке.

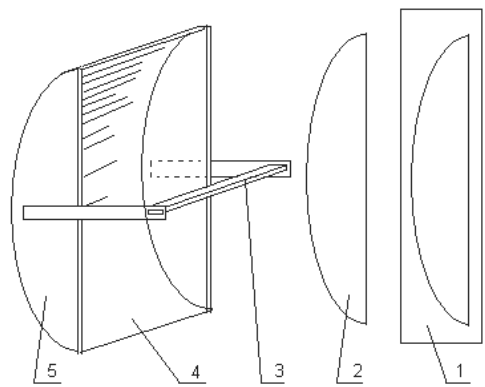


Рис. 14.9. Второй вариант изготовления рефлектора

Все тонкости настройки смотрите выше, в описании предыдущей конструкции.

Антенна RA3XB не требует большой высоты подъема, может устанавливаться на небольшой подставке или крепиться к стенке какого-либо строения.

Антенна представляет собой НАИЛУЧШИЙ вариант:

- для приема телевидения от удаленного телецентра;
- для работы с удаленным ретранслятором;
- для работы с некоторыми из спутников.

Программа antenna1

Разработанная мною компьютерная программа antenna1 предназначена для расчета параметров параболоцилиндрической антенны RA3XB.

После запуска в программу вводится размер предполагаемого раскрыва зеркального рефлектора в миллиметрах, ширина рефлектора и рабочая частота в МГц. После нажатия на кнопку «Выполнить расчет» программа выдает следующие данные:

- коэффициент направленного действия антенны для заданной частоты;
- величина фокусного расстояния;
- координаты точек контура параболы.

Программа располагается в Интернет на Web-узле автора по адресу: http://ra3xb.narod.ru/

Антенна ЗИГЗАГ

Для связи на диапазоне 146 МГц очень удобной может быть антенна ЗИГЗАГ, разработанная К. П. Харченко и описанная в [9]. Эта антенна очень хорошо согласуется с обычным телевизионным коаксиальным кабелем (75 Ом), что очень важно для начинающих радиолюбителей при приеме слабых сигналов. Далее описывается расчет собственно полотна антенны, затем описывается вариант антенны с дополнительным рефлектором. Но кроме этого, к антенне можно добавить два этажа из волновых вибраторов с самым разным числом директоров. Мною испытывались несколько разных вариантов этой антенны, и все они работали очень хорошо.

Выполнение полотна зигзагообразной антенны

Далее в этом разделе будет рассказано о том, как нужно конструировать самому зигзагобразную антенну, чтобы она удовлетворяла всем вашим потребностям. Если у вас нет желания вникать в тонкости создания антенны, то изготавливайте активную рамку антенны из сплошного куска провода диаметром 4-5 мм по рис. 14.10. При этом все углы должны составлять 90°, длина стороны квадрата должна быть равна четверти длины волны рабочего диапазона. Далее делайте рефлектор, располагайте его на расстоянии 0,2 длины волны от активной рамки (полотна), и все будет ОК.

Для тех, кто хочет вникнуть в тонкости создания этой антенны, предлагается следующий материал. Автор называл эту антенну как З-антенна. Не будем огорчать его и продолжим эту традицию.

З-антенна (рис. 14.10) удобна тем, что ее конструкция сравнительно проста и отклонения в ту или иную сторону от номинальных размеров, неизбежные при изготовлении антенны, практически не сказываются на ее параметрах. Эта широкополосность очень удобна для начинающих укавистов.

Для изготовления антенны нужно взять деревянный брусок 1, который служит одновременно ее центральной стойкой и мачтой.

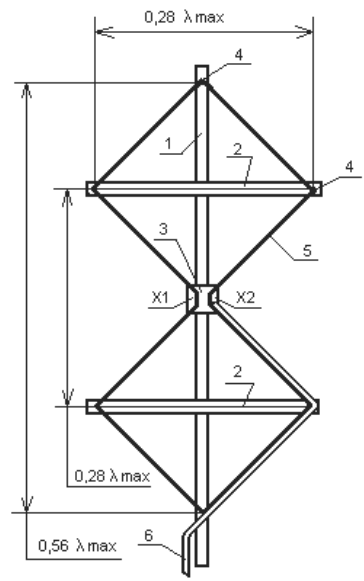


Рис. 14.10. Конструкция варианта зигзагообразной антенны

К бруску под углом 90° крепятся две рейки 2, которые вместе с ним образуют каркас антенны. Посередине между рейками устанавливается плата 3, состоящая из двух металлических зажимов, собранных на диэлектрической прокладке. На бруске сверху, снизу и на концах реек закрепляют изоляторы 4. В качестве последних можно воспользоваться роликовыми изоляторами от осветительной сети или уголками из прочной пластмассы (стеклотекстолита). На изоляторах и плате 3 натягивают полотно антенны 5, которое выполняется из проволоки или антенного канатика. Проводники полотна антенны припаиваются к зажимам питания 3 в точках X1 и X2. Но перед этим к проводникам полотна антенны в точках X1 и X2 припаиваются выводы кабеля питания. При этом к точке X2 припаивается оплетка кабеля, к точке X1 припаивается центральная жила. Сам кабель питания 6 подвязывают к центральной стройке и по одному из внутренних проводников полотна антенны прокладывают к точкам питания X1 и X2. Размеры деталей, не указанные на рис. 14.10, можно выбирать произвольно.

Для оценки и сравнения антенн различных типов и конструкций особенно важны данные, характеризующиеся их электрическими свойствами. На рис. 14.11 кривой 1 показана зависимость КБВ от отношения l/λ в 75-омном фидере для З-антенны, изображенной на рис. 14.10, а кривой 2 – аналогичная зависимость для значений ее КНД. Как видно с ростом отношения l/λ КНД З-антенны вначале увеличивается, достигает некоторого максимума и затем уменьшается. Начальный рост КНД объясняется увеличением (в длинах волн) размеров полотна З-антенны, а спад – после прохождения оптимального соотношения l/λ – расфазировкой ее элементов. С помощью графика, изображенного на рис. 14.11, можно построить антенну, имеющую максимально возможный КНД для заданного типа полотна антенны. При этом ее диапазонность будет снижена. При построении антенны представляют интерес также и данные, показывающие тенденцию изменения характеристик антенны в зависимости от конструктивного изменения ее элементов и допускающие количественные оценки. На основании этих данных радиолюбитель может сознательно варьировать имеющимися у него материалами и средствами для построения антенны.

Так, например, зависимости рис. 14.12 показывают изменение активной составляющей входного сопротивления З-антенны в диапазоне волн, выполненной из проводников различного диаметра при угле

изгиба 90°. Эти графики необходимы для определения возможности согласования З-антенны с фидером в заданном диапазоне частот.

Входное сопротивление З-антенны в диапазоне частот в значительной степени зависит от поперечных размеров проводников, из которых выполнено ее полотно.

Чем толще проводники, тем меньше входное сопротивление в области резонанса и лучше согласование с фидером. Следует учитывать, что кривая 1 построена для зависимости $l/r = 34$, кривая 2 – для зависимости $l/r = 63$, а кривая 3 – для зависимости $l/r = 150$. Смысл величин r смотрите на рис. 14.13. Максимум КНД (см. рис. 14.11 и рис. 14.12) находится в области резонанса. Поэтому при выполнении З-антенны с $l/\lambda \approx 0{,}375$ (наиболее эффективной антенны) следует особо позаботиться о ее согласовании с фидером. С удалением от резонансной частоты разница в значениях R_A для различных отношений l/r быстро уменьшается, и в пределах отношения $l/\lambda = 0{,}2 \div 0{,}32$ диаметр проводника практически не сказывается на активной составляющей входного сопротивления З-антенны. Это обстоятельство позволяет при проектировании облегчить конструкцию З-антенны для работы на определенной частоте. Полотно З-антенны можно выполнить из проводников самого различного профиля: трубок, пластин, уголков и т. п.

Проводники, из которых изготавливается рамка активного вибратора (полотно антенны), могут изготавливаться или из трубки (провода) определенного радиуса величиной $2r_{экв}$, или из нескольких

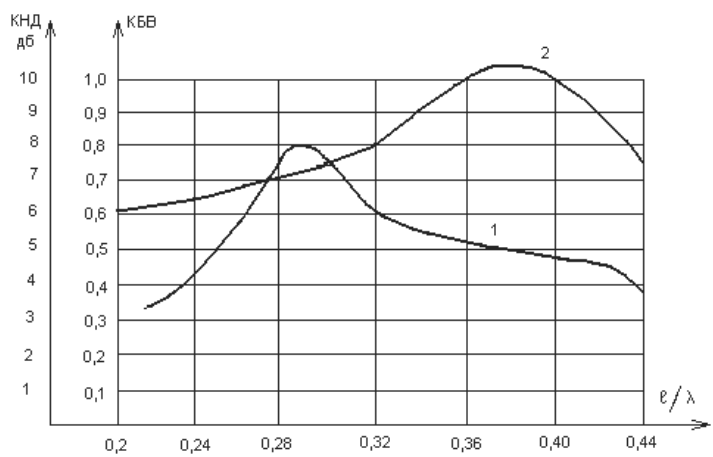


Рис. 14.11. К оценке характеристик варианта зигзагообразной антенны

тонких проводников, расположенных по окружности с диаметром, равным 2r. На рис. 14.13 показаны зависимости между этими двумя величинами, по которым можно определить размеры или количество тонких проводников, из которых можно создать пучок, эквивалентный диаметру трубки, и наоборот.

Следует уделить особое внимание гидроизоляции кабеля питания в месте его разделки. Дело в том, что при плохой гидроизоляции по экранной оплетке кабеля влага постепенно добирается до вашей квартиры и кабель очень скоро выходит из строя. В крайнем случае место разреза внешней оболочки нужно надежно обмотать толстым слоем текстильной изоляционной ленты.

Для уменьшения веса и парусности сплошной проводник целесообразно заменить эквивалентным ему по электрическим параметрам проводником, выполненным из ряда параллельных проводов (см. рис. 14.13).

Увеличение эффективности зигзагообразной антенны

Для увеличения направленности антенны, состоящей из зигзагообразного полотна, применяют плоский экран-рефлектор. В его задачу входит отражение части высокочастотной энергии, падающей на экран, в сторону полотна антенны. В плоскости последнего фаза высокочастотного поля, отраженного от рефлектора, должна быть близка к фазе поля, создаваемого самим полотном. В этом случае происходит требуемое сложение полей, и экран примерно удваивает

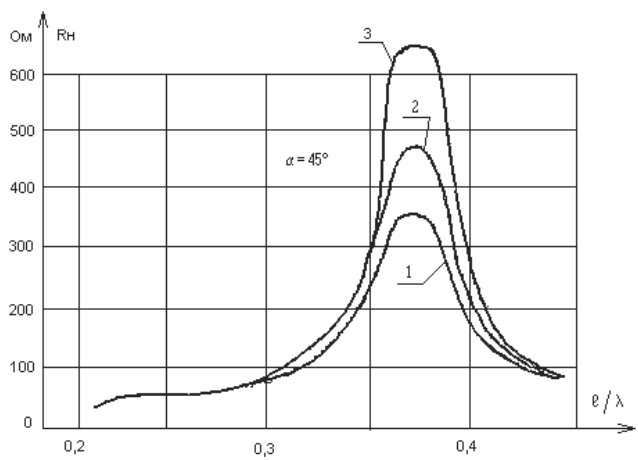


Рис. 14.12. Зависимость активной составляющей входного сопротивления 3-антенны от l/λ для различных диаметров проводников ее полотна

первоначальный коэффициент усиления антенны. Фаза отраженного поля зависит от формы и размеров экрана, а также от расстояния S между ним и полотном антенны. Как правило, размеры экрана достаточно велики, и фаза отраженного поля зависит главным образом от последнего фактора. На практике редко выполняют рефлектор в виде сплошного металлического листа. Чаще он представляет собой ряд проводников, расположенных в одной плоскости параллельно вектору поля E.

Длина проводников определяется максимальной длиной волны рабочего диапазона и размерами активного полотна антенны. Последнее не должно выступать за пределы экрана. В плоскости E размер рефлектора обязательно должен быть несколько больше половины максимальной длины волны. Чем толще проводники, из которых выполнен рефлектор, и чем ближе они расположены друг к другу, тем меньшую часть падающей на него энергии пропускает рефлектор в заднее полупространство. Однако по конструктивным соображениям экран не следует делать слишком плотным. Практически достаточно, чтобы расстояние между проводниками диаметром 2-3 мм не превышало 0,05-0,1 от минимальной длины волны рабочего диапазона. Можно пренебречь влиянием элементов (из металла или диэлектрика) на работу рефлектора, если они расположены в плоскости самого рефлектора или за ним. Проводники, образующие экран, можно соединить между собой при необходимости в любом месте. В частности, их можно приваривать или припаивать к металлической раме. Во избежание дополнительных помех не следует допускать, чтобы проводники (полотна антенны или рефлектора) под действием ветра

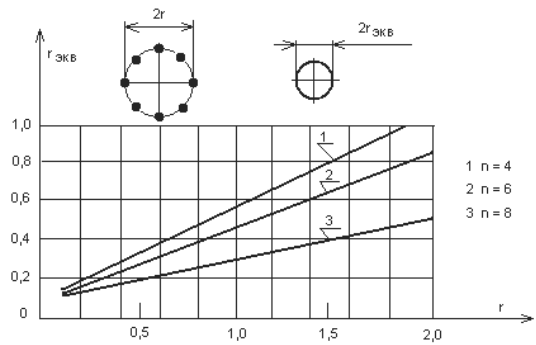


Рис. 14.13. Зависимости между радиусом и радиусом эквивалентным

терлись, либо касались друг друга. Один из возможных вариантов антенны с рефлектором показан на рис. 14.14.

Полотно антенны может состоять из трубок, толстого провода или из плоских проводников-планок. Такая конструкция может быть выполнена полностью из металла. В местах соединений элементы антенны должны иметь между собой электрический контакт. Описываются хорошие результаты у подобной антенны, рефлектор которой выполнен из металлической сетки.

Следует иметь в виду, что с обратной стороны рефлектора может быть расположено еще одно активное полотно антенны, рассчитанное для работы в таком же или более высокочастотном диапазоне. В этом случае габариты экрана определяются максимальной длиной волны рабочего диапазона антенн, а его плотность (расстояния между проводами рефлектора) – минимальной длиной волны. Если поляризации антенн, расположенных по разные стороны экрана, не совпадают, например взаимно перпендикулярны, то для второй антенны необходимо изготовить свой рефлектор, провода которого могут располагаться в плоскости первого (пересекать или накладываться на его проводники) и должны быть параллельны вектору поля E второй антенны. В случае касания проводов рефлекторов их целесообразно в этих точках перепаять друг с другом.

Непосредственный практический интерес представляют вопросы согласования с питающим фидером З-антенны с экраном.

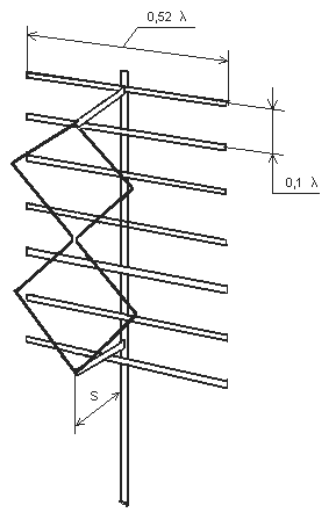


Рис. 14.14. К пояснению конструкции З-антенны с экраном

На значение КБВ в тракте с волновым сопротивлением 75 ом в значительной степени влияют как ширина планки $d_{пл}$ (или радиус провода r), так и расстояние S, на которое полотно антенны удалено от экрана.

На рис. 14.15 приведены зависимости КБВ от l/λ для З-антенны при $S = 0{,}16\lambda_{макс}$ и различными размерами $d_{пл}$. Первая кривая приведена для $d_{пл} = 0{,}003\lambda_{макс}$. С увеличением ширины планки КБВ заметно возрастает, однако по конструктивным соображениям затруднительно применять планки шириной больше чем $d_{пл} = (0{,}16\text{-}0{,}17)\ l$. Максимум КБВ имеет место при $l/\lambda \approx 0{,}25$ и почти не зависит от ширины планки. Для получения приемлемого согласования З-антенны с фидером в широком диапазоне частот полотно антенны следует располагать от экрана на расстоянии $S \geq 0{,}18\ \lambda_{макс}$. Однако размер S влияет и на направленные свойства антенны. С его увеличением КНД антенны снижается и сужается диапазон частот, в пределах которого направленные свойства З-антенны не претерпевают заметных изменений. Таким образом, с точки зрения улучшения последних, размер S желательно уменьшать, а с точки зрения согласования – увеличивать.

Еще один вариант увеличения эффективности

Смысл этого варианта заключается в том, что к полотну З-антенны можно добавить элементы антенны «волновой канал» – директоры и рефлекторы. Один из таких вариантов показан на рис. 14.16.

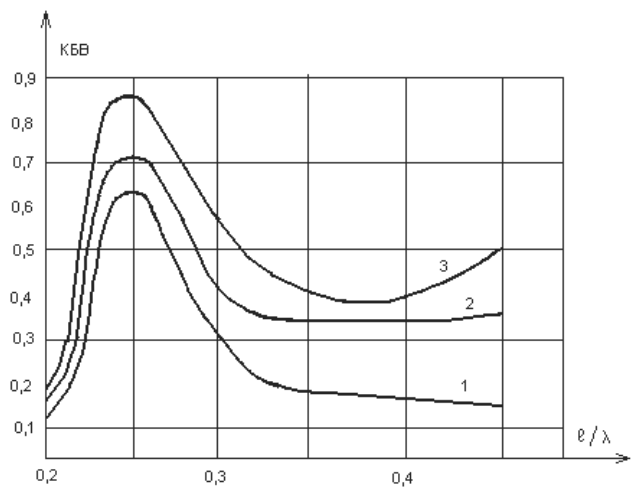


Рис. 14.15. Зависимость КБВ З-антенны от l/λ для разных диаметров проводников ее полотна

В литературе описывается подобный вариант антенны. При этом усиление G = 9 дБ, ширина горизонтального лепестка диаграммы направленности составляет 60°, а вертикального – 50°.

АНТЕННА DL7KM

Немецкий радиолюбитель DL7KM на базе З-антенны сделал очень эффективные конструкции УКВ антенны для диапазонов 145 МГц и 434 МГц. По заверению автора, антенна для диапазона 145 МГц имела усиление 17 дБ по отношению к полуволновому вибратору, обратное подавление – 25 дБ. Угол главного лепестка диаграммы направленности в вертикальной плоскости – 18°, в горизонтальной – 30°.

Мною изготавливалась подобная антенна для диапазона 145 МГц и для телевизионного диапазона 480 МГц. И в том и в другом варианте антенна показала исключительно хорошие результаты. К сожалению, никаких измерений параметров этих антенн мною не было сделано.

В этом разделе я приведу основные данные по антенне DL7KM, полученные из журнала «Funkamateur» №4 за 1975 год. На рис. 14.17 приведено схематическое изображение конструкции этой антенны.

Несущие элементы конструкции (в том числе и траверсы) выполнены из алюминиевой трубы квадратного сечения размером 35×35 мм, толщина стенки – 3 мм. Все директоры и рефлекторы выполнены из алюминиевых трубок диаметром 8 мм, толщина стенки – 1 мм.

Активная рамка выполнена из алюминиевого провода диаметром 5 мм, длина стороны квадрата активной рамки равна 528 мм.

Длина каждого из трех рефлекторов равна 1050 мм.

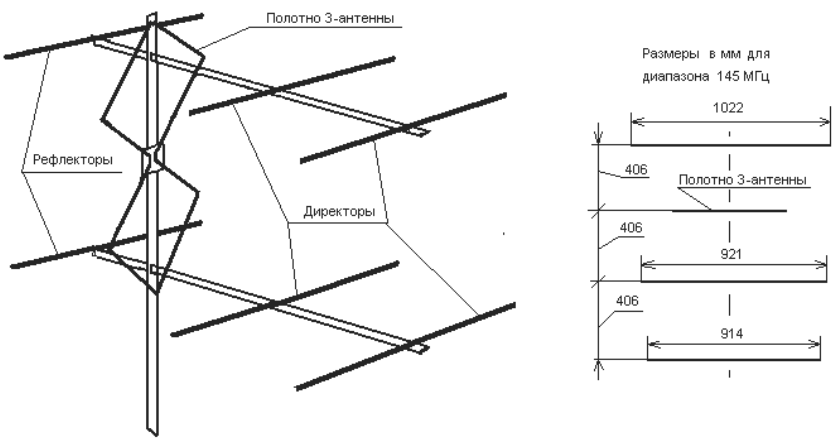


Рис. 14.16. Вариант З-антенны

Расстояние между рефлекторами ARR = 660 мм.

Расстояние между активной рамкой и рефлекторами AR = 460 мм.

Расстояние A1 = A2 = 300 мм, A3 = 330 мм, A4 = 500 мм, A5 = A6 = A7 = A8 = 520 мм.

Размеры директоров: D1 = 935 мм, D2 = 930 мм, D3 = 925 мм, D4 = 920 мм, D5 = 915 мм, D6 = 910 мм, D7 = 905 мм и D8 = 890 мм.

Изготавливаемая мною в конце 70-х годов прошлого столетия подобная антенна имела траверсы из дюралевых трубок диаметром 30 мм, рефлекторы и директоры изготавливались из биметалла (сталь-алюминий) диаметром 5 мм, активная рамка – из алюминиевой трубки диаметром 15 мм. Поэтому длины всех элементов пришлось пересчитывать, а затем подгонять при настройке антенны. К сожалению, никаких данных по размерам не сохранилось.

Антенна для телевизионного диапазона изготавливалась из деревянных брусков. Все рефлекторы и директоры изготавливались из медной проволоки диаметром 2,5 мм. Размеры всех элементов были получены методом пропорционального пересчета. Эта антенна применялась для приема передач от телецентра, удаленного на расстояние 75 км, и работала очень хорошо.

Если вам необходима эффективная УКВ антенна, не требующая сложной настройки, то очень советую обратить внимание на антенну DL7KM.

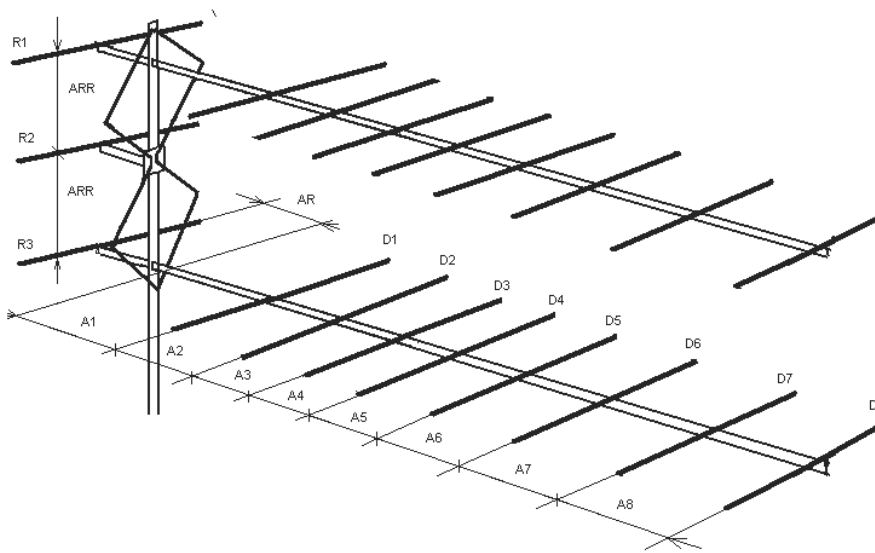


Рис. 14.17. Схематическое изображение антенны DL7KM

Настройку антенны можно выполнить по предлагаемой мною в следующей главе методике.

Способы уменьшения размеров антенны

Этот небольшой раздел относится к любым конструкциям антенн, особенно дипольных.

Следует знать, что расширение рабочего диапазона частот антенны связано с нежелательным увеличением диаметра ее проводов. На практике нередко заменяют цилиндрические проводники со сплошной поверхностью пластинами или рядом более тонких проводников, расположенных в одной плоскости либо по цилиндрической поверхности. На рис. 14.13 показаны геометрические соотношения, позволяющие конструировать цилиндрические проводники с меньшей парусностью, волновое сопротивление которых равно волновому сопротивлению цилиндрического проводника со сплошной поверхностью. С помощью графика, изображенного на рис. 14.18, можно построить плоский проводник, эквивалентный цилиндрическому в отношении волнового сопротивления, при равном числе n образующих проводов. При необходимости можно заменить сплошной трубчатый проводник радиуса r сплошной пластиной, ширина которой $L = 4r$, если $r << \lambda$.

При этом имеется возможность сократить примерно вдвое вес и парусность вибратора как объемного, так и плоскостного типов за счет существенного (примерно на порядок) уменьшения поперечных размеров их конечных участков.

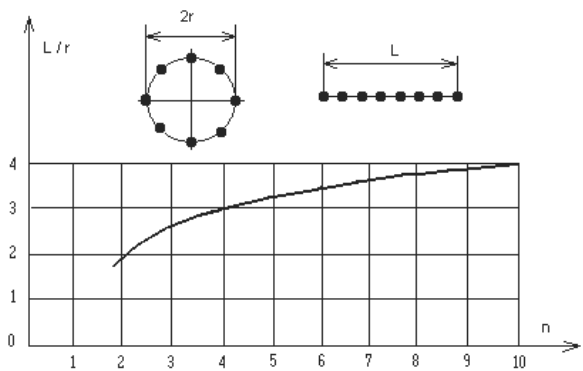


Рис. 14.18. Зависимость между диаметром трубки и ленточным проводником

ГЛАВА 15.
НЕМНОГО ТЕОРИИ И ОСНОВЫ НАСТРОЙКИ УКВ АНТЕНН

Очень коротко об основных понятиях 389
Полуволновый вибратор..... 389
Петлевой вибратор..... 392
Фидер 393
Диаграмма направленности..... 395
Настройка УКВ антенн 395
Настройка многоэлементных антенн типа «волновой канал» 397
Настройка длинных антенн «волновой канал» 401
Контроль согласования антенн..... 402
Специальные приборы 404
Рефлектометр УКВ 404
Применение рефлектометра..... 404
Пример конструкции рефлектометра 407
Антенноскоп..... 409
Еще один прибор 413

ОЧЕНЬ КОРОТКО ОБ ОСНОВНЫХ ПОНЯТИЯХ

Имеется большое количество литературы, посвященной описанию антенных систем различнейших конструкций. Наиболее популярными среди радиолюбителей являются книги [3], [4], [1], [9] и [10]. Кроме того, в журналах «Радиолюбитель», «Радиолюбитель КВ и УКВ» и др. постоянно печатаются статьи о новых разработках радиолюбительских антенн для различных диапазонов. Так что заинтересованный читатель всегда может найти массу информации по вопросам конструирования и работы различных антенных систем.

Поэтому я не буду останавливаться на описании вопросов создания и работы популярных антенн, информации по которым вполне достаточно. В книге будут описаны только некоторые специальные антенны, которые, по моему мнению, недостаточно освещены в любительской литературе. В начале этой главы я сделаю для начинающих радиолюбителей краткие описания основных элементов и понятий, имеющих отношение практически к любой радиолюбительской антенной системе:

- ❑ полуволновый вибратор;
- ❑ петлевой вибратор;
- ❑ фидер;
- ❑ диаграмма направленности.

Полуволновый вибратор

Излучаемая антенной радиопередатчика электромагнитная энергия характеризуется определенной величиной, называемой *частотой колебаний,* которая представляет собой количество единичных электромагнитных периодов, возникающих в течение одной секунды. За единицу измерения частоты колебаний принято такое состояние излучаемой электромагнитной энергии, когда за одну секунду возникает только один период колебаний. Такая единица измерения называется герц (по фамилии известного ученого). Это элементарное понятие известно каждому школьнику, поэтому следует только заметить, что каждой величине колебаний в герцах соответствует также определенная длина пути (в метрах), которая равна кратчайшему расстоянию в пространстве, которое пройдет волна электромагнитного колебания за один период.

Математическая зависимость между длиной волны электромагнитных колебаний и частотой этих колебаний выражается формулой

$\lambda = C/f,$

где λ - длина волны в метрах, C – скорость света в вакууме, равная 300 000 000 м/с (или 300 000 км/с), f – частота в Герцах (или кГц, если C = 300 000 км/с).

Частота колебаний определяется по формуле

$f\,[кГц] = 300\,000\,[км/с] / \lambda\,[м]$

И теория и практика антенных систем показали, что наилучшими условиями излучения электромагнитных волн (или приема этих волн) обладают антенны, геометрические размеры которых равны длине волны или составляют половину длины волны, но не менее одной четвертой части от длины волны.

Наибольшее применение в радиолюбительских УКВ антеннах в качестве излучающего элемента приобрел прямолинейный цилиндрический проводник, питаемый генератором электромагнитных колебаний высокой частоты. Длина этого элемента равна половине длины излучаемых им радиоволн, поэтому этот элемент получил название *полуволнового вибратора (диполь)*. На рис. 15.1 изображена схема полуволнового вибратора.

Что нужно знать о полуволновом вибраторе:

- Полуволновый вибратор (диполь) может быть либо *активным,* либо *пассивным* элементом. Активным вибратор является в том случае, если он соединен одним проводом или системой проводов с основным радиоаппаратом – передатчиком или приемником. При этом говорят, что на вибратор подается *питание,* то есть вибратор является *запитанным*. Пассивные диполи располагаются в непосредственной близости от вибратора активного и служат для формирования *диаграммы направленности* антенной системы. Непосредственно с передатчиком или приемни-

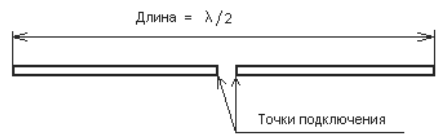


Рис. 15.1. Полуволновый вибратор

ком пассивные элементы не соединены. Пассивные вибраторы могут быть либо длиннее, либо короче активного вибратора. Более длинный вибратор называют *рефлектором,* укороченные вибраторы называются *директорами*. Антенная система, созданная из активного вибратора, рефлектора и нескольких директоров, расположенных параллельно друг другу на одной несущей траверсе, называется *волновым каналом*. В общем случае это будет многоэлементная антенна.

- Полуволновый вибратор может быть запитан с конца, тогда такая антенная система будет иметь большое входное сопротивление и, следовательно, должна запитываться по фидеру, который имеет точно такое же большое волновое сопротивление. Чаще всего поступают таким образом, что между запитывающим фидером и концом полуволнового вибратора устанавливают *согласующее устройство*. Обычно таким согласующим устройством бывает трансформатор, намотанный на ферритовом кольце или четвертьволновый трансформатор, выполненный из коаксиального кабеля или двухпроводной линии.
- Если стержень полуволнового вибратора распилить точно посередине его длины, то при этом электрические свойства вибратора не изменяются, но появляется возможность запитать этот вибратор по фидеру с малой величиной волнового сопротивления. Определено, что входное сопротивление запитанного посередине полуволнового вибратора равно примерно величине 75 Ом. Близкое к этой величине волновое сопротивление имеет обычный бытовой телевизионный кабель отечественного производства. Западные фирмы производят телевизионные кабели с волновым сопротивлением 60 Ом. Если не придавать большого значения симметрированию антенной системы, то центральная жила кабеля подсоединяется к одной половине вибратора, а оплетка – к другой.
- Важное значение имеет диаметр вибратора, вернее, отношение длины излучаемой волны к диаметру вибратора. На частотах УКВ диапазона, где величины длин волн имеют сравнительно небольшие значения, это отношение может оказаться довольно малым, из-за чего может значительно ухудшиться работа антенны, уменьшиться ее коэффициент полезного действия (кпд). Чтобы скомпенсировать увеличенный диаметр вибратора, уменьшают длину этого вибратора. Получается так, что чем толще вибратор, тем короче должна быть его длина. Имеется даже понятие *коэффициент укорочения длины* полуволнового вибратора. Обычно величину коэффициента укорочения опре-

деляют по соответствующему графику, но я предлагаю для этих целей использовать табл. 15.1. В верхней строке этой таблицы располагаются величины отношения длины волны к диаметру вибратора, в нижней строке – величины коэффициента укорочения.

Таблица15.1. Коэффициенты укорочения полуволнового вибратора (диполя)

λ/**d**	30	40	50	60	80	100	200	300	400	900	2000	5000
K	0,85	0,87	0,88	0,89	0,90	0,907	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98

Например, вы хотите задействовать в качестве полуволнового вибратора цилиндр диаметром 20 мм, при этом длина волны, при которой будет работать этот вибратор, составляет 700 мм (частота 427 МГц). Полученной величине 700 / 20 = 350 будет соответствовать коэффициент укорочения 0,945. Следовательно, при определении необходимого размера вибратора сначала следует по приведенной выше формуле найти цифровое значение половины длины рабочей волны, затем эту величину умножить на коэффициент укорочения.

Следует помнить, что антенны, выполненные из тонких проводников, имеют большую величину добротности и хорошо работают только в узком диапазоне частот.

Петлевой вибратор

Два одинаковых петлевых вибратора могут быть размещены на небольшом расстоянии, параллельно друг другу. Если при этом соединить между собой концы этих вибраторов, а нижний вибратор разрезать посередине – получится так называемый петлевой вибратор.

На рис. 15.2 изображены некоторые из вариантов петлевого вибратора.

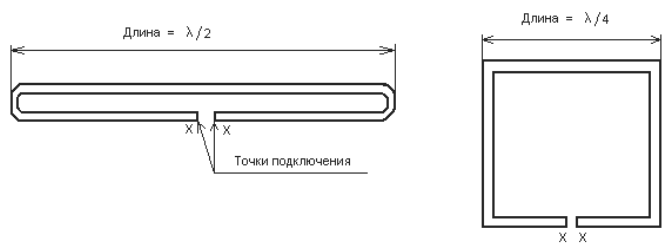


Рис. 15.2. Петлевой вибратор

Практически простой полуволновый вибратор и петлевой полуволновый вибратор имеют похожие рабочие характеристики. Однако входное сопротивление петлевого вибратора в четыре раза выше, чем у обычного полуволнового, и составляет 300 Ом. Так что при запитывании петлевого вибратора обычным телевизионным коаксиальным кабелем следует применять согласующие трансформаторы.

Конструктивно петлевой вибратор может быть выполнен в различных вариантах. Он может иметь или форму круга, или форму треугольника, или форму квадрата, или какую-то иную форму. В любом из этих вариантов определяющим размером будет размер *периметра* этого вибратора. Периметр активного петлевого (рамочного) вибратора должен быть равен длине рабочей волны, умноженной на коэффициент укорочения.

Антенны могут состоять из одного активного вибратора и нескольких вибраторов пассивных. Например, антенна «тройной квадрат» состоит из активной рамки, периметр которой равен длине волны, из рефлектора, периметр которого на 5% больше длины волны, и директора, периметр которого примерно на 3% меньше длины волны. Все пассивные вибраторы представляют собой замкнутые контуры и их плоскости располагаются на одной траверсе параллельно плоскости вибратора активного.

Фидер

Одиночный провод, либо система проводов, которыми радиопередатчик соединен с антенной, называется *фидером*. Фидер из одиночного провода применяется редко, типичный пример – это многодиапазонная антенна VS1AA, так называемая «американка». Была популярна в пятидесятые годы прошлого столетия. Наиболее часто в качестве фидера используется коаксиальный кабель, например телевизионный. Реже применяется двухпроводный фидер, состоящий из двух параллельных проводов, разделенных между собой изоляционным материалом.

Каждый фидер характеризуется определенной величиной волнового сопротивления. Например, телевизионный коаксиальный кабель имеет волновое сопротивление порядка 75 Ом (отечественный) либо 60 Ом (зарубежный). Волновое сопротивление двухпроводного фидера зависит от расстояния между этими проводами и может иметь величины от 100 до 1000 Ом (и более).

И антенна, и фидер, и передатчик (или приемник) могут иметь различные величины волнового сопротивления. Поэтому нужно всегда

помнить о том, что следует антенну согласовывать с фидером, а фидер согласовывать с выходом передатчика (или входом приемника). Вопросы согласования всегда очень важны, и им нужно уделять самое большое внимание, иначе вся высокочастотная энергия будет пропадать в фидере.

В радиолюбительской практике применяются в основном два способа питания антенн:

- Питание при помощи настроенного фидера, когда длина фидера выбрана таким образом, что на этой длине укладывается целое число полуволн рабочей частоты. Такой вид питания применяется чаще всего на коротковолновых диапазонах.
- Питание при помощи ненастроенного фидера допускает применение фидера произвольной длины, но при этом непременным является условие согласования волнового сопротивления фидера с входным сопротивлением антенны и выходным сопротивлением передатчика (или приемника). Согласование с антенной достигается, как правило, выбором определенных геометрических размеров антенны, при которых ее входное сопротивление становится равным (или приблизительно равным) волновому сопротивлению фидера. Согласование фидера с передатчиком достигается различными подстроечными элементами, входящими в состав выходного колебательного контура. Степень согласования передатчика через фидер с антенной определяется прибором, который называется «КСВ-метр». КСВ – это коэффициент стоячей волны, равный отношению наибольшей величины ВЧ тока (или напряжения) в фидере к его наименьшему значению. В идеальном случае величина ВЧ тока (или напряжения) по всей длине фидера должна быть одинакова, то есть КСВ = 1. При росте потерь за счет рассогласования величина высокочастотного тока (или напряжения) по длине кабеля изменяется и КСВ может достигать очень больших величин. Это говорит о том, что почти вся вырабатываемая передатчиком энергия теряется в фидере. Наибольшей допустимой величиной может быть КСВ = 2.
- Размеры и настроенного и ненастроенного фидера должны учитывать коэффициент укорочения, зависящий от конструкции фидера и от примененного в этой конструкции диэлектрика. В радиолюбительской практике принято считать, что коэффициент укорочения ленточного кабеля равен 0,8, а для коаксиаль-

ного кабеля – 0,66. При использовании ненастроенного фидера, длина которого может быть любой, часто применяются для согласующих и симметрирующих устройств куски из того же кабеля, имеющие длину, кратную длине рабочей волны. Вот для точного определения длины каждого из этих кусков следует учитывать коэффициент укорочения.

Диаграмма направленности

Каждая антенна распространяет излучаемую ею энергию в разные стороны неравномерно. Графическое изображение особенностей распространения антенной электромагнитной энергии называется *диаграммой направленности*. Различают диаграммы направленности антенны в *горизонтальной* или *вертикальной* плоскостях. Если антенна имеет какое-то преимущественное направление для излучения энергии, то вводятся понятия *коэффициент усиления* и *коэффициент направленного действия (к.н.д.)* антенны. Понятие «коэффициент направленного действия» применяют тогда, когда говорят о теоретических возможностях антенны, а коэффициент усиления имеет смысл для реально существующей, уже изготовленной антенны. Величина коэффициента усиления антенны всегда меньше величины коэффициента направленного действия. Это соотношение можно выразить формулой

$К_{ус}$ = (к.н.д.) × (к.п.д.), где

$К_{ус}$ – коэффициент усиления антенны;

к.н.д. – коэффициент направленного действия антенны;

к.п.д. – коэффициент полезного действия антенны.

Коэффициент полезного действия зависит от неточностей изготовления, согласования, выбора материалов и т.д.

Построение диаграммы направленности антенны рассмотрено подробно далее, в разделе настройки многоэлементных антенн.

НАСТРОЙКА УКВ АНТЕНН

Настройка антенн должна обеспечить наиболее эффективное излучение ВЧ энергии в пространство на данной рабочей частоте.

В процессе настройки необходимо:

- установить диапазон рабочих частот Δf;
- оценить величину входных сопротивлений излучающей системы Z_a;

- определить степень симметричности антенны;
- измерить диаграмму направленности и т. д.

Для решения этих задач следует определить коэффициент укорочения ВЧ линии или кабеля и градуировку детекторов в некоторых индикаторах и т. д.

Очень сложная задача настройки антенны облегчается тем, что для многих величин достаточно знать лишь их относительное значение. Очень ценным является и то, что большинство ВЧ цепей являются резонансными или их можно сделать таковыми.

Для настройки антенн необходим ряд простых измерительных приборов и устройств: ГИР, мощный экранированный генератор на рабочей частоте, индикаторы поля и т. д. Кроме того, настройку необходимо вести в свободном пространстве для исключения влияния посторонних предметов на диаграмму направленности антенны.

Все вопросы настройки рассматриваются применительно к диапазону 144 Мгц. На рис. 15.3 изображены два варианта полуволнового вибратора.

Резонансную частоту полуволновых вибраторов можно определить по ГИРу. Для этого точки А и В замыкают накоротко толстым проводником и к этому месту подносят ГИР. Индуктивно связывать ГИР и антенну надо именно здесь, так как в точках А и В у вибратора $\lambda/2$ возникает пучность тока и связь получается более сильная. На резонансной частоте антенны показания ГИРа резко уменьшаются. Иногда мощность ГИРа может оказаться недостаточной и точность измерения получится приближенной, так как при таком измерении антенна по необходимости бывает близко расположена и к окружающим предметам, и к самому оператору.

Настройка многоэлементных антенн типа «волновой канал»

Использование многовибраторных антенн типа «волновой канал» требует или полного и точного повторения описанного авторского

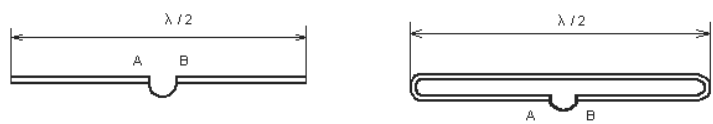


Рис. 15.3. Схема полуволнового вибратора

варианта, или дополнительной проверки и подгонки согласования и усиления. Есть несколько признаков правильной работы направленной антенны:

- диаграмма направленности симметрична относительно механической оси и имеет слабо выраженные боковые лепестки (10-20 дБ) и незначительное обратное излучение (10-20 дБ);
- КСВ в линии питания меньше 2;
- коэффициент усиления обеспечивается работой всех пассивных элементов.

Основательную проверку параметров новой антенны следует делать на открытом пространстве, так как измерения могут исказить отражения от разных объектов.

Антенну лучше испытывать в качестве приемной, установив ее на расстоянии 10-15λ от отдельной передающей антенны. Высота обеих антенн должна быть не мене 2 м – на диапазоне 432 Мгц и 3 м на 144 Мгц. Мощность передатчика должна быть не менее 3-5 Вт, так как начальное испытание антенн при малом количестве элементов становится затруднительным.

В качестве индикатора в приемной антенне можно применять кристаллический диод типа Д-2, ДК-И1 или типа ДГ-С2 с микроамперметром ИП1 до 100-200 мкА. Включение измерительной цепи показано на рис. 15.4. Она не должна вносить расстройку в систему самого

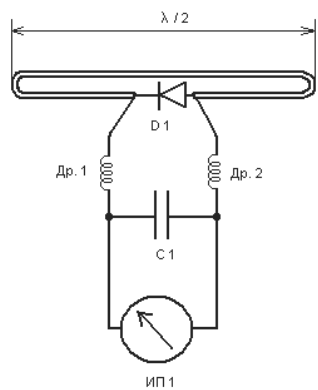


Рис. 15.4. Схема измерительной цепи

вибратора. Диод D1 крепится кратчайшим путем, дроссели $Др_1$, $Др_2$ имеют диаметр 3 мм, длина намотки 12 мм проводом ПЭШО 0,1.

При измерении следует помнить, что характеристика диода нелинейна: малые значения показаний прибора, например от 0 до 40 делений стоградусной шкалы, оказываются заниженными.

Обычно детекторы перед измерением градуируют.

На рис. 15.5 показана схема установки антенны при измерениях.

Для проверки всей измерительной цепи передающую антенну подносят на такое расстояние, чтобы показания прибора равнялись 30-40 делениям. Частоту генератора f_0 изменяют на $\pm\Delta f$ до краев рабочего диапазона и на нескольких частотах записывают показания прибора ИП1.

Определяют частоту $f_{макс}$, на которой показания ИП1 оказываются наибольшими; она не должна быть выше 0,5-0,6 МГц от значения f_0. Проверяют влияние рефлектора Р, установленного на расчетном расстоянии, а также ближе и дальше него. Показание прибора должно увеличиться на 50-70%. В каждом положении Р снова проверяют частоту $f_{макс}$, дающую наибольшие отклонения стрелки прибора. Влияние рефлектора критично лишь в том случае, если он слишком короткий для частоты f_0.

Активный вибратор А и рефлектор Р устанавливают на таком расстоянии, чтобы показание ИП1 было наибольшим при f_0. Обычно это равно $0{,}15\lambda$ и выше и в процессе дальнейшей настройки не меняется.

Передающую антенну относят на такое расстояние, чтобы стрелка ИП1 упала до показаний a = 10-16 делений, и снимают (или поворачивают на 90°) рефлектор. Показания прибора a должны составлять несколько делений, удобных для отсчета, а расстояние Д до антенны передатчика должно быть не менее $Д = 7\text{-}10L_0$, где L_0 –общая длина

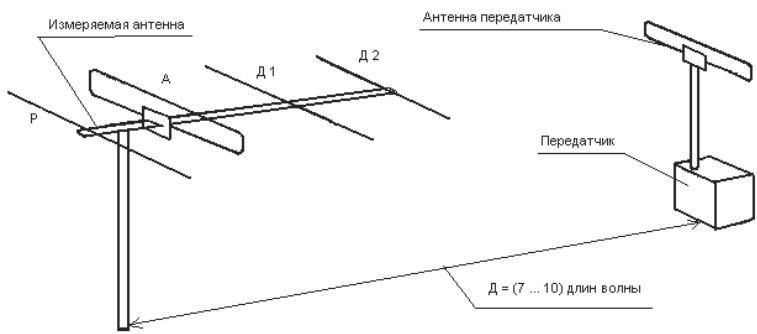


Рис. 15.5. Схема установки антенны

будущей антенны. Если Д < $7L_0$, то надо повысить или чувствительность индикатора, или мощность передатчика.

После такой предварительной подготовки можно проверить работу всей системы антенны путем последовательного добавления пассивных элементов. Для этого записывают показания прибора *a* на частоте f_0 от одного вибратора А, устанавливают рефлектор и записывают a_2. Далее устанавливают на свои места (по описанию антенны) последовательно директоры $Д_1$, $Д_2$, $Д_3$ и записывают a_3, a_4, a_5. Все эти показания прибора должны быть возрастающими, то есть $a_2 > a_1$, $a_3 > a_2$ и т. п. Допустим, $a_1 = 5°$, $a_2 = 10°$, $a_3 = 18°$, $a_4 = 27°$, $a_5 = 36°$. Отсчитывают для a_1-a_5 действительные значения β_1-β_5 тока через индикатор ИП1. Так как они приведены к одному масштабу, то по ним можно правильно судить об усилении, даваемом каждым элементом.

На рис. 15.6 эти значения показаны графически в виде кривой В. Точка 1 соответствует току в одном только вибраторе А, точки 2, 3 и т. д. показывают приращение тока в вибраторе от действия рефлектора, а затем и директоров $Д_1$, $Д_2$ и т. д.

Из кривой на рис. 15.6 видно, что влияние первых близких к активному вибратору элементов больше, чем удаленных.

При неправильно подобранных длинах элементов и расстояний между ними у коротких антенн зависимость усиления от числа элементов обычно идет не плавно, а с изломом или даже провалом. Добавление элемента не дает усиления. Такое явление встречается чаще

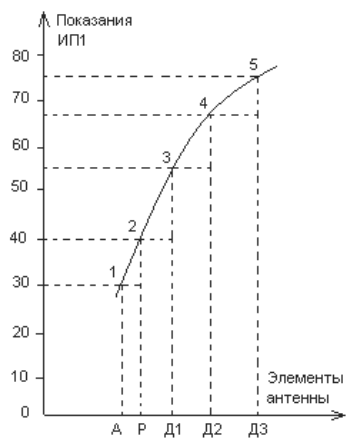


Рис. 15.6. Характеристика антенны

при установке второго или третьего директора и ликвидируется изменением расстояния или длины ближайшего директора или обоих вместе. Иногда подобное явление может появиться и за счет наложения прямой и отраженной волны от антенны передатчика в месте приема. Распознать эти явления можно незначительным приближением или удалением одной из антенн на $\lambda/2$-$^3/_4\lambda$.

Для измерения диаграммы направленности антенну вращают плавно по азимуту и через каждые 5-10% делают отсчет *a* прибора. Значение *a* пересчитывают по заранее рассчитанной градуировочной кривой используемого измерительного диода (то есть на действительные значения) и по ним уже строят диаграмму. При этом диаграмма получается шире, чем была бы при построении диаграммы только по значениям *a*.

Узкие диаграммы направленности удобнее строить в прямоугольных координатах. По горизонтальной оси откладывают градусы вправо и влево от главного направления, которому соответствует координата 0°. По вертикали откладывают значения показаний прибора приемного вибратора. Итак, мы получаем растянутую по углам (по горизонтали) кривую с отчетливо видными деталями, например боковыми излучениями или углами нулевого излучения и т. д. Если у главного лепестка провести прямую на высоте 0,707 от наибольшей высоты диаграммы, то расстояние между точками пересечения этой прямой с полученной диаграммой (по шкале углов) даст нам ширину главного лепестка антенны $I_н$ в градусах.

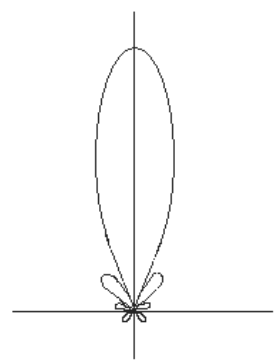


Рис. 15.7. Диаграмма хорошей антенны

Настройка длинных антенн «волновой канал»

Настройка этих антенн сложнее не только из-за большего числа элементов, но и из-за необходимости испытывать их или в рабочем положении, или в большом свободном от препятствий пространстве. Для повторения какой-либо антенны «волновой канал» необходимо выдержать не механическую, а электрическую длину или настройку директоров. Всякие изменения, вносимые по необходимости в повторяемую конструкцию антенны, могут изменить настройку директоров и резко ухудшить ее свойства. Поэтому изготовление длинных антенн для спутниковой связи нужно выполнять с исключительной осторожностью.

Надежным способом проверки длинной антенны является снятие полной диаграммы ее направленности и оценка по величине бокового излучения свойств антенны.

Если настройка директоров не изменилась в повторенной конструкции, то число боковых лепестков будет не более двух-трех, а их величина в диаграмме не больше чем на 10-12 дБ под уровнем главного лепестка диаграммы. Такая диаграмма показана на рис. 15.7.

Случайные удлинения директоров за счет уменьшения диаметров, изменения крепления и т. д. вызывают понижение усиления в главном лепестке и увеличение его в боковых направлениях (рис. 15.8).

Значительная расстройка элементов или их удлинение полностью нарушает диаграмму (рис. 15.9).

Диаграммы на рис. 15.7, 15.8 и 15.9 показывают простой и надежный способ проверки длинных антенн. Частоту колебаний, подводи-

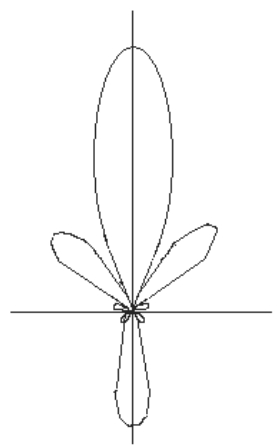


Рис. 15.8. У антенны удлинены директоры

мых к антенне, постепенно повышают и в пределах поворота от 0 до 180° всякий раз отмечают значения и характер максимумов боковых лепестков. Так, частота f_m, при которой впервые резко повышается амплитуда какого-либо бокового лепестка по сравнению с главным лепестком, ограничивает верхний рабочий предел частот антенны. Наивыгоднейшая рабочая частота f_0 антенны будет несколько ниже f_m.

Если частота f_0 лежит в невыгодном участке или на краю диапазонов 144-146 или 430-435 Мгц, то всю систему директоров длинной антенны надо укоротить, если $f_m > f_0$, или удлинить, если $f_m < f_0$. О том, насколько надо изменить длину элементов, можно судить по результатам анализа диаграмм. Практически увеличение длины директора в длинном «волновом канале» на один процент, то есть на 1 см для 145 Мгц и 0,35 см для 435 Мгц, имеет существенное значение для работы антенны на УКВ.

Можно сказать, что снятие частотной характеристики и одновременно диаграммы направленности является самым показательным и наиболее доступным испытанием всех антенн «волновой канал».

Контроль согласования антенн

От степени согласования входного сопротивления Z_a любой антенны с волновым сопротивлением ρ питающей ВЧ линии (кабеля) зависит действительный уровень излученной и используемой ВЧ мощности передатчика.

Оценивать согласование можно путем сопоставления значения тока I_A в линии питания, нагруженной антенной, с током I_S, который

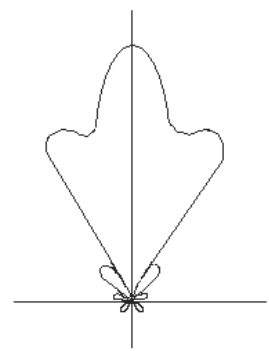


Рис. 15.9. Все элементы значительно расстроены

должен быть в согласованной линии. Если ток $I_A = I_S$, то к антенне подводится вся мощность за вычетом потерь в кабеле.

Для оценки необходимо знать действительную ВЧ мощность, которую может отдать выходной каскад. Ее можно измерить резонансным индикатором мощности (РИМ), например, методом сравнения яркости свечения лампочек, питаемых ВЧ током и постоянным током от вспомогательной цепи. Точность такого измерения мощности – порядка 10%. Поскольку такой прибор имеется не у каждого радиолюбителя, то обычно для ориентировочного определения излучаемой мощности приходится использовать обычную лампочку накаливания. В этом случае очень важно, чтобы величина сопротивления этой лампочки хотя бы приблизительно равнялась волновому сопротивлению примененного антенного фидера. Можно использовать формулу закона Ома.

$R = V^2 / P$, где R – определяемое сопротивление, V – рабочее напряжение лампочки, P – мощность лампочки.

Оценку согласования можно сделать по величине изменений показаний ВЧ индикатора напряжения или тока, включаемого в разных местах линий питания.

Непрерывный контроль согласования в настоящее время делают с помощью рефлекторметров или КСВ-метров различных конструкций.

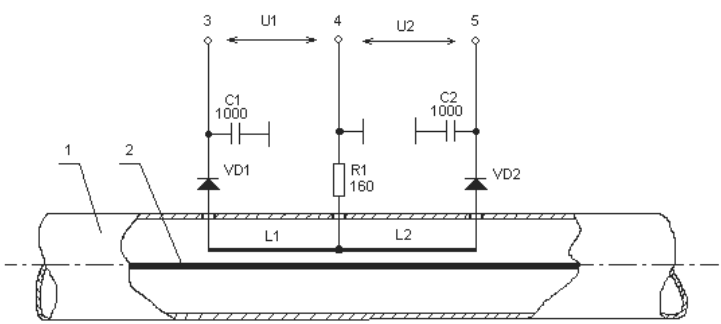


Рис. 15.10. Схема рефлектометра

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

Рефлектометр УКВ

На рис. 15.10 показана схема прибора, называемого *рефлектометром*. Прибор служит для согласования передатчика с фидером антенны и для согласования фидера с антенной.

Прибор представляет собой отрезок коаксиальной линии, под экраном которого размещаются две измерительных линии L1 и L2. Позиция 1 на схеме обозначает экранирующую цилиндрическую поверхность линии, позиция 2 – центральную жилу линии. Измерительные точки 3, 4 и 5 служат для подключения вольтметра постоянного напряжения, включенного в положение для измерения малых величин напряжения.

При прохождении по коаксиальной линии электромагнитной энергии в линиях L1 и L2 возникает электрический ток, который детектируется диодами VD1 и VD2, присутствующие в нем импульсы сглаживаются конденсаторами C1 и C2.

Принцип действия прибора основан на том, что в передающейся от передатчика к антенне волновой электромагнитной энергии присутствует одновременно два вида волны – волна прямая, идущая от передатчика к антенне, и волна обратная, которая представляет собой часть энергии, отраженной от антенны. Величина отраженной волны зависит от согласования волнового сопротивления фидера с входным сопротивлением антенны. При полном согласовании отраженная волна отсутствует, чем хуже это согласование, тем большая часть энергии отражается от несогласованной с фидером антенны и возвращается в выходной контур передатчика.

Если предположить, что передатчик находится слева, то есть со стороны диода VD1, то в таком случае величина напряжения U1 будет характеризовать волну прямую, а U2 – волну отраженную.

Соотношения прямой и отраженной волн характеризует специально созданный коэффициент, называемый *коэффициентом стоячей волны – КСВ*.

Применение рефлектометра

Основное назначение прибора – измерение коэффициента стоячей волны (КСВ), определение потери мощности и контроль согласования.

Для измерения КСВ прибор включают между выходом передатчика и кабелем антенны. Сначала измеряют величину напряжения от прямой (падающей) волны (ПВ), то есть напряжение от диода, расположенного со стороны генератора. При этом связь с передатчиком подбирают такой, чтобы получить удобный отсчет по шкале прибора *a1*. Затем измеряют напряжение от отраженной волны (диод со стороны антенны), показания прибора в этом случае обозначим как *a2*.

Коэффициент отражения (потеря мощности) определяется отношением:

$$P = U_{отр}/U_{пад} = \sqrt{a1/a2}\ ,$$

Где $U_{отр}$ и $U_{пад}$ – значения напряжений, на которые реагирует рефлектометр;

a1 и a2 – отклонения стрелки по шкале прибора.

Зная коэффициент отражения Р, можно определить и КСВ в измеряемой линии:

$$КСВ = (1 + P) / (1-P).$$

Рассмотрим пример. Например, при измерении параметров антенны получено *a1* = 20, *a2* = 5, какой будет КСВ и потеря мощности?

$$P = \sqrt{5/20} = 0{,}5\ ,$$

Следовательно,

$$КСВ = (1+ 0{,}5) / (1 - 0{,}5) = 3{,}0.$$

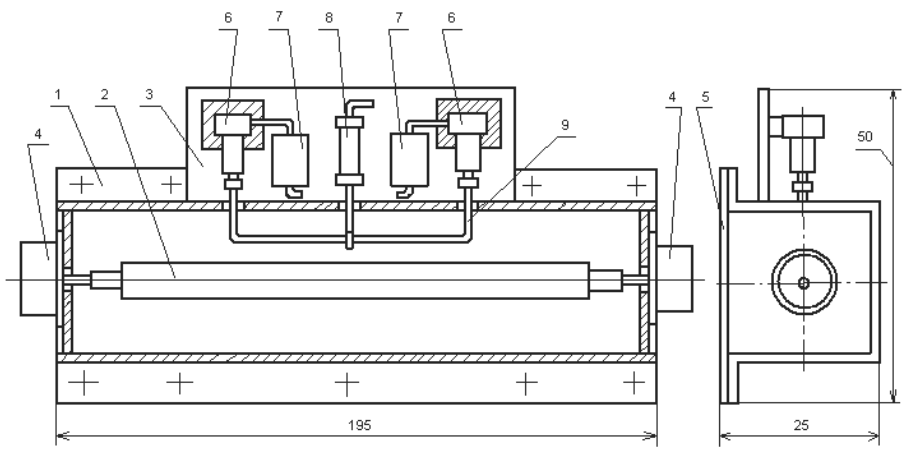


Рис. 15.11. Рефлектометр

Такие подсчеты нужны лишь в том случае, если по каким-либо соображениям нельзя добиться согласования и узнать мощность, которую действительно излучает антенна с учетом всех потерь. Однако чаще всего рефлектометр сначала используют как индикатор рассогласования, сопоставляя *a1* и *a2,* первое число должно быть больше второго. Если удастся, например, перемещением рефлектора в антенне «волновой канал» добиться того, что *a2* будет в 10 раз меньше *a1* при незначительном изменении усиления антенны, то дальнейшего уменьшения отраженной волны надо уже добиваться согласующим трансформатором Т или изменением диаметров и расстояний у сложных петлевых вибраторов.

Соотношения *a2/a1* = 10, 15, 20 соответствуют КСВ = 1,93, 1,7, 1,57 и потеря мощности Pn = 10%, 8%, 5%. Следовательно, приемлемым надо считать соотношение *a2/a1* = 10, так как более высокие соотношения требуют точности и от самого рефлектометра.

Точность измерения при помощи рефлектометра оценивается соотношением *a2/a1* без нагрузки. В этом случае вся мощность падающей волны должна отразиться обратно, то есть *a2 = a1* или *a2/a1* = 1. Отклонение от 1, выраженное в процентах, можно считать погрешностью β прибора.

В описываемой ниже конструкции β = 1,3% на 400 МГц, 1,6% на 600 МГц, 2,2% на 900 МГц. Уменьшить погрешность на желаемом узком участке диапазона можно подбором длины линий связи L1 и L2 и величиной сопротивления нагрузки R1. Например, для диапазона 120-450 МГц меньшую погрешность дает длина L1 = L2 = 19мм, при R1= 160-170 Ом, при этом получим Pn = 5÷6%.

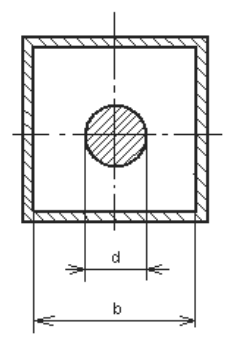


Рис. 15.12. Разрез линии с квадратным экраном

Пример конструкции рефлектометра

На рис. 15.11 показан один из возможных вариантов конструкции УКВ рефлектометра, созданного на основе линии с квадратным экраном, который способен работать в диапазоне 100-600 МГц.

КСВ, вносимый самим прибором в линию передачи, порядка 1,1-1,13 в указанном диапазоне частот. Применять прибор можно и на более высоких частотах, но при этом погрешность измерений возрастет.

Прибор состоит из отрезка линии с квадратным экраном 1 и 2, измерительной платы 3, на которой укреплены два диода 6, два конденсатора 7 и резистор 8. Также к плате 3 крепится измерительная линия 9. На корпусе экрана 1 (с торцов) крепятся два ВЧ разъема 4, к выводам которых припаивается внутренний проводник линии 2 с направленным ответвителем, состоящем из линий.

Крышка 5 крепится к корпусу 1 винтами (на рис. 15.11 винты не показаны).

Размеры корпуса 1, представляющего собой экран линии, и диаметр внутреннего проводника линии 2 зависят от выбранной величины волнового сопротивления линии. На рис. 15.12 показан разрез линии с экраном квадратной формы, необходимый для некоторых разъяснений.

Величина волнового сопротивления подобной линии, имеющей в качестве диэлектрика воздух, выражается математической формулой

$Z_0 = 59{,}952 \times \ln(1{,}0787 \times b/d)$ Ом.

Эта формула дает очень точные результаты для величины $d/b \le 0{,}65$ (это соответствует величине $Z_0 = 30$ Ом).

Привожу некоторые величины d/b, соответствующие определенным Z_0:

для волнового сопротивления 60 Ом ($Z_0 = 60$) величина $d/b = 0{,}4$;

для волнового сопротивления 65 Ом ($Z_0 = 65$) величина $d/b = 0{,}37$;

для волнового сопротивления 70 Ом ($Z_0 = 70$) величина $d/b = 0{,}34$;

для волнового сопротивления 75 Ом ($Z_0 = 75$) величина $d/b = 0{,}31$.

В данном случае волновое сопротивление линии 75 Ом ($d/b = 0{,}31$), диаметр внутреннего проводника линии принят равным 6 мм (имелась в наличии медная трубка такого диаметра), при этом внутренний размер экрана $b = d / 0{,}31 = 6 : 0{,}31 = 20$ мм.

Внутренний проводник линии 2 сделан из куска латунной трубки диаметром 6,0 мм длиной 160 мм, удлиненной с обоих концов ступенчатыми переходами длиной по 14,6 мм и диаметром 4 мм. Эти удлинители выполнены из медной проволоки Ø 4 мм, вставлены в трубку и припаяны. В торцах удлинителей просверлены отверстия Ø 2 мм, в которые впаивается отрезок медной проволоки такого же диаметра, необходимый для крепления сложного внутреннего проводника к ВЧ разъемам. Такая сложная конструкция внутреннего проводника необходима для перехода от линии большого размера к кабелю без заметного ухудшения согласования.

Разъемы крепятся четырьмя винтами М3, соединение их с внутренним проводником 2 делают в зависимости от конструкции самого разъема.

К корпусу 1 посредством двух металлических уголков крепится плата 3 из одностороннего фольгированного стеклотекстолита, в которой созданы контактные поверхности для крепления элементов измерительной части рефлектометра – двух диодов 6, двух конденсаторов 7 и резистора 8. Выводы резистора и конденсаторов припаиваются непосредственно к контактным поверхностям платы, диоды крепятся посредством кронштейнов из белой жести.

Измерительная линия 10 сделана из провода диаметром 0,6 мм. Длина одной половины линии (от диода до резистора) может быть от 12 до 20 мм. Расстояние между измерительной линией и внутренним проводником линии должно быть постоянным по всей длине линии и находиться в пределах 2-3 мм.

В рефлектометре могут быть применены любые СВЧ диоды (например, Д408, ДК-И, ДК-И1М, германиевые 1Д507), конденсаторы емкостью 1000-10 000 пФ, резистор МЛТ 0,5 сопротивлением 150-200 Ом. Резистор желательно подобрать. В качестве измерительного

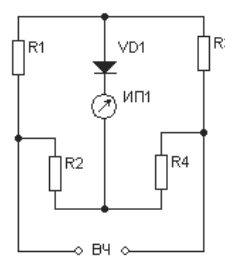


Рис. 15.13. Основная схема высокочастотного моста

прибора можно использовать любой мультиметр или вольтметр постоянного напряжения.

Антенноскоп

Антенноскоп – так называется радиолюбительский прибор, представляющий собой измерительный мост высокой частоты (обычный мост Уитстона) и может использоваться для определения степени согласованности антенны с линией передачи, измерения величины входного сопротивления антенны и для многих других измерений. В основе прибора лежит принципиальная схема высокочастотного моста, изображенная на рис. 15.13.

По мостовой схеме протекают токи высокой частоты, поэтому все резисторы, используемые в ней, должны представлять чисто активные сопротивления для частоты возбуждения. Резисторы R1 и R2 подбираются в точности равными друг другу (с точностью 1% или даже больше), а само сопротивление не имеет особого значения. При сделанных допущениях измерительный мост находится в равновесии (нулевое показание измерительного прибора) при следующих соотношениях между резисторами: R1 = R2; R1:R2 = 1:1; R3 = R4; R3: R4 = 1:1.

Если вместо резистора R4 включить испытываемый образец, сопротивление которого требуется определить, а в качестве R3 использовать отградуированное переменное сопротивление, то нулевое показание измерителя разбаланса моста ИП1 будет достигнуто при значении переменного сопротивления, равном активному сопротивлению испытываемого образца. Таким образом можно непосредственно измерить сопротивление антенны. При этом следует помнить, что входное сопротивление антенны чисто активно только в случае, когда

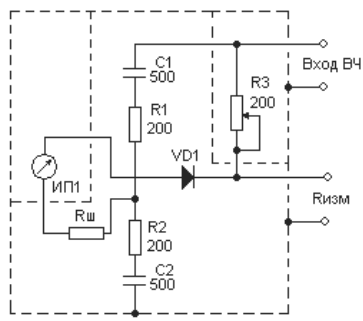


Рис. 15.14. Схема антенноскопа

антенна настроена, поэтому частота измерений (на входе ВЧ) всегда должна соответствовать резонансной частоте антенны. Кроме того, мостовая схема может использоваться для измерения волнового сопротивления линий передачи и их коэффициентов укорочения.

На рис. 15.14 показана схема высокочастотного измерительного моста, предназначенного для антенных измерений, предложенная американским радиолюбителем W2AEF (так называемый антенноскоп).

Резисторы R1 и R2 обычно выбираются равными 150-250 Ом, а абсолютная их величина не играет особой роли, важно только, чтобы сопротивление резисторов R1 и R2, а также емкости конденсаторов C1 и C2 были равны друг другу. В качестве переменного сопротивления следует использовать только безындуктивные объемные переменные резисторы и ни в коем случае не проволочные потенциометры. Переменное сопротивление обычно 500 Ом, а если измерительный мост используется для измерений только на линиях передачи, изготовленных из коаксиальных кабелей, то 100 Ом, что позволяет более точно производить измерения. Переменное сопротивление градуируется, а при балансе моста оно должно быть равным сопротивлению испытательного образца (антенны, линии передачи). Дополнительное сопротивление $R_ш$ зависит от внутреннего сопротивления измерительного прибора и требуемой чувствительности измерительной схемы. В качестве измерительного прибора можно использовать магнитоэлектрические миллиамперметры со шкалой 0,2; 0,1 или 0,05 мА. Дополнительное сопротивление следует выбирать по возможности высокоомным, так чтобы подключение измерительного прибора не вызывало значительного разбаланса моста. В качестве выпрямляющего элемента может использоваться любой ВЧ германиевый диод (например, 1Д507).

Проводники мостовой схемы должны быть как можно короче для уменьшения их собственной индуктивности и емкости; при конструировании прибора следует соблюдать симметрию в расположении его деталей. Прибор заключается в кожух, разделенный на три отдельных отсека, в которые, как показано на рис. 15.14, помещаются отдельные элементы схемы прибора. Одна из точек моста заземляется, и, следовательно, мост не симметричен относительно земли. Поэтому мост наиболее подходит для измерения на несимметричных (коаксиальных) линиях передачи. Если требуется использовать мост для измерения на симметричных линиях передачи и антеннах, то не-

обходимо тщательно изолировать его от земли с помощью изолирующей подставки.

Антенноскоп может применяться в диапазоне как коротких, так и ультракоротких волн, и граница его применяемости в диапазонах УКВ в основном зависит от конструкции и отдельных схемных элементов прибора.

В качестве измерительного генератора, возбуждающего измерительный мост, вполне достаточно использовать гетеродинный измеритель резонанса (ГИР). Следует иметь в виду, что высокочастотная мощность, поступающая на измерительный мост, не должна превышать 1 Вт, и мощность, равная 0,2 Вт, вполне достаточна для нормальной работы измерительного моста.

Ввод высокочастотной энергии осуществляется с помощью катушки связи, имеющей 1-3 витка, степень связи с которой контура гетеродинного измерителя резонанса регулируется так, чтобы при отключенном испытательном образце измерительный прибор давал полное отклонение.

Следует учитывать, что при слишком сильной связи градуировка частоты гетеродинного измерителя резонанса несколько смещается. Чтобы не допустить ошибок, рекомендуется прослушивать тон измерительной частоты по точно отградуированному приемнику.

Проверка работоспособности измерительного моста осуществляется подключением к измерительному гнезду безындуктивного резистора, имеющего точно известное сопротивление.

Переменное сопротивление, при котором достигается баланс измерительной схемы, должно точно равняться (если измерительный мост правильно сконструирован) испытываемому сопротивлению. Эта же операция повторяется для нескольких сопротивлений при разных измерительных частотах. При этом выясняется частотный диапазон работы прибора. Вследствие того что схемные элементы измерительного моста в диапазоне УКВ имеют уже комплексный характер, баланс моста становится неточным, и если в диапазоне 145 МГц его еще можно добиться, тщательно выполнив конструкцию моста, то в диапазоне 432 МГц рассмотренный измерительный мост совершенно неприменим.

После проверки работоспособности измерительного моста его можно использовать для практических измерений.

Определение входного сопротивления антенны. Измерительное гнездо $R_{изм}$ измерительного моста непосредственно подключается к зажимам питания антенны. Если резонансная частота антенны была

измерена ранее с помощью гетеродинного измерителя резонанса, то мост питается высокочастотным напряжением этой частоты. Изменяя переменное сопротивление, добиваются нулевого показания измерительного прибора; при этом считываемое сопротивление равно входному сопротивлению антенны.

Если же резонансная частота антенны заранее не известна, то частоту, питающую измерительный мост, измеряют до тех пор, пока не получают однозначного баланса измерительного моста. При этом частота, обозначенная на шкале измерительного генератора, равна резонансной частоте антенны, а сопротивление, полученное по шкале переменного сопротивления, равно входному сопротивлению антенны. Изменяя параметры схемы согласования, можно (не изменяя частоты возбуждения высокочастотного измерительного моста) получить заданное входное сопротивление антенны, контролируя его по антенноскопу.

Если проводить измерение непосредственно в точках питания антенны неудобно, то в этом случае между измерительным мостом можно включить линию, имеющую электрическую длину $\lambda/2$ или длину, кратную этой длине ($2\cdot\lambda/2$; $3\cdot\lambda/2$; $4\cdot\lambda/2$; и т.д.) и обладающую любым волновым сопротивлением. Как известно, такая линия трансформирует сопротивление, подключенное к ее входу, в отношении 1:1, и поэтому ее включение не отражается на точности измерения входного сопротивления антенны с помощью высокочастотного измерительного моста.

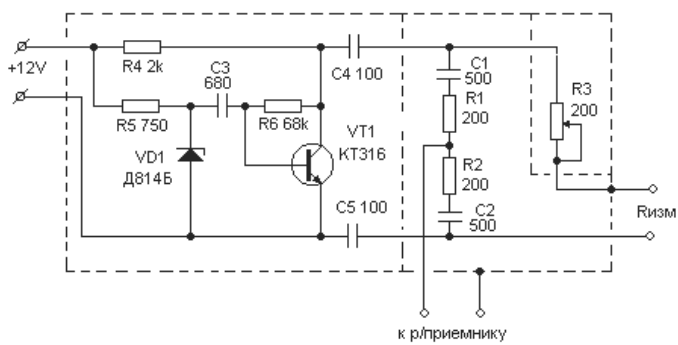


Рис. 15.15. Схема измерителя активных сопротивлений

Еще один прибор

Предлагаю для вашего рассмотрения и опробования еще одну схему прибора для измерения активных сопротивлений. Схема показана на рис. 15.15.

Эта схема отличается от предыдущей более чувствительным индикатором, в качестве которого задействован связной радиоприемник, и источником ВЧ энергии, в качестве которого применен генератор шума.

Генератор шума располагается в одном из отсеков корпуса и выполнен на изолированной от корпуса плате. Ни один из проводов ГШ не должен иметь прямого контакта с корпусом! Даже нулевой провод питания.

Сначала следует отградуировать шкалу переменного резистора R1. Для этого в зажимы $R_{изм}$ попеременно вставляются постоянные резисторы с известной величиной сопротивления, затем поворотом оси R1 находят положение, в котором шумы на выходе радиоприемника резко уменьшаются. Это положение и будет соответствовать сопротивлению измеряемого резистора.

Измерения проводятся аналогично измерениям предыдущим прибором.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В этой книге мною приведено большое количество информации, необходимой для радиолюбителя, желающего освоить создание УКВ аппаратов для любительской радиосвязи в домашних условиях.

Чтобы не потеряться в этом море информации, необходимо организовать работу с книгой следующим образом.

Сначала вы должны познакомиться со всем материалом книги, чтобы потом представлять, в какой главе что находится.

Помните, что первые десять глав содержат как бы справочный материал, необходимый для работы над главами 11, 12 и 13. Главная задача этой книги – показать вам путь к началу освоения процесса изготовления приемной и передающей УКВ аппаратуры. Поэтому главный, на мой взгляд, материал находится в главах 11, 12 и 13.

После того, как вы познакомились с материалом всей книги и четко представляете, в какой главе находится нужный материал, открывайте первую страничку главы 11 и приступайте к созданию свого первого УКВ радиоприемника. В этом процессе вам понадобятся самодельные приборы, многие из которых описаны в главе 10. Делайте нужные приборы не задумываясь, они пригодятся в дальнейшей деятельности.

Сразу же после изготовления и настройки первого простейшего радиоприемника приступайте к изготовлению простейшего передатчика, описанного в главе 12. Учитесь принимать сигналы от своего передатчика на свой же приемник, учитесь настраивать качественную модуляцию. Помните, что во время таких экспериментов к выходу УНЧ приемника нельзя подключать динамик, нужно обязательно пользоваться головными телефонами (наушниками). Иначе акустическая связь между микрофоном передатчика и динамиком радиоприемника будет портить настроение всем присутствующим в квартире и соседям.

Далее сделайте и настройте радиоприемник на любительский диапазон 144-146 МГц. Послушайте работу любительских радиостанций, если они имеются в радиусе 10-20 км от вашего населенного пункта. Если у вас при приеме сигналов первой из любительских радиостанций перехватило дыхание, то срочно начинайте оформлять документы для получения разрешения на эксплуатацию любительской радиостанции.

Желаю успехов!

Геннадий А. Тяпичев – RA3XB

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1 416
Приложение 2 422
Приложение 3 426
Список использованной литературы 431

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Краткая информация о порядке оформления разрешения на эксплуатацию любительской радиостанции в региональном радиочастотном центре

Для оформления разрешения на вновь оформляемую любительскую радиостанцию радиолюбитель должен предоставить в радиочастотный центр следующие документы:

- ❑ заявление – анкету;
- ❑ справку о сдаче экзаменов на радиолюбительскую категорию;
- ❑ фотографию *(по размеру соответствующему фото на паспорт гражданина России);*
- ❑ квитанцию об оплате регистрационных и эксплуатационных сборов на расчетный счет регионального РЦ *(оплаты производить через отделения банка*).

Лица, не достигшие совершеннолетия, предоставляют:

- ❑ заявление от главы семьи о том, что он не возражает против выдачи разрешения на постройку и эксплуатацию любительской радиостанции члену его семьи и берет на себя ответственность за соблюдение ее владельцем Инструкции по эксплуатации любительских радиостанций, включая правила техники безопасности.

Для вновь оформляемых радиостанций радиолюбителю может быть присвоена *четвертая категория* (для тех, кто не сдает экзамен на знание телеграфной азбуки), или *третья* – для сдавших экзамены по телеграфу. На экзаменах кроме телеграфной азбуки комиссией задаются вопросы по основам электрорадиотехники, правилам проведения любительской радиосвязи и правилам техники безопасности.

Выходная мощность передатчика на УКВ диапазонах разрешена НЕ БОЛЕЕ 5 Ватт.

Далее радиолюбитель должен подождать решения регионального РЦ и, получив разрешение на постройку или приобретение любительской радиостанции, в течение *шести месяцев* должен построить или приобрести радиостанцию и представить ее на комиссию. Комиссия составляет акт технического осмотра и протокол измерения параметров радиостанции. Акт и протокол вместе с заявлением радиолюбителя с просьбой о выдаче разрешения на эксплуатацию любительской

радиостанции направляется в адрес регионального РЦ. Только после получения на руки документа с текстом разрешения можно включать радиопередатчик для работы в эфире.

Порядок повышения категории такой же, как и для вновь оформляемых радиолюбителей, за исключением предоставления фотографии. Категория может быть повышена на очередную ступень не ранее чем через год после предыдущего повышения категории.

Эксплуатация вновь оформляющейся любительской радиостанции до получения разрешения на эксплуатацию или эксплуатация радиостанции повышенной категории до получения на это разрешения категорически запрещена.

Сдача экзаменов на вновь оформляющиеся радиолюбительские радиостанции, повышение категории, составление акта технического осмотра радиостанции и протокола испытаний производится в городском радиоклубе или в городской организации РОСТО.

Тексты заявления главы семьи

Генеральному директору
Радиочастотного центра
..... округа
г-ну.....

ЗАЯВЛЕНИЕ

Я, _____
не возражаю против выдачи разрешения на постройку (приобретение) и эксплуатацию любительской радиостанции моему сыну(дочери) _____
и принимаю на себя ответственность за соблюдение им (ей) требований «Инструкции о порядке регистрации и эксплуатации любительских радиостанций», включая правила техники безопасности.

Дата _____ Подпись _____

Текст заявления-анкеты

Генеральному директору
Радиочастотного центра
.....округа
г-ну.....
(адрес) .....
.....

ЗАЯВЛЕНИЕ-АНКЕТА

Прошу:
1. Выдать мне разрешение на изготовление (приобретение) любительской радиостанции индивидуального (коллективного) пользования _____ категории.
2. Перевести принадлежащую мне радиостанцию позывной _____ в _____ категорию и выдать мне разрешение на изготовление (приобретение) любительской радиостанции.

О себе сообщаю следующие данные:
Фамилия _____
Имя _____
Отчество _____
Дата рождения « _____ « _____ 19 ___ г.
Место рождения _____
Паспорт: серия _____ № _____
выдан «_____ « _____ 19 _____ г.
кем _____
орган, выдавший паспорт
Место жительства: _____
почтовый индекс, полный адрес
_____
Телефоны: _____ служебный, _____
_____ домашний

Я изучил документы, регламентирующие любительскую радиосвязь в Российской Федерации и обязуюсь соблюдать их требования.

_____

_____
дата, подпись

Текст заявления на разрешение эксплуатации

Генеральному директору
Радиочастотного центра
.....Округа
г-ну.....
от .....
Ф.И.О. полностью
проживающего по адресу:...
.....

ЗАЯВЛЕНИЕ

В связи с окончанием срока действия разрешения прошу выдать разрешение на право эксплуатации любительской радиостанции _____ категории нового образца.
Паспорт: серия _____ № _____ , выдан _____ кем _____

_____

дата

подпись

Коротко об оформлении радиолюбительских ретрансляторов УКВ диапазона

Радиолюбительский ретранслятор – приемопередающая радиостанция, которая работает в автоматическим режиме и способна в режиме полного дуплекса излучать сигналы, принятые ею на частоте, отстоящей от частоты передачи на 600 кГц.

Радиолюбительские ретрансляторы могут быть установлены любым радиолюбителем либо коллективом радиолюбителей.

Оформление разрешения на установку радиолюбительского ретранслятора с выдачей позывного сигнала и номера рабочего канала осуществляет Радиочастотный центр России на основании заявки определенной формы, поступившей через региональное управление Радиочастотного центра.

Для радиолюбительских ретрансляторов могут быть использованы нижеуказанные частоты приема и передачи.

№ Канала	Частота приема, кГц	Частота передачи, кГц
R0	145 000	145 600
R1	145 025	145 625
R2	145 050	145 650
R3	145 075	145 675
R4	145 100	145 700
R5	145 125	145 725
R6	145 150	145 750
R7	145 175	145 775
R8	145 200	145 800

Мощность радиолюбительского ретранслятора может достигать 100 Вт, используемый вид радиосвязи FM (частотная модуляция – F3E).

Оформление разрешения на эксплуатацию радиолюбительского ретранслятора осуществляет региональное управление Радиочастотного центра на имя лица, ответственного за его эксплуатацию, на основании акта приемки соответствующей формы. Срок действия разрешения – 5 лет.

За оформление разрешения на установку и эксплуатацию радиолюбительских ретрансляторов взимается плата в соответствии с действующими тарифами. Эксплуатационный сбор взимается ежегодно.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Диапазоны (полосы) частот, допустимые мощности и виды радиосвязи, разрешенные любительским радиостанциям

(Расположенный ниже текст скопирован из «Инструкции о порядке регистрации и эксплуатации любительских радиостанций», 1996 год)

1. Порядок и условия использования конкретных полос частот средствами любительской и любительской спутниковой служб определяется «Таблицей распределения полос частот между радиосредствами Российской Федерации». Любительским радиостанциям Российской Федерации разрешается использовать для связи перечисленные ниже диапазоны (полосы) частот.

Частоты ниже 30 МГц (КВ-диапазон)		Частоты выше 30 МГц (УКВ-диапазон)	
1830-1930 кГц	18 068-18 168 кГц	144-146 МГц	47-47,2 ГГц
3500-3650 кГц 3650-3800 кГц	21 000-21 450 кГц	430-440 МГц 435-438 МГц	75,5-76 ГГц
7000-7100 кГц	24 890-24 990 кГц	1260-1300 МГц 2400-2450 МГц	119,98-120,02 ГГц
10 100-10 150 кГц	28 000-29 700 кГц	5650-5670 МГц	142-144 ГГц 144-149 ГГц
14 000-14 250 кГц 14 250-14 350 кГц		10-10,5 ГГц 24,0-25,05 ГГц 24,05-24,25 ГГц	241-250 ГГц

Полоса частот 1830 – 1930 кГц может использоваться для работы любительских станций мощностью не более 5 Вт (в отдельных случаях до 10 Вт) на вторичной основе.

Полоса частот 3500 - 3650 кГц может использоваться любительской службой.

Полоса частот 3650 – 3800 кГц может использоваться любительской службой на вторичной основе.

Полоса частот 7000 – 7100 кГц может использоваться любительской и любительской спутниковой службами.

Плотность потока мощности излучений космических станций любительской спутниковой службы у поверхности Земли не должна превышать величины минус 110 дБВт/м^2.

Полоса частот 10 100 – 10 150 кГц может использоваться любительской службой на вторичной основе.

Полоса частот 14 000 – 14 250 кГц может использоваться любительской и любительской спутниковой службами.

Плотность потока мощности излучений космических станций любительской спутниковой службы у поверхности Земли не должна превышать величины минус 110 дБВт/м^2.

Полоса частот 14 250 – 14 350 кГц может использоваться любительской службой.

Полоса частот 18 068 – 18 168 кГц может использоваться любительской и любительской спутниковой службами на вторичной основе.

Полоса частот 21 000 – 21 450 кГц может использоваться любительской и любительской спутниковой службами.

Плотность потока мощности излучений космических станций любительской спутниковой службы у поверхности Земли не должна превышать величины минус 110 дБВт/м^2.

Полоса частот 24 890 – 24 990 кГц может использоваться **любительской и любительской спутниковой** службами на вторичной основе.

Полоса частот 28 – 29,7 МГц может использоваться любительской и любительской спутниковой службами.

Плотность потока мощности излучений космических станций любительской спутниковой службы у поверхности Земли не должна превышать величины минус 110 дБВт/м^2.

Полоса частот 144 – 146 МГц может использоваться любительской службой с мощностью передатчика до 5 Вт на вторичной основе. В отдельных случаях (для любительских ретрансляторов) допускается использование передатчиков с мощностью до 100 Вт при условии согласования мест размещения станций в установленном порядке.

Полоса частот 430 – 440 МГц может использоваться любительской службой с мощностью передатчиков не более 5 Вт на вторичной основе с учетом территориальных ограничений в полосе 430-433 МГц.

Полоса частот 435 – 438 МГц может использоваться на вторичной основе любительской спутниковой службой.

Полоса частот 1260 – 1300 МГц может использоваться любительской службой с мощностью передатчика до 5 Вт на вторичной основе. В отдельных случаях (для любительских ретрансляторов) допускается использование передатчиков с мощностью до 100 Вт при условии согласования мест размещения станций в установленном порядке.

Полоса частот 2400 – 2450 МГц может использоваться на вторичной основе любительской спутниковой службой.

Полоса частот 5650 – 5670 МГц может использоваться любительской спутниковой службой с мощностью передатчиков не более 5 Вт на вторичной основе.

Полоса частот 10 000 – 10 500 МГц может использоваться любительской службой на вторичной основе.

Полоса частот 24 – 24,05 ГГц может использоваться любительской и любительской спутниковой службами на вторичной основе.

Полоса частот 24,05 – 24,25 ГГц может использоваться любительской службой на вторичной основе.

Полоса частот 47 – 47,2 ГГц может использоваться любительской и любительской спутниковой службами.

Полоса частот 75,5 – 76,0 ГГц может использоваться любительской и любительской спутниковой службами.

Полоса частот 119,98 – 120,0 ГГц может использоваться любительской службой на вторичной основе.

Полоса частот 142 – 144 ГГц может использоваться любительской и любительской спутниковой службами.

Полоса частот 144 – 149 ГГц может использоваться любительской и любительской спутниковой службами на вторичной основе.

Полоса частот 241 – 248 ГГц может использоваться любительской и любительской спутниковой службами на вторичной основе.

Полоса частот 248 – 250 ГГц может использоваться любительской и любительской спутниковой службами.

Таблица П2.1

Категория и вид использования радиостанции	Мощность, Вт	Полоса частот, кГц	Вид радиосвязи
1	2	3	4
Радиостанции индивидуального и коллективного пользования 4-й категории	5	1830-1860	CW
		1860-1930	SSB,CW
		1900-1930	AM, CW
	5	УКВ-диапазон	
Радиостанции индивидуального и коллективного пользования 3-й категории	5	1830-1860	CW
		1860-1930	SSB,CW
		1900-1930	AM,CW
	10	3500-3650	CW
		3650-3700	CW
		21 000-21 450	CW
		28 000-28 050	CW
		28 050-28 150	Цифровая связь
		28 150-28 200	CW
		28 200-28 700	SSB, CW
		28 700-29 200	SSB, AM, CW
		29 200-29 300	FM, AM, SSB, CW
		29 520-29 700	FM, SSB, CW
	5	УКВ-диапазон	

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Программа INDUKTIW, автор разработки © Геннадий А. Тяпичев – RA3XB, 2002 год

Назначение

Программа предназначена для радиолюбителей – конструкторов, изготавливающих самостоятельно различные радиотехнические устройства.

Программа существует в исполнениях 1 и 2 (INDUKTIW1 и INDUKTIW2). Второе исполнение дополнено возможностью расчета величин емкостей.

Как работать с программой

Расчет индуктивности и емкости

После запуска в работу программы на экране появляется главное окно с открытой первой страницей программы.

Эта страница предназначена для начального расчета элементов колебательного контура. Например, вам нужно выполнить расчет для колебательного контура, который должен работать в диапазоне частот 28,0-29,5 МГц с перестройкой конденсатором переменной емкости. Расчет нужно выполнять в следующей последовательности:

- Вводим величину **верхней** частоты заданного диапазона.
- Вводим величину **минимальной** емкости конденсатора переменной емкости (КПЕ), которым будет осуществляться перестройка контура.
- По просьбе программы нажимаем клавишу **Выполнить расчет**.

В результате выполнения расчета появляются данные об индуктивности катушки и вспомогательная величина **LC**, которая используется для контроля за правильностью выполнения расчета. На данный момент имеются следующие данные:

1. Индуктивность катушки в мкГн.
2. Минимальная емкость конденсатора КПЕ.

Следующим этапом расчета является определение величины емкости КПЕ для **нижней** частоты диапазона – 28,0 МГц. Для этого

вводим новое значение частоты (28,0 МГц) в программу и нажимаем клавишу **Выполнить расчет**.

В результате расчета получаем величину максимальной емкости КПЕ и новое значение вспомогательной величины **LC**.

Если этот этап расчета считаем выполненным, то следует нажатием клавиши **Да** ответить на вопрос программы «Результат расчета устраивает? (Да/Нет)». При этом величина индуктивности катушки передается на следующие страницы программы.

Расчет числа витков

Расчеты числа витков заданной катушки, индуктивность которой была определена расчетами на первой странице программы, в зависимости от выбранной конструкции программы можно выполнить на следующих страницах.

- На странице под названием «Катушка 1» определяется число витков для катушки с цилиндрическим каркасом.
- На странице под названием «Катушка 2» определяется число витков для катушки, намотанной «внавал» между щечками.
- На странице под названием «Катушка 3» определяется число витков для катушки, намотанной на кольце, при этом для кольца из обычной пластмассы следует брать величину магнитной проницаемости, равную 1.

Расчет не представляет каких-либо сложностей. В окна редактирования вводятся величины геометрических размеров каркаса катушки и нажимается клавиша **Выполнить расчет**.

Индуктивность катушки на ферромагнитном кольце

Этот расчет выполняется на странице «Катушка 4». Для выполнения расчета в окна редактирования вводятся необходимые данные, после чего нажимается клавиша **Выполнить расчет**.

Если катушка выполняется на кольце из обычной пластмассы, то следует брать величину магнитной проницаемости, равную 1.

Расчет конденсатора настройки контура

Зачастую под руками нет конденсатора переменной емкости для настройки контура в пределах заданного диапазона. При этом приходится устанавливать дополнительные «укорачивающие» конденсаторы постоянной емкости. Предложенный вариант расчета позволяет

за несколько приемов подобрать величины подключаемых дополнительно к КПЕ конденсаторов постоянной емкости.

При этом следует учитывать, что для улучшения линейности шкалы величина конденсатора С2 должна быть как можно больше. Если этот конденсатор не использовать совсем, то настройка в пределах диапазона будет происходить только при малых емкостях КПЕ.

Гарантии

Программа может свободно распространяться среди радиолюбителей на основании известного принципа «как есть», то есть без гарантий автора и без претензий пользователей.

Для коммерческого использования согласие автора обязательно.

Вопросы

Вопросы к автору можно направлять по E-mail: ra3xb@kaluga.ru

Просьба

Программа экспериментальная, поэтому автору будут интересны все Ваши замечания и предложения. Прошу их выслать на мой адрес!

* * *

Пример расчета электронной настройки

Электронная перестройка контура генератора в пределах заданного диапазона частот может достаточно просто осуществляться в широких пределах при помощи диодов типа Д220, Д223 и других. Одна

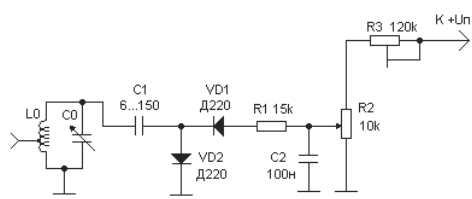


Рис. П3.1. Схема электронной перестройки частоты контура

из возможных схем электронной перестройки частоты контура L0C0 показана на рис. П3.1.

Если в этой схеме применить конденсатор С1 емкостью 150 пФ, то изменение емкости диодов в зависимости от величины подаваемого на них напряжения будет происходить в соответствии с графиком, показанном на рис. П3.2.

Этим графиком можно пользоваться для проведения расчета элементов схемы электронной перестройки частоты контура на двух диодах.

Для расчета элементов контура гетеродина представим, что нам необходимо выполнить электронную настройку в пределах любительского диапазона 142-146 МГц. В качестве варикапа будет использоваться система из двух диодов типа Д220. Будем считать, что нами так подобраны величины сопротивлений дополнительных резисторов, что на диоды будет подаваться напряжение от 0,1 до 0,4 В, что будет соответствовать емкостям от 50 до 140 пФ.

Запускаем программу INDUKTIW2 и на первой страничке этой программы вводим в соответствующие окна редактирования среднюю частоту диапазона 145 МГц и примерную величину емкости контура 15 пФ. Нажимаем на клавишу **Выполнить расчет** и получаем необходимые величины, в том числе и главную для нас величину индуктивности контура на средней частоте (0,08 мкГн).

Далее нажимаем клавишу **Запомнить индуктивность**. Здесь имеется в ввиду, что *нужно запомнить индуктивность контура на средней частоте диапазона,* с которой будем далее иметь дело. В нижнем

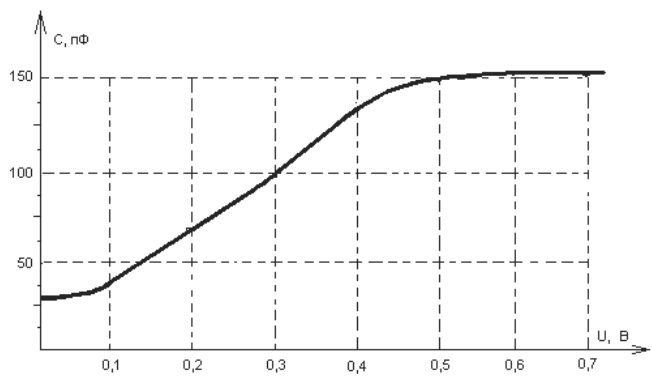


Рис. П3.2. График зависимости емкости диодов от напряжения

окне редактирования появляется занесенная в память величина индуктивности 0,08 мкГн.

Определяем минимальную емкость контура гетеродина, соответствующую самой высокой частоте диапазона 146 МГц. Для этого вводим в окно редактирования новое значение частоты (146 МГц), очищаем окно с индуктивностью и нажимаем клавишу **Выполнить расчет**. В результате этого действия нами получено новое значение индуктивности контура, которое будет соответствовать верхней частоте диапазона. Нажимаем клавишу **Расчет емкости** и записываем на листок бумаги полученную величину минимальной емкости контура 14,8 пФ.

Определяем максимальную емкость контура, соответствующую самой низкой частоте диапазона 144 МГц. Вводим в окно редактирования новое значение частоты (144 МГц), очищаем окно с индуктивностью и нажимаем клавишу **Выполнить расчет**. В результате этого действия нами получено новое значение индуктивности контура, которое будет соответствовать нижней частоте диапазона. Нажимаем клавишу **Расчет емкости** и записываем на листок бумаги полученную величину максимальной емкости контура 15,2 пФ.

Теперь переходим на шестую страничку программы, которая называется «Конденсатор». Здесь мы должны определить величину емкости конденсатора С3, подключаемого последовательно с емкостью электронной настройки С1. Емкость С3 должна быть такой величины, чтобы обеспечить электронную перестройку частоты в пределах 15,2 – 14,8 = 0,4 пФ.

Вводим в соответствующие окна редактирования конденсатора С1 величины минимальной (50 пФ) и максимальной (140 пФ) емкостей. В окно для емкости С2 вводим цифру 0, в окно для С2 вводим какую-то величину, например 10. Нажимаем клавишу **Выполнить расчет** и получаем величины минимальной и максимальной емкостей итоговой емкости С0 8,333 и 9,333 пФ. Если найти разность этих величин, то получим 9,333 – 8,333 = 1,0 пФ, что значительно больше необходимой нам величины 0,4 пФ. Этот вариант не подходит, нужно попробовать другую величину емкости С3.

Вводим величину С3, равную 5, после нажатия клавиши **Выполнить расчет** получаем величины 4,545 и 4,828 пФ. Находим разность 4,828 – 4,545 = 0,282 пФ. Эта величина много меньше необходимой. Пробуем ввести С3 = 7, получаем величины 6,667 и 6,14 пФ. 6,667 – 6,14 = 0,527 пФ. Это уже близко к нужной величине, но все еще великовато. Пробуем ввести С3 = 6 и получаем величины 5,357 и 5,753 пФ. На-

ходим разность 5,573 – 5,357 = 0,396 пФ. Это почти хорошо, можно на величине СЗ = 6 пФ и остановиться, а можно уже без дальнейших расчетов принять СЗ = 6,5 пФ.

В заключение расчета определяем величину емкости дополнительного конденсатора, который будет подключен параллельно катушке гетеродина совместно с емкостью электронной настройки. Ранее было определено, что параллельно катушке гетеродина должна быть подключена переменная емкость от 14,8 до 15,2 пФ. Если из 14,8 вычесть минимальную емкость электронной настройки 5,357, то получим величину 14,8 – 5,357 = 9,443 пФ. Такую величину емкости может обеспечить подстроечный конденсатор емкостью 4-15 пФ.

Расчет контура гетеродина с электронной настройкой выполнен. Точно по такой же методике можно выполнить расчет и для любого варикапа.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. С. Жутяев «Любительская УКВ радиостанция». – М.: «Радио и связь». – 1981 г.
2. В. Горбатый «Любительские УКВ радиостанции на транзисторах». – М.: «Энергия». – 1978 г.
3. К. Ротхаммель «Антенны». – М.: «Энергия». – 1979 г.
4. З. Беньковский, Э. Липинский «Любительские антенны коротких и ультракоротких волн». – М.: «Радио и связь». –1983 г.
5. В. Поляков «Трансиверы прямого преобразования». – М.: ДОСААФ. – 1984 г.
6. В. Поляков «Радиовещательные ЧМ приемники с фазовой автоподстройкой». – М.: «Радио и связь». – 1983 г.
7. Г. Тяпичев «Компьютер на любительской радиостанции». – С-П.: БХВ – Петербург. – 2002 г.
8. Г. Тяпичев «Спутники и цифровая радиосвязь». – М.: ДЭСС. – 2003 г.
9. К. Харченко «УКВ антенны». – М.: ДОСААФ. – 1969 г.
10. А. Колесников «Справочник ультракоротковолновика». – М.: ДОСААФ. – 1966 г.
11. Г.Б. Альтшуллер и др. «Кварцевые генераторы». – М.: «Радио и связь». – 1984 г.
12. П. Хоровиц, У. Хилл «Искусство схемотехники». – М.: «Мир». – 1998 г.
13. Э. Ред «Справочное пособие по высокочастотной схемотехнике». – М.: «Мир». – 1990 г.
14. Н. Мясников «Транзисторные усилители мощности на диапазоны 144 и 430 МГц» // журнал «Радио» № 8. – 2003 г.
15. Ю. Зирюкин «ГИР – волномер – ГВЧ» // журнал «Радиолюбитель» № 9. – 1993 г.
16. Н. Смирнов «UHF – УКВ» // журнал «CQ de U» 1988 г. – Минск: «Полымя».
17. Я. Лаповок «Базовый приемник КВ радиостанции» // журнал «Радио» № 4. – 1978 г.
18. А. Титов и др. «Усилитель мощности диапазона 140-150 МГц» // журнал «Радиомир. КВ и УКВ» №№ 4,5. – 2004 г.

Книги издательства «ДМК Пресс» можно заказать в торгово-издательском холдинге «АЛЬЯНС-КНИГА» наложенным платежом, выслав открытку или письмо по почтовому адресу: 123242, Москва, а/я 20 или по электронному адресу: post@abook.ru.

При оформлении заказа следует указать адрес (полностью), по которому должны быть высланы книги; фамилию, имя и отчество получателя. Желательно также указать свой телефон и электронный адрес.

Эти книги вы можете заказать и в Internet-магазине: www.abook.ru.

Оптовые закупки: тел. (095) 258-91-94, 258-91-95; электронный адрес abook@abook.ru.

Г. Тяпичев

АЗБУКА УКВ
КАК ПОСТРОИТЬ ТРАНСИВЕР

Главный редактор Мовчан Д. А.
movchan@dmk.ru
Верстка Селеменив М. М.
Дизайн обложки Селеменив М. М.
Корректор Волкова М. Г.

Гарнитура «Петербург». Печать офсетная.
Усл. печ. л. 27. Тираж 3000 экз. Зак. №

ISBN 5-9706-0001-6
9 785970 600016

Книга предназначена для широкого круга радиолюбителей, интересующихся вопросами радиосвязи на УКВ и начинающих заниматься разработкой аппаратуры для УКВ радиосвязи. Книга будет полезна также радиолюбителям, начинающим интересоваться приемом информации от искусственных спутников Земли (ИСЗ).

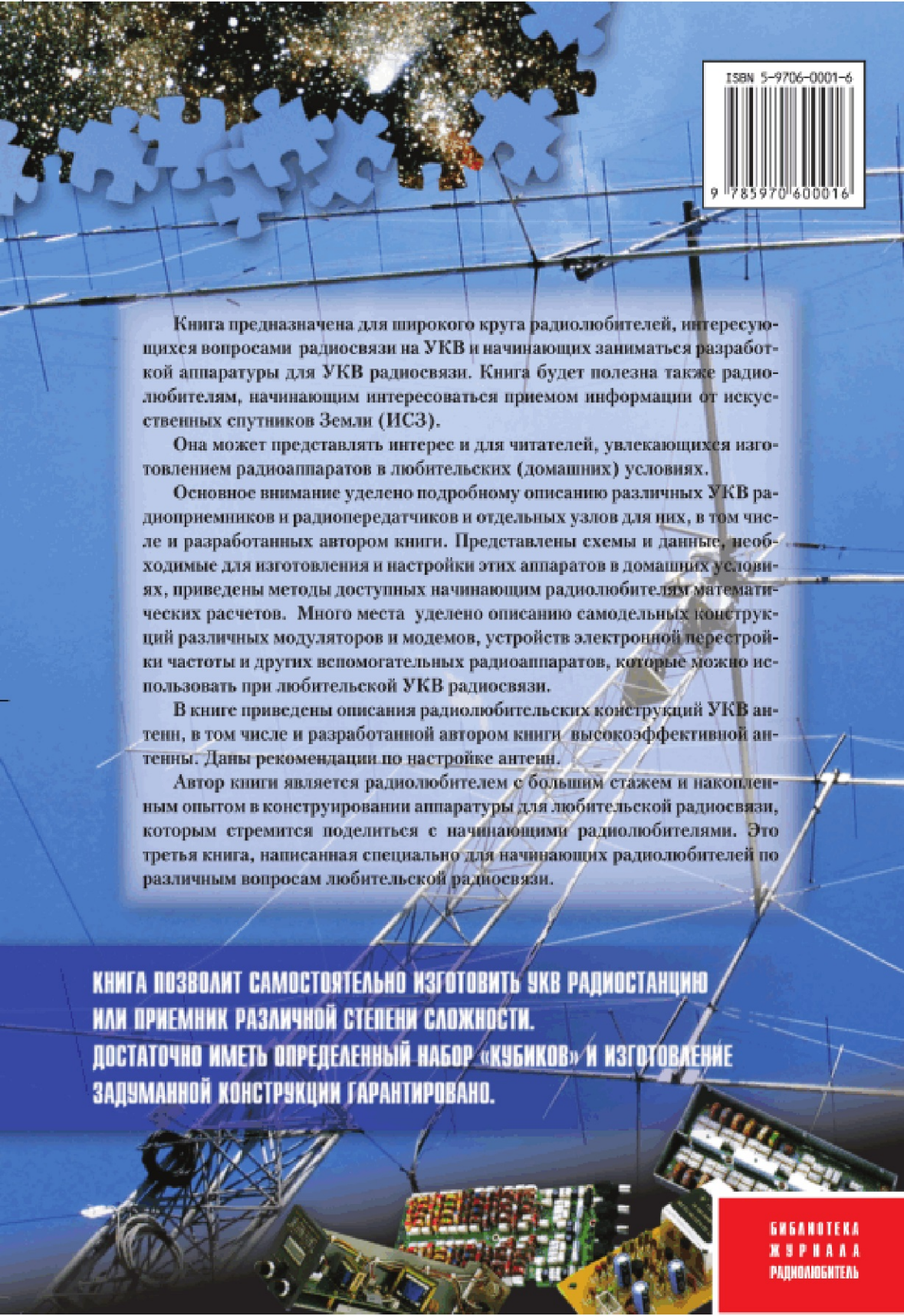
Она может представлять интерес и для читателей, увлекающихся изготовлением радиоаппаратов в любительских (домашних) условиях.

Основное внимание уделено подробному описанию различных УКВ радиоприемников и радиопередатчиков и отдельных узлов для них, в том числе и разработанных автором книги. Представлены схемы и данные, необходимые для изготовления и настройки этих аппаратов в домашних условиях, приведены методы доступных начинающим радиолюбителям математических расчетов. Много места уделено описанию самодельных конструкций различных модуляторов и модемов, устройств электронной перестройки частоты и других вспомогательных радиоаппаратов, которые можно использовать при любительской УКВ радиосвязи.

В книге приведены описания радиолюбительских конструкций УКВ антенн, в том числе и разработанной автором книги высокоэффективной антенны. Даны рекомендации по настройке антенн.

Автор книги является радиолюбителем с большим стажем и накопленным опытом в конструировании аппаратуры для любительской радиосвязи, которым стремится поделиться с начинающими радиолюбителями. Это третья книга, написанная специально для начинающих радиолюбителей по различным вопросам любительской радиосвязи.

КНИГА ПОЗВОЛИТ САМОСТОЯТЕЛЬНО ИЗГОТОВИТЬ УКВ РАДИОСТАНЦИЮ ИЛИ ПРИЕМНИК РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНИ СЛОЖНОСТИ. ДОСТАТОЧНО ИМЕТЬ ОПРЕДЕЛЕННЫЙ НАБОР «КУБИКОВ» И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЗАДУМАННОЙ КОНСТРУКЦИИ ГАРАНТИРОВАНО.



БИБЛИОТЕКА ЖУРНАЛА РАДИОЛЮБИТЕЛЬ