

эфире г. Тюмени 7 мая на частоте 90 МГц (источник — URL: <http://newsprom.ru/news/Obschestvo/221785.html#pretty> [221785] / 0 / (22.05.16)).

**УДМУРТИЯ.** К региональной сети "Радио Дача" присоединился п. Балезино, частота вещания — 103,3 МГц (источник — URL: <http://www.krutoymedia.ru/news/3402.html> (22.05.16)).

**ЯКУТИЯ.** В Якутии с 6 мая возобновлено мощное коротковолновое вещание на всей территории северных районов республики. Теперь жители республики могут до десяти часов в сутки слушать трансляции НВК "Саха". В зону действия радиовещательных передатчиков вошли 27 районов республики, в том числе 13 арктических и северных улусов. Площадь охвата составляет почти 2,5 миллиона квадратных километров, или 78 процентов от общей площади республики (источник — URL: <http://sakhalife.ru/v-yakutii-vozobnovleno-nazemnoe-efirnoe-radioveshhanie/> (22.05.16)).

В зоне охвата передатчика "Гром" (частота вещания — 7345 кГц) находятся населённые пункты северо-западных районов Якутии: Мирнинского, Оленёкского, Жиганского, Кобяйского,

Сунтарского, Нюрбинского, Верхневилюйского, Вилюйского, Горного, Намского и г. Якутск.

В зоне охвата передатчика "Вьюга" (частота вещания — 7295 кГц) находятся населённые пункты северо-восточных районов республики: Абыйского, Булунского, Момского, Усть-Янского, Аллаиховского, Оймяконского, Эвено-Бытантайского, Верхоянского, Кобяйского, Томпонского, Таттинского, Чурапчинского, Усть-Алданского, Верхнеколымского, Среднеколымского, Нижнеколымского, Намского, а также г. Якутск (источник — URL: <http://yakutia.rtrs.ru/news/read/64/> (22.05.16)).

Заявленное время вещания на частотах 7295 и 7345 кГц:

- с понедельника по пятницу — с 03.00 до 05.00;
- с пятницы на субботу — с 22.00 до 05.00;
- в субботу и воскресенье — с 21.00 до 00.00;
- ежедневно с 09.00 до 12.00.

4 мая филиал РТПС "РТПЦ Республики Саха" начал трансляцию программ "Радио России" в г. Якутске на частоте 104,9 МГц (источник — URL: <http://yakutia.rtrs.ru/news/read/67/> (22.05.16)).

## ЗАРУБЕЖНОЕ ВЕЩАНИЕ

**ВАТИКАН.** В опубликованном ранее расписании трансляций "Радио Ватикана" на русском языке со 2 мая произошла замена частоты. Ранее использовавшаяся частота 12030 кГц из-за помех заменена на новую — 11875 кГц. Время вещания — с 12.30 до 13.00, для трансляций используется передатчик в Tinang, Филиппины. Вторая частота (15370 кГц) оставлена без изменений (источник — URL: [http://ru.radiovaticana.va/news/2016/04/30/изменения\\_в\\_расписании\\_вещания/1226598](http://ru.radiovaticana.va/news/2016/04/30/изменения_в_расписании_вещания/1226598) (22.05.16)).

**ПОЛЬША.** Радиостанция "Радио Польша" не только не намерена возобновлять коротковолновые трансляции, но и прекратит вещание на средневолновой частоте 1395 кГц с использованием передатчика в Армении. Произойдёт это в последний день июня (источник — URL: <http://www.radiopolsha.pl/6/173/Artykul/251562> (22.05.16)).

**ТАЙВАНЬ.** С 1 апреля изменена частота для трансляции программ Русской службы "Международного радио Тайваня": с 17.00 до 18.00 вместо 9800 кГц используется частота 11955 кГц.

*Хорошего приёма и 73!*

# Кварцевые лестничные фильтры на частоту 30...70 МГц. Часть 1

*ХАЙО ЛОХНИ, Германия/Россия, г. Гай Оренбургской обл.*

## Общие сведения

В 2015 г. при доработке приёмника TECSUN S-2000 я решил заменить "капризный" кварцевый резонатор во втором гетеродине (55391 кГц), работающий на третьей гармонике. При оформлении заказа на производстве мне предложили резонаторы на эту частоту, работающие на первой гармонике, и я по радиоловительской любознательности заказал несколько штук и решил проверить их пригодность для построения лестничного фильтра. Неожиданно был получен отличный результат, представленный в [1]. Он подтолкнул меня на более серьёзные эксперименты, и их практические результаты предлагаются вниманию читателей.

В большинстве радиоприёмной радиоловительской КВ-аппаратуры, выпускающейся последние 15...20 лет, применён приёмный тракт с высокой первой ПЧ, которая выше верхней частоты КВ-диапазона. У каждого изготовителя радиоприёмных устройств (РПУ) "прижилась" своя "традиционная" ПЧ, самые распространённые значения — 55...70 МГц. У аппаратуры 80—90-х годов прошлого века часто встречается ПЧ 35...45 МГц. В последнее время в некоторых "смелых" КВ-конструкциях разработчики перешли на частоты 120...140 МГц.

Главное преимущество приёмников с высокой первой ПЧ — принципиально (в соответствии с расчётом) существенное снижение комбинационных помех. Полному успеху варианта противостоит практическая проблема создания на высоких частотах узкополосных кварцевых фильтров, способных выделить один SSB-канал, не говоря уже о CW-канале.

До конца прошлого века для фильтров на частоту более 25 МГц использовались, как правило, кварцевые резонаторы, работающие на третьей гармонике. Основным недостатком таких фильтров — наличие большого числа паразитных резонансов. Только за последние десять лет стали доступными фильтры, работающие на основной (первой) гармонике. Например, в IC-7600 применён фильтр на частоту 64455 кГц на основе четырёх кварцевых резонаторов в корпусе для поверхностного монтажа (SMD). Отечественная промышленность также стала предлагать подобные изделия.

Ещё один момент, который играет немаловажную роль, но на него редко обращают внимание, — недостаточное заграждение за полосой пропускания. Выпускаемые массово кварцевые фильтры рассчитаны на работу с нагрузкой сопротивлением 1...3 кОм. На частоте 60 МГц конденсатор ёмкостью

0,1 пФ уже имеет сопротивление 26 кОм, и поэтому обеспечение большой развязки между входом и выходом таких фильтров — настоящий вызов для разработчиков печатных плат. Из собственного опыта я назвал бы результат хорошим, если у одиночного фильтра в корпусе HC-49 или SMD размерами 5x7 мм получилось заграждение около 50 дБ (без дополнительной экранировки). Наличие LC-контуров в тракте немного увеличивает подавление при отстройке на несколько мегагерц. Поэтому добросовестные изготовители радиоловительских РПУ средней стоимости заявляют подавление зеркального канала для второй ПЧ не более 60 дБ. А вариантов нагруженных радиовещательных диапазонов, попадающих в зеркальный канал, достаточно много. Напряжение сигналов мощных радиовещательных станций на полноразмерной антенне в вечерние часы легко достигает 100 мВ и более. Поэтому требование подавления зеркального канала до 100 дБ для второй ПЧ совсем не завышенное, но редко выполняется в радиоловительских трансиверах. В профессиональных радиоприёмниках часто применяются две секции фильтров для первой ПЧ (с МШУ между ними), что при хорошей экранировке обеспечивает заграждение 100...120 дБ вне полосы пропускания.

Простые массовые двухрезонаторные фильтры на частоту более 40 МГц, работающие на третьей гармонике [2], имеют относительно высокое затухание (3...5 дБ) в полосе пропускания, что практически исключает их последовательное включение в компактной конструкции. Если включить три таких фильтра последовательно, общее затухание увеличится до 10...15 дБ и задуманная конструкция КВ-приёмника

примет жалкий вид. На практике разработчики РПУ ограничиваются двумя фильтрами (SANGEAN 909, HAM-2000, IC-718).

Если в публикациях встречаются много вариантов конструкций радиолобительских самодельных фильтров на частоты от 4 до 20 МГц, то до частоты 90 МГц остаётся только вариант применения готового изделия. Но не всегда эти готовые фильтры впишутся в задуманные проекты. Поэтому в предлагаемой вниманию читателей статье покажем возможность разработки высококачественного кварцевого фильтра для давным-давно отложенного проекта или для модернизации устаревшего РПУ. Я нигде не смог найти каких-либо серьёзных рекомендаций для самостоятельного изготовления кварцевых фильтров в диапазоне 30...70 МГц. Читателю впервые предлагается материал, собранный при опытным изготовлении фильтров, а также во время реализации конкретного проекта КВ-приёмника. При конструировании были учтены общие и давно известные методики расчёта лестничных фильтров на частоту до 15 МГц, которые достаточно подробно изложены в [3]. При добросовестной сборке самодельного фильтра результаты получаются не хуже, чем обещанные в рекламе на профессиональном оборудовании.

### Лестничные фильтры на частоту 30...70 МГц

Результаты исследований разработчиков фильтров на частоту более 70 МГц показали относительно малую предсказуемость результата, но это не исключает, что с опытом и тщательным расчётом удастся реализовать хорошие фильтры, вплоть до частоты 90 МГц. Влияние монтажных ёмкостей и погрешности при изготовлении резонаторов на первой гармонике в диапазоне 30...70 МГц не позволяют чисто расчётным методом предсказать необходимую частоту резонатора для построения фильтра, надо привыкать к погрешности около 1 кГц. Для реализуемости проектов в предлагаемой статье применяется метод приближения на основе экспериментальных данных. Тем не менее даже с "наугад" заказанными кварцевыми резонаторами получились вполне приличные результаты. Читатель может из предлагаемого материала сделать выводы для реализации собственного проекта.

Надо понимать, что применённые мною кварцевые резонаторы изначально не предназначены для работы в фильтрах, и изготовитель их позиционирует исключительно для работы в генераторах на указанную частоту при указанной ёмкости дополнительного конденсатора. Всё остальное мы делаем на свой страх и риск и найдём им другое применение.

### Кварцевые резонаторы на первой гармонике

Российский изготовитель ([www.quartz1.com](http://www.quartz1.com)) предлагает кварцевые резонаторы на первой гармонике в кор-

пусе UM-5 на частоту до 100 МГц. Их заказывают по номинальной частоте, достигнутой с указанной ёмкостью нагрузки, т. е. частота его собственного последовательного резонанса  $F_{\text{пос}}$  расположена немного (на 8...20 кГц) ниже номинальной частоты для оформления заказа. Для предсказуемости АЧХ фильтра я не рекомендую заказывать резонаторы, нормированные с ёмкостью нагрузки  $C_n$  менее 24 пФ, иначе  $F_{\text{пос}}$  оказывается слишком далеко от требуемой номинальной частоты фильтра  $F_{\text{Ф}}$ . Связь между этими двумя частотами зависит от добротности кварцевого материала, фактического размера электродов и других производственных факторов. Наблюдается "разбег" между этими частотами до  $\pm 25\%$  у резонаторов, нормированных на  $C_n = 24$  пФ из разных партий. Но внутри одной партии они гораздо меньше — не более  $\pm 5\%$ . Поэтому я считаю, что выбор  $C_n = 24$  пФ — хороший компромисс для того, чтобы говорить на одном языке с изготовителем резонаторов и делать надёжный прогноз параметров фильтра. Привязка при заказе к  $F_{\text{пос}}$  не практична, так как в фильтре мы "заставим" резонаторы работать с ёмкостной нагрузкой. По итогам проведённых в течение года исследований значение  $C_n = 24$  пФ оказалось удачным для развития темы фильтров в радиолюбительской практике.

Затухание фильтров обусловлено динамическим сопротивлением резонаторов при последовательном резонансе, так как эти сопротивления как цель установлены между входом и выходом фильтра. На практике это сопротивление было в интервале 3...26 Ом для разных образцов и партий, внутри одной партии хорошего качества "разбег" — не более 5%. Ориентировочно в фильтре на шести резонаторах можно ожидать затухание 3...7 дБ, что позволит создать РПУ хорошего качества.

Другой важный параметр, а он связан с динамическим сопротивлением, — это добротность самого резонатора. По моим наблюдениям (200 кварцев за 28 месяцев), она лежит в интервале 15000...25000, редко достигает 40000 (на частотах 45...55 МГц). Поэтому в худшем случае на частоте 70 МГц на резонаторах с добротностью 15000 можно реализовать фильтр с полосой пропускания от 7 кГц, если не "залезать" в чрезмерное затухание. Но на частоте 45 МГц можно добиться явно выраженной АЧХ трапециевидной формы с полосой пропускания 3...4 кГц. В таком интервале вариантов и будем двигаться далее.

Высокочастотные кварцевые резонаторы не свободны от паразитных резонансов в диапазоне выше  $F_{\text{пос}}$ . Поэтому это надо проверить в интервале до +1% от  $F_{\text{пос}}$ , особенно когда в фильтре не более четырёх резонаторов. В случае соблюдения некоторых правил при построении фильтра получаются отличные параметры дальнего заграждения.

В практической конструкции лестничного фильтра на частоту 30...70 МГц удачно сходятся номинальные пара-

метры кварцевых резонаторов и элементов схемы в крайне выгодную комбинацию. На частоте 60 МГц ёмкостью конденсаторов в фильтре — 8...33 пФ, что соответствует импедансу  $Z = 330...75$  Ом. В то же время для получения требуемой полосы пропускания сопротивление нагрузки должно находиться в этом же интервале, когда динамическое сопротивление резонатора в 10 раз меньше — и готов наш волшебный коктейль! Ёмкость электродов высокочастотных кварцев составляет 1,5...2 пФ, поэтому каждая цепь из резонатора и конденсатора обеспечивает подавление внеполосных сигналов на 14...26 дБ. В результате фильтр на четырёх резонаторах даст подавление 80 дБ и более. Это вполне реализуемо на практике из-за низкого импеданса фильтров!

В фильтрах с кварцевыми резонаторами на первой гармонике возможно построить полноценные фильтры для NBFM (узкополосной ЧМ), SDR и AM, так как резонансный интервал составляет несколько десятков килогерц, а частота параллельного резонанса  $F_{\text{пар}}$  расположена далеко за пределами полосы пропускания.

Температурный коэффициент частоты (ТКЧ)  $F_{\text{пос}}$  исследуемых резонаторов в интервале температур 0...40 °C — около 0,5 ppm/K. Это означает, что наложенный при  $t = 20$  °C фильтр на частоте 50 МГц при  $t = 0$  °C сместится на 500 Гц выше, а при  $t = 40$  °C — на 500 Гц ниже. При температуре 60...70 °C ТКЧ станет нулевым, а ещё выше частота снова пойдёт вверх. Эти нестабильности надо учитывать при проектировании РПУ. Для сравнения, двухрезонаторный фильтр 55R15 (TECSUN S-2000 и PL-880) имеет нулевой ТКЧ при комнатной температуре, заметное повышение частоты наступает за пределами интервала 10...30 °C, т. е. это оптимизированный комнатный вариант. Поэтому берём на вооружение простое правило — в РПУ с большим энергопотреблением и саморазогревом надо предусмотреть "лишние" 0,5...1 кГц в АЧХ на высокочастотном скате, что в лестничных фильтрах относительно легко реализовать. Но у кварцевых резонаторов на частоту 55390 кГц из разных партий оказались существенно разные значения ТКЧ. Поэтому на начальном этапе разработки фильтра следует проверить этот параметр резонаторов. К сожалению, изготовитель такой информации не предоставляет.

### Зависимость АЧХ от импеданса

Разъясним взаимосвязь между номинальным импедансом фильтра и видом его АЧХ. Целевыми параметрами для разработки полосового фильтра обычно являются центральная частота и ширина полосы пропускания, остальные параметры, особенно в радиолюбительской практике, — "как получится" и зависит от многих обстоятельств. На рис. 1.1 показана схема проведения испытаний фильтра на трёх резонаторах на частоту 55845 кГц и  $C_n = 24$  пФ (далее упрощённо будем писать 55845-24), а также на резонаторах 70460-24 и 34786-24.



В отличие от фильтров на частоту до 20 МГц, здесь пробный фильтр на двух резонаторах даст слишком большой разброс для интерпретации результата, чтобы на основе полученных данных можно было реализовать качественный фильтр 6—8-го порядка. Поэтому все испытания проводим с фильтром на трёх резонаторах. Во все фильтры в статье по умолчанию заложена плоская

вершина примерно на 15 кГц ниже номинальной (55845 кГц). В одной партии эта разница составляет 14...16 кГц, но при подключении конденсатора  $C_n = 24$  пФ резонансная частота точно соответствует номинальной (это контрольный параметр на производстве);

— полоса пропускания увеличивается с ростом импеданса (рис. 1.2, а—рис. 1.2, е);

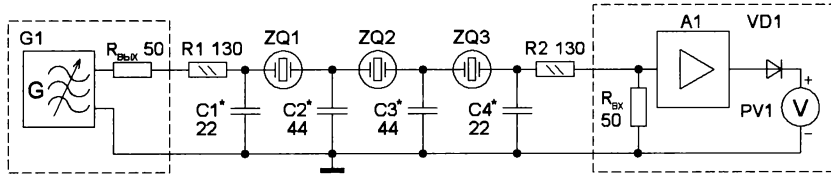


Рис. 1.1

вершина АЧХ, но есть отдельные примеры с "закруглённой" АЧХ для особых случаев, где требуется линейная ФЧХ.

Резисторами R1 и R2 (с учётом импеданса измерительного прибора) для каждого измерения был установлен выбранный импеданс, а подборкой конденсаторов (подстроечных) устанавливалась "правильная" форма АЧХ. Так как согласование чисто резистивное, с растущим импедансом затухание в полосе пропускания увеличивается. Для наглядности и возможности сравнения результатов все АЧХ нормированы с условием: максимальный коэффициент передачи — 0 дБ. Поэтому приведенные далее АЧХ не отражают меняющееся от сопротивления действительное затухание, а показывают только положение на частотной оси!

### Фильтр на частоту 55845 кГц

На рис. 1.2 показаны результаты исследования фильтра на кварцевых резонаторах 55845-24 для разных значений импеданса.

**Справка:** для двухрезонаторных фильтров взаимосвязь между АЧХ и импедансом была показана в [2]. У них с изменением импеданса меняется центральная частота, а полоса пропускания и внеполосное затухание при условии согласования остаются практически неизменными.

По результатам исследований этого фильтра можно сделать следующие выводы:

— собственная резонансная частота резонаторов — 55830 кГц, она располо-

— увеличение полосы пропускания осуществляется в основном за счёт смещения правого ската АЧХ (рис. 1.2, б—рис. 1.2, е);

— при очень низком импедансе и завышенном значении ёмкости конденсаторов АЧХ фильтра приближается к последовательному резонансу кварца и рабочая добротность резонаторов растёт (рис. 1.2, а). Скаты — крутые, АЧХ — симметричная, но затухание в полосе пропускания чрезмерно большое;

— при определённом импедансе найдётся оптимальная настройка (рис. 1.2, б) при которой на вершине ещё не появится ровный участок, а затухание уже небольшое. В этом разница между вариантами рис. 1.2, а и рис. 1.2, б. Скаты (рис. 1.2, б) уже не такие крутые, а полоса пропускания в полтора раза больше. В данном случае затухание в полосе пропускания ещё относительно большое (2 дБ на резонатор и зависит от его качества), потому что импеданс и сумма динамических сопротивлений трёх резонаторов примерно того же порядка;

— правый (высокочастотный) скат в варианте рис. 1.2, б уже достиг своей максимальной крутизны, которая мало будет меняться при расширении полосы пропускания;

— крутизна левого ската АЧХ меняется с расширением полосы пропускания, (как бы "поворачивается") вокруг некоторой точки на уровне -18 дБ. Эта точка "лежит" примерно на частоте  $F_{\text{пос}}$ . На практике это можно использовать как ориентир для прогноза поведения АЧХ и расположения её плоской вершины;

— при увеличении импеданса (при этом уменьшаются ёмкости конденсаторов C1—C4) сильнее проявляется влияние статической ёмкости кварцевого резонатора. По этой причине левый скат АЧХ становится более пологим. На практике это можно компенсировать подключением параллельно резонатору катушки индуктивности, но об этом речь пойдёт отдельно;

— оптимальный импеданс этого фильтра — 180 Ом (рис. 1.2, д), при этом центральная частота полосы пропускания — 55844,5 кГц, а протяжённость плоской вершины — 10...11 кГц. Такой фильтр подходит для применения в бытовых КВ-приёмниках (TECSUN, DEGEN и других с шагом ФАПЧ 2 кГц);

— если заказать кварцевый резонатор со слишком низкой частотой, придётся "растянуть" АЧХ к высоким частотам и получить "лишнюю" полосу. Намного хуже, если заказать со слишком высокой частотой. Любое смещение левого ската "вниз" сопровождается сужением полосы пропускания из-за смещения правого ската АЧХ влево;

— при достаточно большой полосе пропускания (рис. 1.2, г—рис. 1.2, е) левый скат практически уже не меняет своё положение и смещение центральной частоты достигается исключительно смещением правого ската. Для этих настроек затухание в полосе пропускания практически не меняется, так как импеданс на порядок выше сопротивлений резонаторов.

Можно считать, что с резонаторами 55845-24 фильтр для бытовых приёмников реализуется на грани допустимого, поскольку нет запаса на старение, температурную нестабильность, а также для перестройки частоты второго гетеродина. Для реализации более состоятельных проектов рекомендуется приобрести резонаторы 55844-24, а если есть намерение принимать SDR, то надо приобрести 55843-24 и получить плоскую вершину АЧХ шириной около 12 кГц.

### Фильтр на частоту 34785 кГц

После первых опытов на частоте 55845 кГц и пропорционального перерасчёта я решил проверить кварцевые резонаторы 34786-24 (с перспективой установки фильтра в тракт ПЧ приёмника Р-399). Результаты исследований показаны на рис. 1.3.

Результаты эксперимента показали, что:

— последовательный резонанс лежит на 9 кГц ниже номинальной частоты, что и ожидалось после перерасчёта, разброс параметров резонаторов в одной партии практически не заметен;

— фильтр с импедансом 50 Ом (рис. 1.3, а) "лёт" на частоту 34870,5 кГц, затухание в полосе пропускания — 5 дБ, ширина полосы пропускания по уровням -1, -3, -6 и -40 дБ составляет 3, 4, 7 и 30 кГц. Это уже настоящий roofing-фильтр (устанавливаемый после первого смесителя), ограждение за полосой пропускания — не менее 50 дБ. Но для получения "правильной" центральной частоты надо было применить резонатор с частотой на 5 кГц выше, например 34792-24. АЧХ сравнительно симметричная, что характерно для фильтров с

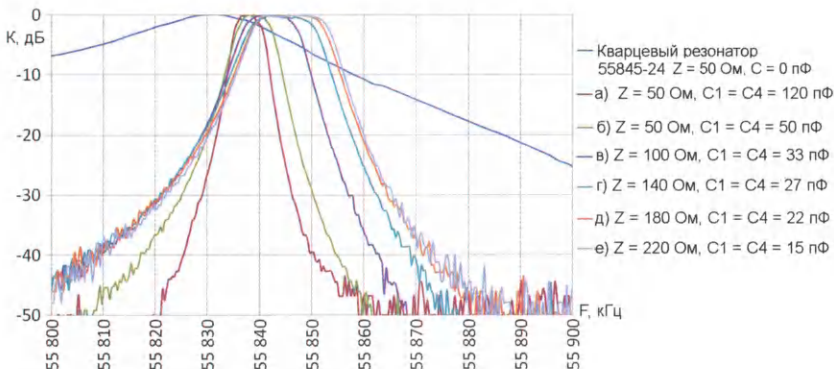


Рис. 1.2

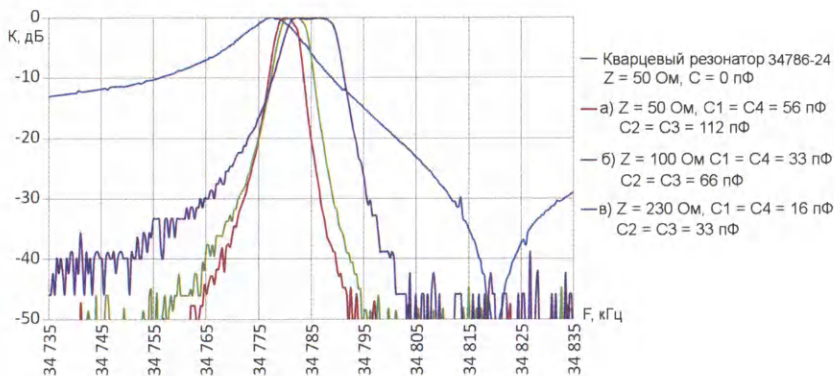


Рис. 1.3

низким импедансом. Следует отметить, что при нагреве до 40 °С фильтр чётко "встал" на частоту 34870 кГц, что соответствует рабочей температуре внутри корпуса РПУ Р-399;

— при импедансе 100 Ом (рис. 1.3,б) фильтр "настроился" на частоту 34872 кГц и появилась плоская вершина. Полоса пропускания по уровню -3 дБ — 5,5 кГц. Получился достаточно удачный вариант для приёма одной боковой АМ-сигнала с несущей на частоте 34875 кГц;

— при импедансе 230 Ом (рис. 1.3,в) фильтр выходит на номинальный центр 34875 кГц с плоской вершиной шириной 7 кГц и полосой пропускания 10 кГц по уровню -3 дБ. Очевидно, с этими резонаторами не удастся получить фильтр с плоской вершиной шириной 10 кГц при центральной частоте 34875 кГц. Для этого надо будет заказать резонатор 33875-24, а на перспективу я заказал бы 33874-24, при этом можно ожидать импеданса 270...300 Ом.

#### Фильтр на частоту 70455 кГц

В РПУ фирмы YAESU часто используется первая ПЧ 70455 кГц, и в некоторых конструкциях имеется физическая возможность модификации или замены фильтров. Для экспериментов я заказал резонаторы 70460-24 после того, как исследовал фильтр на двух резонаторах 70455-24. Результаты показаны на рис. 1.4:

— разница между номинальной ( $C_n = 24$  пФ) и  $F_{\text{нос}}$  — 17 кГц, в одной партии разброс — не более  $\pm 1$  кГц;

— при импедансе 50 Ом ( $C2 = C4 = 56$  пФ) (рис. 1.4,а) получился фильтр с немного выпуклой вершиной, на грани появления плоской. Тем не менее затухание в полосе пропускания всего 4 дБ из-за малого динамического сопротивления резонаторов. Центр АЧХ "попал" на частоту 70453,5 кГц, и полоса пропускания — 10 кГц (по уровню -3 дБ). Для приёма SSB этот фильтр будет работать хорошо, но надо будет применить резонаторы 70461-24 для получения центральной частоты 70455 кГц;

— при импедансе 100 Ом (рис. 1.4,б) фильтр "попадает" на частоту 70455 кГц. Плоская вершина шириной 9 кГц и полоса пропускания 13 кГц (по уровню -3 дБ) получились идеально, и фильтр 6-го порядка будет годен для всех режимов приёма, вплоть до NBFM 12 кГц;

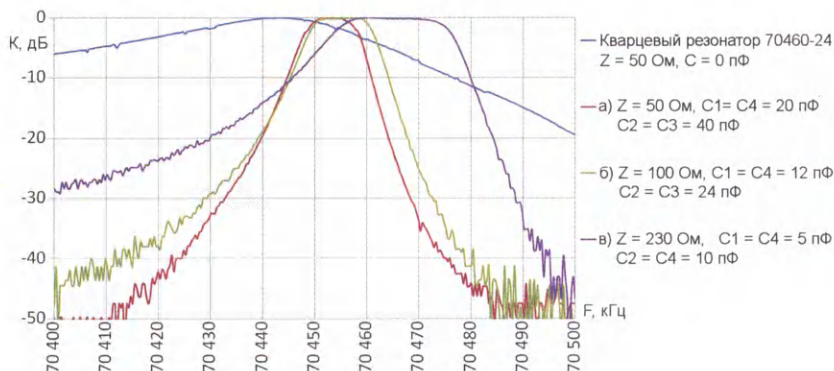


Рис. 1.4

— на частоте около 70 МГц построить лестничный фильтр (рис. 1.4,в) с высоким импедансом уже не так просто, поскольку сильно проявляются паразитная и ёмкость монтажа, а левый скат АЧХ становится пологим. При импедансе 230 Ом плоская вершина шириной 15 кГц и полоса пропускания 22 кГц — наверное, предел разумного. Центральная частота уже сместилась далеко (на 70461 кГц):

— для приёма SDR или NBFM (рис. 1.4,б) и с учётом технологического разброса стоило бы заказать кварцевые резонаторы 70459-24.

#### Общие вопросы реализации фильтров

В литературе можно найти схемы лестничных фильтров с указанием значений конденсаторов с точностью 0,1 %. Это всё верно для построения высококачественных SSB-фильтров на частоту около 4 МГц и с точностью 10 Гц. Но в нашем случае на этом не стоит сильно заикливаться, так как ёмкость монтажа на печатной плате легко достигает 1 пФ. Это при ёмкости конденсатора в фильтре 10...100 пФ, да и у самих резонаторов разброс параметров не менее 5 %. Поэтому на практике я использую подстроечные конденсаторы ёмкостью 5...20 или 6...30 пФ и подключаю параллельно с ними конденсатор постоянной ёмкости. Это снижает влияние нестабильности подстроечного конденсатора. Поэтому необходимую ёмкость каждого конденсатора надо "докрутить" с помощью измерителя АЧХ — без этого никак не обойтись.

При окончательном налаживании кварцевых фильтров с высоким импедансом без заземления их корпусов никак не обойтись. Рассматриваемые здесь фильтры благодаря их низкому импедансу не требуют при первых опытах такого действия. В реальном устройстве, конечно, это надо делать, чтобы достичь загряднения 80...100 дБ. Не рекомендуется пайка корпусов, так как это вызывает чрезмерный разогрев кристалла и может необратимо изменить его параметры. У изготовителя кварцевых резонаторов можно заказать металлические держатели и припаять их к общему проводу. Во избежание коротких замыканий на плате можно применить предлагаемые производителем резонаторов фторопластовые прокладки для корпуса UM-5.

Конечно, в фильтре желательно экранировать и катушки индуктивности. Обычный дроссель серии EC24 можно применить, если требуется загряднение не более 60 дБ. Малогабаритная качественная SMD-катушка индуктивности на керамическом каркасе типоразмера 0805 — отличный выбор для цепи согласования фильтра. Но, к сожалению, она не перестраиваемая. Поэтому относительная непредсказуемость импеданса фильтра потребует для налаживания иметь в запасе несколько номиналов катушек индуктивности с шагом 5 %.

#### Выбор параметров АЧХ фильтра

Кто уже имел положительный опыт с опциональными узкополосными гоофing-фильтрами для трансивера при приёме DX, наверняка потребует фильтр с меньшей полосой пропускания. Охотников за DX к этому горячему желанию потратить 300 долл. могут принудить два события:

— "сосед" работал в том же диапазоне и всё "заглушил";

— в обстановке pile-up в диапазоне  $\pm 5$  кГц слух "забивается кашей" от мощных радиостанций.

Но будет ли на самом деле решением всех проблем узкополосный гоофing-фильтр или это только таблетка от головной боли? Первый случай — самый плохой по одной причине — уровень сигнала превышает максимально допустимый, заложенный в конструкции РПУ. Можно предположить, что с помощью входного аттенюатора удалось уменьшить сигнал для нормальной работы первого смеси-



теля, и допустить, что он "выдаёт" частый спектр на кварцевый фильтр. Но это обеспечит качественный приём DX-сигнала? Совсем необязательно. Предположим, что размах сигнала вашего "соседа" на входе кварцевого фильтра импедансом 50 Ом — 1,4 В (это +7 дБмВт) и находится за полосой пропускания фильтра первой ПЧ с отстройкой на 20 кГц. Если ваша аппаратура не самого высокого класса, подавление за полосой пропускания 60 дБ можно считать реальным. В этом случае на выходе фильтра будет сигнал размахом 1,4 мВ (на 50 Ом). Поскольку вы пытаетесь принимать сигнал DX на фоне шума, следовательно, АРУ не действует.

После кварцевого фильтра установлен первый УПЧ, в который по старой доброй традиции и с хорошими намерениями разработчики поставили двухзатворный полевой транзистор. В цепи первого затвора обычно установлен LC-контур, который трансформирует выходное сопротивление фильтра 50 Ом в 1,8 кОм. Это увеличение напряжения в шесть раз, и сигнал "соседа" будет уже 9 мВ. УПЧ усилит его на 26 дБ, и на его выходе будет 180 мВ. Даже последующий диодный смеситель с входным трансформатором 6:1 "получит" 30 мВ, и ему будет не до чистого преобразования DX-сигнала. А если во втором смесителе применён узел на основе дифференциального усилителя (микросхема SA612 и аналогичные), то он уже зайдёт в режим ограничения. Итог такой — если бы кварцевый фильтр подавил сигнал "соседа" хотя бы на 80 дБ, то не мешал бы приёму. Иными словами, кварцевый фильтр должен за пределами полосы пропускания очень стремительно набрать затухание не менее 80 дБ. Большинство радиолюбительских РПУ наших дней этого не обеспечивает.

Надо отдавать себе отчёт, что даже самый дорогой фильтр на частоте 30...70 МГц не может обеспечить полноценную АЧХ для приёма SSB-сигналов, поскольку имеет закруглённую вершину и относительно пологие скаты. Фильтры с шириной полосы пропускания 3 (6) кГц по уровню -6 (-60) дБ на уровне -3 дБ имеют ширину полосы пропускания 1,5...2 кГц и нет у них плоской вершины. Поэтому они искажают спектр SSB-сигнала, что на слух воспринимается с некоторым раздражением. Зато с ними можно принимать слабые сигналы при отстройке на 5...10 кГц от мощных мешающих. Но стоимость таких фильтров — несколько сотен долларов. Не лучше ли за долю такой стоимости немного доработать фильтр, а главное, привести в порядок первый УПЧ и второй смеситель? Всё равно для качественного приёма CW вопрос не решается фильтром в первой ПЧ, это обеспечивается линейностью первого УПЧ и второго смесителя.

По поводу второго события. Ваш приёмник со своим современным первым смесителем имеет динамический диапазон (ДД) не менее 100 дБ, и это намного больше, чем ваш слух без напряжения может воспринимать часами. Рекламный ДД также не расскажет всю правду, он просто даст понять, когда результирующий сигнал от интермодуляционных искажений внеполосных сиг-

налов попадёт в канал приёма. Но "виновные" в этом сигналы могут быть расположены далеко за полосой пропускания (100 кГц и более), и хорошие цифры на IP<sub>3</sub> получить не так уж и сложно. В погоне за удобством для оператора все привыкли к АРУ, которое на выходе минимизирует ДД сигналов. Попутно за долгие годы разработчики РПУ "разленились" и стали предполагать, что схемы последних каскадов УПЧ можно упростить, заложить низкий ДД и в итоге сделать их дешевле. Нередко найдётся SSB-детектор (в TECSUN S-2000), который еле "справляется" с ДД самого SSB-сигнала (около 30 дБ). А тут вы пришли с желанием "разобрать" pile-up, в котором ДД сигналов составляет 60...100 дБ. То есть в тракте вашего РПУ в каждом последующем каскаде всё меньше и меньше запаса по воспроизведению эфирной динамики. Кто пользовался приёмником прямого преобразования без АРУ, вспомнит, наверное, насколько в нём всё было слышно прозрачно.

Отсюда можно сделать простой вывод — если хотим услышать в pile-up сигналы с ДД 60 дБ, все узлы РПУ (и УМЗЧ) должны этому соответствовать. Как ни странно, профессиональные радиоприёмники часто даже не рассчитаны на это, поскольку им важно принимать один сигнал в канале, обстановка pile-up для них не типична и даже не предусмотрена. Поэтому эти приёмники в заводском варианте — не обязательно хороший вариант для приёма радиолюбительского DX. Чаше всего надо сначала разобраться с малым запасом по ДД в последнем каскаде УПЧ и SSB-детекторе. Налаженный тракт приёмника (особенно второй смеситель) должен "справиться" с ДД сигналов в обстановке pile-up в полосе частот ±5...8 кГц. Только после налаживания его линейности во всех режимах есть обоснование разgrabить семейный бюджет для покупки roofing-фильтра. Не зря многие профессиональные приёмники нормируются по интермодуляционным искажениям в полосе пропускания второй ПЧ.

Кварцевый фильтр в первой ПЧ должен защитить приёмник от очень мощных сигналов и обеспечить большое подавление за полосой пропускания не менее 80, желательнее 100...120 дБ. Полоса пропускания по уровню -60...-80 дБ только определяет, насколько близко к соседям на частоте сможем работать. Современные первые гетеродины уже настолько мало шумят, что именно качество фильтров РПУ среднего класса определяет подавление внеполосных сигналов. Все остальные проблемы DX-приёма обусловлены нелинейностью узлов после этого фильтра. Поэтому сначала посмотрите, насколько на самом деле у вас есть "громкие соседи" и насколько экономно сделаны узлы приёмника за фильтром первой ПЧ.

При создании фильтров для высокой первой ПЧ KB-приёмника можно легко оказаться в ловушке привычного мышления, маркетинговых заявлений или не раскрытых секретов правильного налаживания. Традиционно при разговоре о фильтрах рассуждают о ширине полосы пропускания, которую указывают по

уровню -3...-10 дБ. Для данного класса фильтров в высококачественном приёмнике этот взгляд обманчив и не охватывает суть качественного приёма. Фильтр в первой ПЧ не должен в области спектра полезного сигнала повлиять на вид сквозной АЧХ. Поэтому целевой параметр для этого класса фильтров вовсе не ширина полосы пропускания по уровню -3...-10 дБ. Решающим параметром для качества приёма является ширина плоской вершины, чтобы во второй ПЧ или в DSP можно было без искажений обработать сигнал и извлечь из него всю информацию (а это разборчивость речевого сигнала). В этом случае ширину полосы пропускания по уровню -3...-10 дБ прогнозировать сложно, она получится на 3...7 кГц больше. Насколько критично фактическое отклонение ширины плоской вершины АЧХ кварцевого фильтра для первой ПЧ от требуемого? Допустим, что вместо 10 получено 12 кГц. На практике в этом нет ничего страшного, если вы "подтянули" усилитель первой ПЧ и второй смеситель до IP<sub>3</sub> 0 дБм для сигнала на выходе первого фильтра.

Узкополосный roofing-фильтр только смягчит (но не решит) проблему плохой защиты последующего УПЧ и второго смесителя от мощных сигналов вблизи частоты приёма. Если бы эти узлы были сделаны с необходимым ДД на уровне параметров первого смесителя, то полоса пропускания фильтра первой ПЧ играла бы совсем незначительную роль. Построенные по такому принципу профессиональные РПУ (P-324, P-399, P-309) в некоторых версиях в первой ПЧ имеют полосу пропускания 100 кГц для реализации режима панорамного обзора. И ничего страшного в этом нет (если всё правильно налажено). Положительным примером из класса бытовых приёмников можно назвать SANGEAN 909, у которого тракт до выхода второго смесителя сделан с не убывающим ДД. Его владельцы это быстро оценят на практике DX-приёме. Неудачным в этом плане является трансивер IC-7600 (и не только он), в его приёмнике до второго смесителя (простой диодный) "набирается" слишком большое усиление (около 33 дБ), а скаты фильтров не очень крутые. Поэтому IP<sub>3</sub> внутри полосы первой ПЧ принимает "плачевные" значения.

В итоге радиолюбительская правда лежит где-то посередине, поэтому на фильтр первой ПЧ надо возложить следующие основные и, главное, решаемые задачи:

1. Для всех видов приёма фильтр не должен искажать АЧХ канальных фильтров второй ПЧ (или DSP), иметь в полосе полезного спектра плоскую вершину и гладкую ФЧХ.

2. Для качественного приёма ЧМ и цифровых сигналов АЧХ должна быть дугообразной с линейной ФЧХ. Есть смысл в РПУ иметь отдельный фильтр для этого.

3. Если второй гетеродин перестраиваемый, то диапазон его перестройки надо добавить к ширине плоской вершины фильтра, иначе при крайних настройках спектр полезного сигнала будет "обрезан".

4. Чтобы учесть интервал рабочих температур и процесс старения, надо заложить запас по ширине полосы пропускания до 1 кГц.

5. За пределами плоской вершины АЧХ фильтр должен иметь крутые скаты (защита от "громкого соседа"). С 2010 г. в большинстве случаев изготовители радиоловительских РПУ устанавливают фильтры четвёртого порядка. Коэффициент прямоугольности по уровням -6 и -60 дБ у них не менее трёх и не обязательно решит проблему.

6. Если в приёмнике предусмотрена система подавления импульсных помех, слишком узкий фильтр первой ПЧ мешает её работе. Рекомендуется по уровню -6 дБ заложить не менее чем трёхкратную полосу пропускания по сравнению с полосой полезного сигнала, чтобы сработало амплитудно-временное разделение помех и сигнала.

7. Хороший фильтр в первой ПЧ отвечает ещё за важный параметр — самую нижнюю частоту приёма. То, что в радиоприёмнике Р-399 диапазон ограничен частотой 1 МГц, говорит о многом.

8. Полоса пропускания зависит от центральной частоты фильтра, и если на частоте 35 МГц можно реализовать фильтры для приёма АМ или SDR, то с фильтрами на частоту 70 МГц только можно решить "глобальные" проблемы приёма в КВ-диапазоне.

Если подытожить сказанное, получается, что узкий фильтр в первой ПЧ вроде бы очень привлекателен, и в то же время не так уж сильно должен себя проявить. Выбор разумного компромисса останется за разработчиком, в элитном варианте применяют переключаемые фильтры.

Во второй части рассмотрим практические примеры кварцевых фильтров и особенности их разработки и налаживания, а также приведём сведения о параметрах кварцевых резонаторов для их заказа.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Лохни Х.** Доработка радиоприёмника TECSUN S-2000. Часть 10. — Радио, 2015, № 6, с. 21—28.

2. **Лохни Х.** Доработка радиоприёмника TECSUN S-2000. Часть 11. — Радио, 2015, № 7, с. 18—25.

3. **Жалнераускас В.** Кварцевые фильтры на одинаковых резонаторах. — Радио, 1982, № 1, с. 18—21; № 2, с. 20—21.

(Продолжение следует)



**Автор предлагает вниманию читателей два варианта источника питания для светодиодных светильников (их ещё называют LED-драйверами), один из них — второй — по многим параметрам можно отнести к источникам высокого класса (премиум-класса).**

За последние несколько лет светодиод стал, без сомнения, самым популярным источником света, всё активнее вытесняя прочие виды. Так, если раньше светодиод ассоциировался с индикаторным прибором и был знаком в основном техническим специалистам, то в наши дни, слово это стало обиходным и чуть ли не синонимом обыкновенной лампы накаливания. И в этом нет ничего удивительного, ведь как только современные технологии позволили получить и запустить в массовое производство светодиоды белого свечения со светоотдачей более 100 лм/Вт, что более чем в десять раз превышает показатель лампы накаливания и в два-три раза компактной люминесцентной лампы, вопрос экономии энергоресурсов получил новое решение. Чем и не преминули воспользоваться разработчики и производители осветительных приборов во всём мире, с невероятной скоростью заполняя рынок светодиодными "аналогами" всех существующих видов ламп и светильников. К тому же светодиоды, в силу своей высокой технологичности и надёжности, малых габаритов и пр., позволяют создавать источники света самых разнообразных форм, размеров, конструкций и назначения, предлагая всё новые экономичные решения. И одна из самых массовых областей применения светодиодного освещения —

это офисные потолочные светильники мощностью в пределах, приблизительно, от 18 до 48 Вт. Ими сейчас оснащают как новые строящиеся объекты, так и существующие, заменяя парк устаревших люминесцентных светильников.

Любой светодиодный светильник можно условно разделить на две составляющие: собственно светодиоды и источник питания — источник стабилизированного тока, часто называемый драйвером, LED-driver (англ.) для них. Обе они в равной степени определяют технические характеристики, качество и цену светильника. Если же светодиод определяет световой поток и цветовую температуру, то от его источника питания зависят не менее важные параметры, такие как коэффициент пульсаций светового потока, коэффициент потребляемой мощности и пр. Да и надёжность светодиодного светильника в основном определяется надёжностью его источника питания. Сейчас на рынке представлен широчайший ассортимент как готовых светильников, так и светодиодных модулей и источников питания для них по отдельности. Проведя сравнительный анализ нескольких десятков моделей источников питания мощностью до 50 Вт (управляемые и с функцией регулирования — диммирования — не рассматривались) от различных производителей, в том числе и отечественных, был составлен

обобщённый перечень основных параметров, которыми должен обладать высококачественный LED-драйвер, который можно отнести к премиум-классу:

- гальваническая развязка нагрузки (светодиодов) и сети питания;
- коэффициент пульсаций светового потока — не более 1 %;
- коэффициент потребляемой мощности — не менее 0,95;
- нестабильность выходного тока во всём интервале входного напряжения питания — не более 1 %;
- интервал входного питающего напряжения — 90...265 В;
- комплекс защитных функций: защита холостого хода, защита от перегрузок, защита от замыкания нагрузки и пр.;
- возможность подстройки выходного тока (плавная или ступенчатая).

В этой статье хотелось бы поделиться некоторым опытом разработки источника питания, удовлетворяющего перечисленным требованиям, а также привести пример простой переделки старого светильника с люминесцентными лампами в светодиодный. Интервал выходного напряжения выбран в пределах 60...120 В. Интервал регулировки выходного тока — в пределах 240...350 мА, что обеспечивает возможность подключения большинства распространённых светодиодных линеек.

Вариантов схемотехнических решений для решения подобной задачи может быть много. Но наиболее распространённым и очевидным здесь представляется обратноточный преобразователь с гальванической развязкой (в иностранной литературе носящий название fly-back). Существует



имеются все необходимые разрешительные документы и лицензии (источник — URL: <http://www.vsluh.ru/news/society/306948> (21.06.16)).

**УДМУРТИЯ.** 10 июня филиал РТРС "Удмуртский РРТПЦ" начал трансляцию радиостанции "Радио России" в пос. Балезино. Частота вещания — 96,3 МГц.

**ХАБАРОВСК.** К сети регионального вещания радиостанции "Energy" присоединился г. Хабаровск. Он стал 86-м городом (не считая Москвы) в сети. Всего же в зоне уверенного приёма сигнала радиостанции расположены 430 городов России. В Хабаровске станцию можно услышать на частоте 91 МГц (источник — URL: <http://vkpm.ru/?an=news-page&uid=103621> (21.06.16)).

#### ЗАРУБЕЖНЫЕ РАДИОСТАНЦИИ

**КАНАДА.** Религиозная организация "Bible Voice Broadcasting" (BVB) в конце мая без объявлений прекрати-

ла трансляции программ на русском и украинском языках, выходявших ранее в эфир на частоте 6130 кГц.

**СИРИЯ.** Передачи Русской службы "Радио Дамаск" с неплохим качеством можно слушать в сети по следующему адресу <<http://82.137.248.20:1935/RCham/RChamLive/playlist.m3u8>>. По воскресеньям нерегулярно транслируются выпуски программы по письмам "Мы и слушатели". Сайт радиостанции находится по адресу <http://www.syriaonline.sy/radio.php>, здесь выкладываются записи передач за неделю.

**США.** Цитата: "С 26 июня Русская служба "Радио Свобода" прекращает радиовещание в диапазоне коротких волн. Круглосуточное вещание сохраняется на Интернет-сайте "Радио Свобода". С 00 до 06 и с 21 до 22 часов по московскому времени программы Русской службы можно слушать на средних волнах на частоте 1386 кГц также круглосуточно через спутники "Hot Bird" и "AsiaSat" (источник — URL: <http://www.svoboda.org/content/article/27769319.html> (21.06.16)).

Напомним, что впервые Русская служба этой станции появилась в эфире 1 марта 1953 г. под названием "Радио Освобождение".

Объявляемое вещание на частоте 1386 кГц ведётся с использованием передатчика мощностью 75 кВт, находящегося в Ситкунае (Sitkunai), Литва (которое с большой натяжкой можно полноценно слушать в близлежащей округе).

Между тем как-то тихо и незаметно прошло другое событие: как сообщает сайт "Tuapse Press" (<http://tuapsepress.com/full.php?id=773>), 31 мая без объявлений прекращены трансляции станции на коротких волнах на черкесском и аварском языках. В эфире от бывлой Северокавказской службы "Свобода" осталось только ежедневное 20-минутное вещание на чеченском языке. Причина закрытия указанных служб на сегодняшний день остаётся неизвестной.

**Хорошего приёма и 73!**

## Кварцевые лестничные фильтры на частоту 30...70 МГц. Часть 2

**ХАЙО ЛОХНИ, Германия/Россия, г. Гай Оренбургской обл.**

Во время многочисленных экспериментов я столкнулся с разным качеством кварцевых резонаторов и пришёл к выводу, что фильтр на трёх резонаторах может дать достаточно полную картину о том, что можно реализовать с приобретёнными резонаторами, а что останется мечтой. Основное отличие этого фильтра — простота реализации, и к этому он уже даст результат, который отчасти может быть лучше, чем избирательность фильтров первой ПЧ в РПУ ценовой категории до 1000 долл. Во второй части статьи рассмотрим этапы реализации фильтров и установок их в аппаратуру.

#### Подготовка

Для первых экспериментов, а также для простых проектов "на выходной день" предлагается схема на трёх кварцевых резонаторах (*рис. 2.1 на 3-й с. обложки*). Пример показан на резонаторах 55845-24, но это не принципиально, и вы сможете уже проработать свой проект на другой частоте. Порядок действий при этом тот же. Заказ на сайте [www.quartz1.com](http://www.quartz1.com) обрабатывается в течение месяца. Для реальных проектов рекомендую заказывать на один резонатор больше, чтобы иметь возможность их подбора по вторичным параметрам. Приобретённые мной резонаторы были среднего качества, и надо оценить результаты их применения.

Продолжение.

Начало см. в "Радио", 2016, № 7

В схеме фильтра показано много отдельных конденсаторов, которые потом в конечной конструкции объединяются, и в итоге будут "работать" всего четыре штуки. С помощью элементов С6, L2 и С7 можно установить симметрию АЧХ. Элементами L1, C1 и C12, L3 обеспечивают согласование фильтра для подключения измерительных приборов с импедансом 50 Ом.

Я даже поленился сделать "настоящую" плату и разместил все элементы на отрезке фольгированного стеклотекстолита (*рис. 2.2 на 3-й с. обложки*). Но этот узел тем не менее обеспечивает основные требования, предъявляемые к макетным платам. В первую очередь, это практически идеальный общий провод большой площади, а также короткие соединительные провода. Для быстрого макетирования для кварцевых резонаторов применены гнезда. Особо важным моментом оказался выбор подстроечных конденсаторов. Они должны иметь три вывода (два соединены со статором), которые припаивают "треугольником", чтобы они не сломались при частом вращении их оси. Кроме того, качество исполнения ротора должно быть хорошим, чтобы контакт не нарушался после нескольких десятков вращений.

Ещё один важный момент. Любой соединительный кабель имеет не идеальные параметры. В нашем случае основным мешающим фактором является его паразитная ёмкость в случае не идеального согласования на значе-

ние более 50 Ом, в этом случае АЧХ смакетированного фильтра искажается. Поэтому для повышения точности измерений в этом случае рекомендую подключать макетную плату непосредственно к измерительному прибору. Если это невозможно, на входе или выходе фильтра следует установить аттенюатор 3...10 дБ (50 Ом) (*рис. 2.3 на 3-й с. обложки*). Такой аттенюатор можно сделать из выводных резисторов С2-10, МЛТ.

Для проведения измерений параметров кварцевых резонаторов и АЧХ фильтров можно использовать приборы, описание которых приведены в [1, 2]. При этом детектор с идеально логарифмической характеристикой можно собрать на микросхемах AD8307, AD8310.

#### Входной контроль кварцевых резонаторов

Производство кварцевых резонаторов на частоту 30...100 МГц достаточно сложное, и не все изделия, которые прекрасно работают в генераторе, могут быть пригодны для фильтров из-за дефектов их АЧХ. По результатам моих экспериментов около 2 % резонаторов для фильтров не подходят. Фильтры, собранные "на скорую руку" без учёта вторичных параметров, редко имеют привлекательные характеристики. Поэтому предлагается процедура измерения вторичных параметров. Позднее, используя эти параметры, можно значительно повысить качество фильтра. В зависимости от задачи резонаторы можно группировать преимущественно по совпадению  $F_{\text{пос}}$  или по паразитным резонансам.

#### Проверка вторичных параметров кварцевого резонатора

Определение  $F_{\text{пос}}$  и сопоставления на этой частоте  $R_{\text{пос}}$  целесообразно при создании узкополосных фильтров, когда центральная частота фильтра  $F_{\text{ф}}$



близка к  $F_{\text{noc}}$ , а импеданс фильтра низкий (до 50 Ом). Разница по  $F_{\text{noc}}$  между резонаторами менее 500 Гц даст практически идеальный результат, расхождение до 1,5 кГц можно считать допустимым, а если она более 3 кГц — возникают проблемы в фильтрах на четырёх и более резонаторах, будет заметна неравномерность АЧХ в полосе пропускания. При большем расхождении резонаторы можно не браковать, а лучше поставить более "высоочастотные" по краям фильтра и там с помощью конденсаторов настроить до требуемого значения. Это улучшит прямоугольность и заграждение за полосой пропускания.

Измерения проводят по схеме, показанной на **рис. 2.4, а на 3-й с. обложки**. В точке подключения резонатора присутствует импеданс 25 Ом. Кварцевые резонаторы имеют при резонансе сопротивление 4...25 Ом, и поэтому можно не только измерить  $F_{\text{noc}}$ , но ещё и  $R_{\text{noc}}$ , измерив напряжение на резонаторе. Подключив генератор напрямую к измерительному прибору, измеряют напряжения  $U_1$  на нагрузке. Подключают кварцевый резонатор и настраивают генератор на частоту  $F_{\text{noc}}$  по минимуму напряжения и фиксируют его второе значение —  $U_2$ . Затем определяют по формуле резонансное сопротивление:  $R_{\text{noc}} = 25/(U_1/U_2 - 1)$ .

## Паразитные резонансы

Если импеданс фильтра более 100 Ом, паразитные резонансы могут проявить себя в значительной мере. Они не влияют на АЧХ в полосе пропускания, но при неудачном совпадении даже в фильтре на четырёх резонаторах можно получить паразитные полосы пропускания по уровню 24 дБ. Результат работы быстрого макетирования фильтра на трёх резонаторах можно оценить на **рис. 2.5 на 3-й с. обложки**. Видно, что образовались две "лазейки" на уровне -26 дБ, хотя общее заграждение получилось не хуже -50 дБ.

Так как в первом смесителе происходит инверсия частоты, РГУ с таким фильтром будет уязвим для помех, отстоящих на 160 и 400 кГц ниже частоты приёма. Например, при работе на диапазоне 30 или 20 м на слабый DX могут "наехать" мощные станции из диапазона 31 или 22 м. А по лазейке "+160 кГц" даже сигналы от местных радилюбителей могут помешать принять DX, поскольку нарушается нормальная работа первого УПЧ или второго смесителя.

Так как в процессе производства проводится подгонка частоты резонанса, у кварцевого резонатора образуются отклонения от идеальной формы и возникают некоторые дополнительные (паразитные) резонансы. Изготовители могут на заказ изготавливать резонаторы для фильтров практически без таких дефектов, но это требует хорошего качества кристалла и изначального попадания в "точку" при производстве. Поэтому такие резонаторы в разы дороже простых генераторных. В рамках создания макетного фильтра проведены измерения десяти кварцевых резонаторов из одной партии 55845-24. Схема проверки совсем простая — резонатор напрямую (без кабелей) подключают к измерителю АЧХ (50 Ом) (см. рис. 2.4,б).

Резонатор с условным номером № 7 для фильтра оказался непригоден. Его частотные характеристики (ЧХ): АЧХ и ФЧХ показаны на **рис. 2.6 на 3-й с. обложки**. У него два практически одинаково выраженных резонанса на частоте 55835 и 56005 кГц. Из всех приобретенных за последние два года 200 резонаторов он единственный забракованный. В схеме генератора он уверенно работает на частоте 55845 кГц, поэтому производственная задача была решена, но в фильтрах его лучше не применять.

Резонатор № 1 имеет типичное среднее качество (**рис. 2.7**) в партии. Как позже выяснилось, это вполне достаточно для реализации хороших фильтров, и 85 % резонаторов имеют качество не хуже.

Резонатор № 4 оказался наилучшим в партии; по моей статистике, примерно 5 % изделий имеют подобное качество (**рис. 2.8**). Для сравнения приведу пример резонатора хорошего качества (**рис. 2.9**) из ранее купленной партии, в которой все резонаторы были одинаковыми и резонансы группировались вблизи частот 56200 и 56070 кГц. У этих резонаторов на частоте  $F_{\text{noc}}$  очень малое затухание, соответствующее сопротивле-

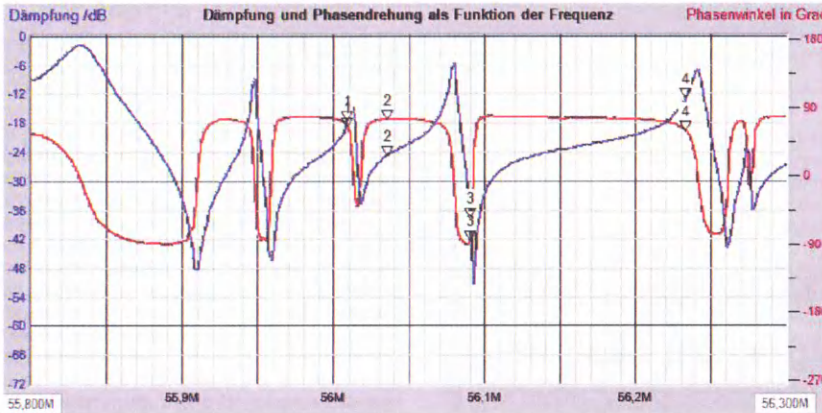


Рис. 2.7

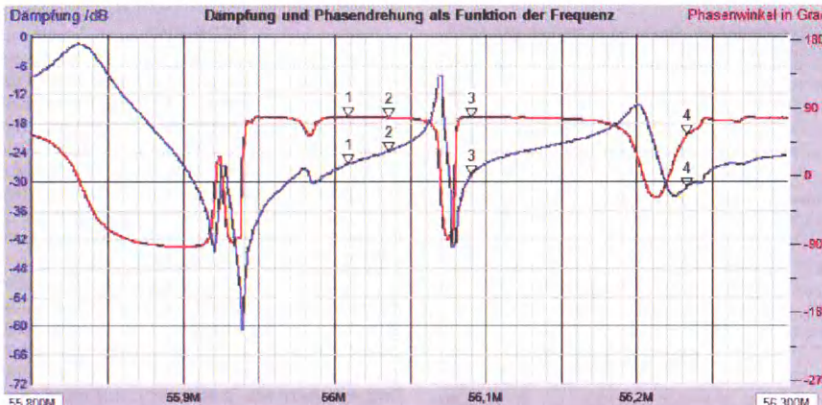


Рис. 2.8

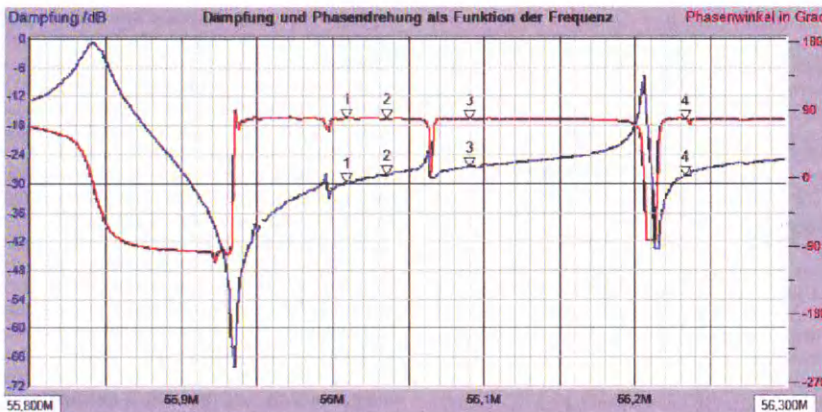


Рис. 2.9



лению около 3 Ом! Из них можно сделать восьмirezонаторный фильтр.

### Группировка резонаторов

Если планируется реализовать фильтр с импедансом до 50 Ом, то он будет узкополосным, и сначала надо сгруппировать резонаторы по  $F_{\text{ноч}}$  и при возможности выбора отложить самые "крайние" в отдельную группу. При сравнении АЧХ резонаторов видно, что паразитные резонансы не обязательно совпадают по частоте. Если подбирать в фильтр резонаторы с отличающимися друг от друга паразитными резонанса-

ми, то в итоге можно получить их большое подавление.

Для процесса подборки надо составить таблицу, в которую заносят частоты резонансов для каждого резонатора до уровня, превышающего  $-18$  дБ. В среднем это по 2...5 резонансов. Оказалось, что в одной партии эти резонансы в основном группируются на частотах, отличающихся на  $\pm 5$  кГц друг от друга, но есть экземпляры, которые "поют отдельную песню".

Получится хороший вариант, если сгруппировать резонаторы по три штуки, при этом у двух из них побочные резонансы могут совпадать, а у третьего — нет.

Таким образом, из исследуемой партии из десяти резонаторов получилось три комплекта, на каждом из которых можно реализовать фильтр с неплохими параметрами (рис. 2.10) и подавлением паразитных резонансов не менее 40 дБ. Один резонатор остался в запасе.

Из двух таких тщательно составленных комплектов можно сделать фильтр на шести резонаторах с подавлением за полосой пропускания не менее 80 дБ. Реально достижимое подавление — 90...100 дБ. Не все профессиональные приёмники имеют такой фильтр (например, в РГУ EKD300 подавление фильтра MQF70.2-1600 за полосой пропускания  $-68$  дБ).

### Налаживание АЧХ фильтра

Если в начале много неопределённости и мало опыта, рекомендуется начинать замеры АЧХ фильтров при импедансе 100 Ом. Это — "золотая середина", и ни один из параметров не уйдёт в крайнее положение. Суммарная ёмкость двух конденсаторов (среднее значение) по краям фильтра (см. рис. 2.1) — около 20 пФ, а в середине — 40 пФ. Элементы С6, С7, L2 пока не устанавливаются. Можно обойтись даже без аттенуатора, если кабель короткий. Резисторы  $R_{\text{вх}}$  и  $R_{\text{вых}}$  (С2-10, МЛТ) — по 51 Ом. Сначала соединяют резисторы R1 и R2 напрямую (без фильтра), в результате получим базовое затухание  $-6$  дБ, а фильтр к этому добавит уже своё.

### Центральная частота и плоская вершина

На начальном этапе налаживания используют только резистивное согласование, поэтому при большом импедансе базовое затухание в полосе пропускания может достигать 20 дБ. Цель первого этапа — добиться требуемой центральной частоты и вершины нужной формы (плоской либо дугообразной). Только после этого позаботимся об измерении других параметров.

Подборкой резисторов R1 и R2 добиваемся импеданса, при котором получается запланированное положение центральной частоты  $F_c$ . Следует отметить, что средние конденсаторы сильнее влияют на "растяжку" полосы пропускания в правую сторону, а крайние — выравнивают вершину. Поэтому все подстроечные конденсаторы надо подстраивать всегда в паре и небольшими "шагами" до лучшего промежуточного результата, потом покрутить другую пару и затем подкорректировать резисторы. При правильной настройке положение движков подстроечных конденсаторов в каждой паре должно быть одинаковым. Ёмкость крайних конденсаторов должна быть примерно в два раза меньше ёмкости средних.

При завершении работ фильтр был настроен на номинальную частоту 55845 кГц и с плоской вершиной (рис. 2.11), и получился импеданс 150 Ом, т. е.  $R1 = R2 = 100$  Ом и базовое затухание (в обход фильтра) стало 9,5 дБ. Общее затухание — 12,2 дБ, собственное затухание фильтра — 2,7 дБ, что нормально для резонаторов среднего качества.

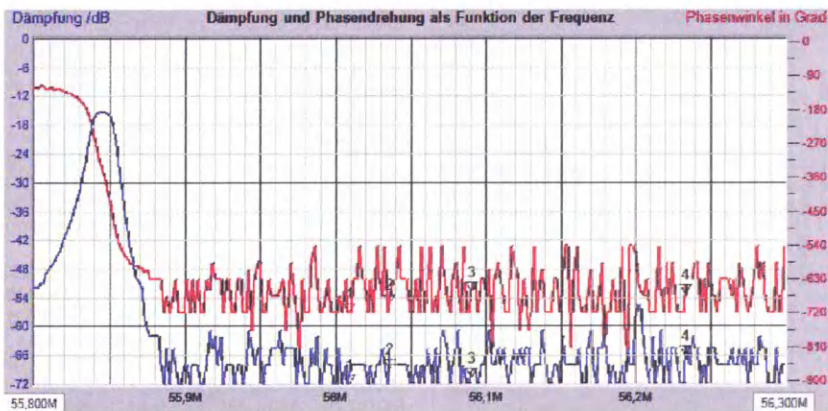


Рис. 2.10

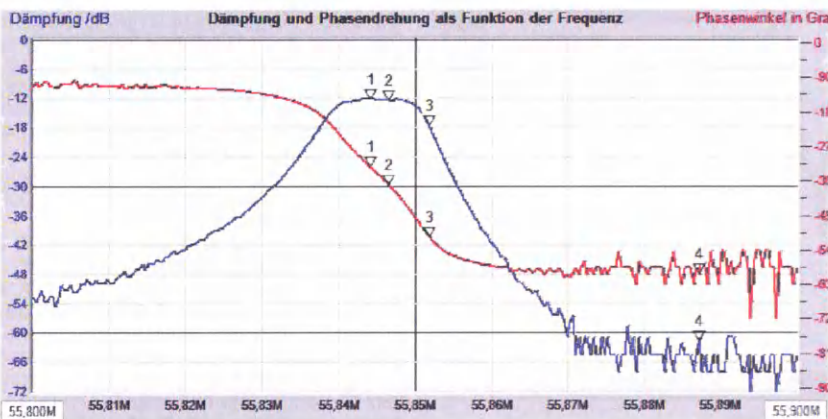


Рис. 2.11

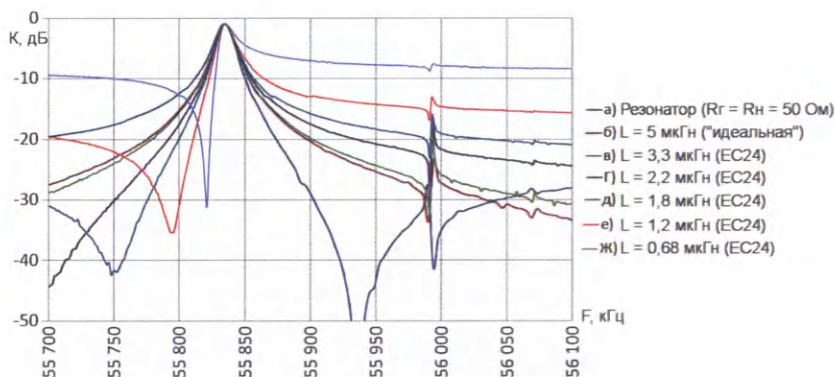


Рис. 2.12

Второй этап налаживания фильтра — устранить несимметричность скатов АЧХ фильтра. Теоретически для этого надо параллельно к каждому из резонаторов подключить катушку индуктивности, которая с учётом своей паразитной ёмкости и ёмкости электродов кварца образует резонансный контур на центральной частоте фильтра. В лестничном фильтре такое схемное решение привело бы к появлению паразитного ФНЧ с частотой среза в средней части КВ-диапазона, что нежелательно. На практике оказалось, что для трёхрезонаторного фильтра достаточно подключить катушку индуктивности параллельно всего лишь к одному из резонаторов. Но тогда индуктивность надо выбрать меньше требуемого значения и приблизить полюс затухания к низкочастотной стороне ската АЧХ. На рис. 2.12 показаны АЧХ одного кварцевого резонатора с подключёнными параллельно различными катушками индуктивности (включён с соответствии с рис. 2.4,б).

Идеальная компенсация с полной симметрией получилась с катушкой

серии ЕС24). Но так как она "перекомпенсирует" средний резонатор, пришлось для восстановления плоской вершины АЧХ установить конденсаторы  $C_6 = C_7 = 15$  пФ, а также немного подкорректировать ёмкость конденсаторов  $C_1$  и  $C_4$ . Импеданс фильтра и  $F_\phi$  практически не изменились. На частоте 35(70) МГц можно начать подборку катушки индуктивности  $L_2$  со значения 3,3 (0,68) мкГн. В итоге АЧХ получилась, как показано на рис. 2.13.

В данном примере "на скорую руку" АЧХ получилась не совсем идеальная, так как не применялся аттенюатор, катушка индуктивности не экранирована, конденсаторы выводные. На печатной плате с применением элементов для поверхностного монтажа всё будет практически идеально, и АЧХ будет почти симметричная и практически с плоской вершиной.

### Согласование фильтра

Кварцевый фильтр должен работать в режиме согласования, чтобы не "испортить" АЧХ, а также обеспечить минимальное затухание и низкий уровень шума РПУ. Так как в результате

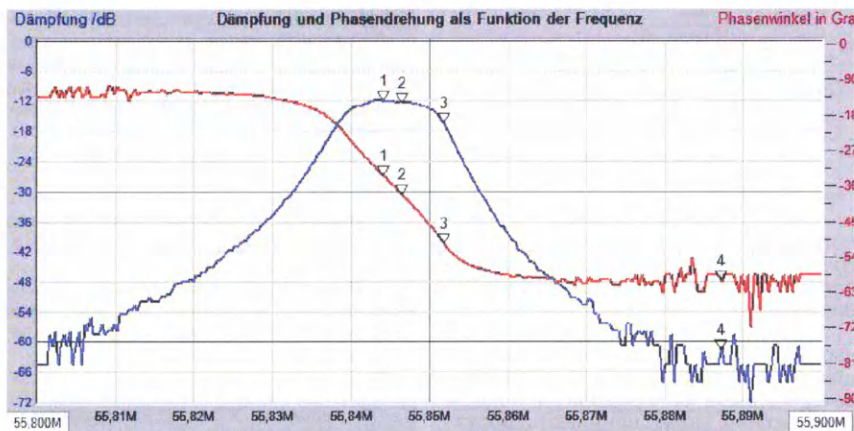


Рис. 2.13

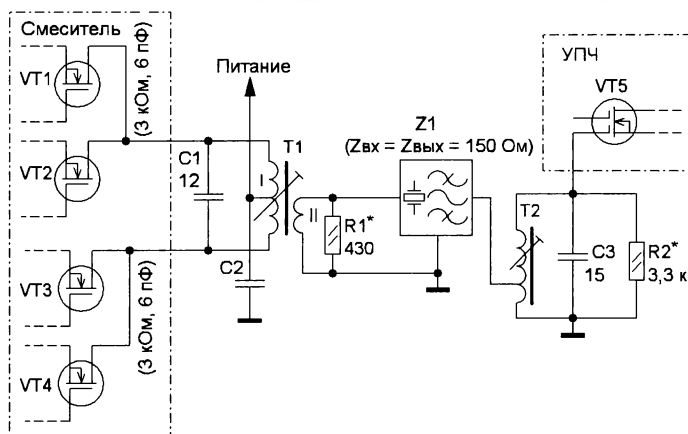


Рис. 2.14

индуктивности 3,3 мкГн (кривая в на рис. 2.12), но это для одного кварца. В фильтре на частоту 55845 кГц (см. рис. 2.1) оптимальный результат получился при  $L_2 = 1,5$  мкГн (дроссель

налаживания импеданс фильтра получается как "случайное" значение, он придётся стыковать с уже существующими узлами, установленными до и после него.

В радиолюбительских, а также во многих профессиональных РПУ можно найти тракты с применением полевых транзисторов по старым добрым схемам из 80-х годов прошлого века. Также вероятно, что ваш проект модернизации касается РПУ не самого нового выпуска, поэтому уделим этому типичному варианту из "классики" особое внимание.

На частоте 30...70 МГц входное сопротивление полевого транзистора — 3...30 кОм, что на порядок больше импеданса лестничного фильтра, и прямое подключение привело бы к высокому коэффициенту шума ( $K_{ш}$ ). Самый удобный вариант реализации — резонансный трансформатор, типовая схема с таким согласованием показана на рис. 2.14.

Выходное сопротивление современных маломощных полевых транзисторов на частотах до 100 МГц находится в интервале 3...10 кОм, выходная ёмкость — около 3 пФ. В этом диапазоне частот не трудно реализовать колебательный контур собственной добротностью 50, и с этими предположениями будем проводить расчёт.

Смеситель вносит в контур на трансформаторе  $T_1$  суммарное сопротивление около 6 кОм и ёмкостью 3 пФ. Индуктивность первичной обмотки (контурной) трансформатора — 0,53 мкГн, и для резонанса на частоте 55,9 МГц потребуется ёмкость контурного конденсатора 15 пФ. Соответственно  $C_1 = 15 - 3 = 12$  пФ. С предполагаемой добротностью 50 резонансное сопротивление контура — около 9,5 кОм, которое с учётом выходного сопротивления полевых транзисторов (6 кОм в сумме) уменьшится до 3,6 кОм. При коэффициенте передачи трансформатора  $T_1$  8:2 на выходе к кварцевому фильтру получается импеданс около 230 Ом. С помощью резистора  $R_1 = 430$  Ом получим 150 Ом для получения требуемой формы АЧХ. Конечно, лучше было бы "работать" с фильтром с импедансом 230 Ом или изменить соотношение витков трансформатора и так "выйти" на 150 Ом. При создании резонансных трансформаторов на частотах 30...70 МГц существует проблема, суть которой в том, что малое число витков резко ограничивает число вариантов коэффициента передачи, и "подгонка" с помощью резистора становится необходимостью. Для получения высокого КПД трансформатора не рекомендуется применять обмотку менее чем два полных витка.

На выходе кварцевого фильтра контур на основе автотрансформатора  $T_2$  преобразует импеданс также в 16 раз, и для получения требуемого фильтру импеданса (150 Ом) входное сопротивление первого каскада УПЧ на полевом транзисторе должно быть 2,4 кОм. Поскольку резонансное сопротивление контура 9,5 кОм, резистор  $R_2$  (3,3 кОм) уменьшает его до 2,4 кОм. В этом резисторе "сжигается" значительная доля энергии сигнала, от чего ухудшается  $K_{ш}$  приёмника и требуется лишнее усиление до фильтра.



Одно из самых распространённых значений входных и выходных сопротивлений узлов — 50 Ом, поэтому рассмотрим способ согласования нашего фильтра с такими узлами. Трансформацию на 50 Ом очень удобно осуществить Г-образными LC-цепями в соответствии с рис. 2.15. Удобны они тем, что нагруженная добротность LC-контура получается небольшой, обычно не более пяти, поэтому можно обойтись элементами с разбросом параметров 5 % и без дополнительной подстройки.

В публикациях часто даются неоднозначные разъяснения, перемешиваются понятия. Надо знать, что главное для кварцевого фильтра — АЧХ правильной формы для оптимальной обработки спектра сигнала и ожидаемых помех, а всё остальное уже имеет вторичное значение. Для этого фильтр должен

В некоторых случаях такого подключения можно убрать резистор на входе последующего каскада и выиграть 6 дБ. Но как только мы установим полосовой фильтр, надо поставить этот резистор, в котором "сжигается" часть сигнальной энергии. Поэтому в трактах с фильтрами имеется некоторое "скрытое" затухание, обусловленное этими резисторами, которое часто забывают учитывать при расчёте шумовых свойств РПУ. Затухание сигнала между входом и выходом — это одна часть правды, к которой надо ещё добавить влияние элементов принудительного согласования в составе всего устройства. Классическая ошибка — это считать, что смеситель нагружен только на коллекторный (источковый) резистор. На самом деле к этому резистору ещё добавляется фильтр в

ний источника сигнала или нагрузки в требуемые для фильтра значения. Обратите внимание, что элементы согласования подключают дополнительно к фильтру. Ранее подобранные конденсаторы уже не трогают, они работают в составе фильтра. На практике, конечно, можно в очень небольших пределах с помощью этих конденсаторов корректировать форму АЧХ. Это может понадобиться при использовании в цепи согласования элементов с допуском 2...5 %.

LC-узел согласования добавит ещё 0,2...1 дБ затухания, особенно при большом перепаде импедансов. Использование качественных катушек индуктивности с добротностью не менее 100 в данном случае не роскошь, а необходимость.

На сайте журнала выложен простой excel-калькулятор для расчёта элементов Г-образной цепи согласования. Моему фильтру для согласования на 50 Ом потребовались  $L1 = L2 = 0,2$  мкГн и  $C1 = C2 = 27$  пФ. Я установил катушку индуктивностью 0,22 мкГн и конденсатор ёмкостью 27 пФ. В результате получилось общее затухание — 3,2 дБ, в том числе затухание самого фильтра — 2,7 дБ.

В третьей части рассмотрим конкретные примеры реализации фильтров для их установки в разные РПУ и дадим информацию для развития собственных проектов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лохни Х. Доработка радиоприёмника TECSUN S-2000. Часть 4. — Радио, 2014, № 12, с. 11—16.

2. Лохни Х. Двухканальный узкополосный ГУН для настройки АЧХ кварцевых фильтров. — Радио, 2016, № 4, с. 21—24; № 5, с. 19—24.

От редакции. Упомянутая программа и дополнительная информация имеются по адресу <ftp://ftp.radio.ru/pub/2016/08/Filtr.zip> на нашем FTP-сервере.

(Продолжение следует)

#### МОДУЛЬНАЯ РЕКЛАМА

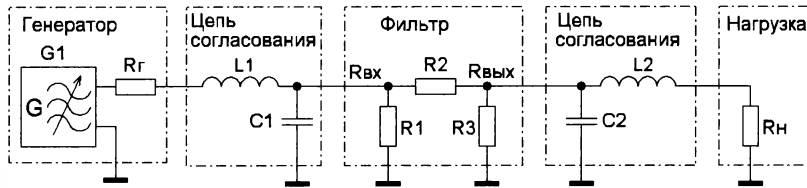
##### Радиодетали — почтой

##### SEM0040 — Отладочные платы ARM Cortex-M0+ 32-bit.

- UART-загрузчик для программирования;
  - Низкое энергопотребление;
  - Низкое напряжение питания;
  - 32-разрядный контроллер;
  - Высокая производительность;
  - Большой объём Flash и SRAM;
- Отгрузка в течение 1-2 рабочих дней!

Доставка по всей России.

Магазин электронных модулей — [www.ekits.ru](http://www.ekits.ru)



Условия согласования:  $R_g < R_{vx}$ ,  $R_n < R_{vux}$

$$X_{L1} = \sqrt{R_{vx} R_g - R_g^2}, \quad X_{L2} = \sqrt{R_{vux} R_n - R_n^2}, \quad X_{C1} = \frac{R_{vx} R_g}{X_{L1}}, \quad X_{C2} = \frac{R_{vux} R_n}{X_{L2}}$$

$$C = \frac{1}{2\pi F \Phi X_c}, \quad L = \frac{X_L}{2\pi F \Phi}$$

Рис. 2.15

быть нагружен на определённые сопротивления подключённых к нему узлов. Моему фильтру требуется 150 Ом без реактивной составляющей. Но это вовсе не означает, что сам фильтр имеет такой импеданс!

У идеального фильтра эквивалентные сопротивления имеют значения  $R1 = R3 = \infty$  и  $R2 = 0$ , т. е. фильтр в полосе пропускания вёл бы себя как проводочная перемычка. За полосой пропускания  $R2 = \infty$ , а  $R1$  и  $R3$  могут принимать любые значения, в идеале  $R1 = R_g$  и  $R2 = 0$ . С идеальным фильтром (без затухания в полосе пропускания) импедансы источника сигнала и нагрузки должны быть равны, поскольку они соединены напрямую, в этом случае передаётся максимум энергии сигнала, а  $K_{ш}$  всего тракта минимальный.

На практике из элементов  $R1$ ,  $R2$  и  $R3$  (потери в компонентах) образуется аттенуатор, который и задаёт реальное проходное затухание фильтра. Его можно определить, измеряя амплитуду сигнала на входе и выходе фильтра.

Чтобы правильно оценить усиление РПУ, надо узел до фильтра всегда рассматривать с резистивной нагрузкой, которая обеспечивает условие для формирования правильной АЧХ. Такой же резистор должен быть и на входе последующего за фильтром узла, это может быть резистор или входной импеданс усилительного элемента. При прямом соединении этих узлов (без фильтра) энергия сигнала разделилась бы поровну между этими резисторами, это потери по мощности 6 дБ.

полосе пропускания, и итоговая нагрузка коллектора (истока) имеет более низкое значение, поэтому усиление меньше.

Но это ещё не всё, к чисто активной части ( $R1$ ,  $R2$  и  $R3$ ) добавляются зависящие от частоты реактивные составляющие, которые за пределами полосы пропускания могут принимать достаточно экстремальные значения. В узле до фильтра это может привести к резкому изменению режима работы и появлению больших искажений, в том числе и интермодуляционных. За счёт этого в полосе пропускания фильтра могут появиться ложные сигналы. Усилители на полевых транзисторах с общим истоком или затвором меньше всего подвергаются таким искажениям, если у них по питанию есть двойной запас на размах сигнала.

После настройки требуемой формы АЧХ с резистивным согласованием уже нет смысла искать настройку с ещё меньшими потерями и той же формой АЧХ. Необходимое для меньшего затухания изменение импеданса источника и нагрузки нарушило бы форму АЧХ. Например, в ущерб форме АЧХ можно улучшить передачу части спектра сигнала. Такое происходит при налаживании фильтра "на слух", и ничего хорошего в этом нет, кроме простоты процедуры. Звук приёмника однозначно страдает, так как спектр полезного сигнала, как правило, искажён.

Суть применения согласования с помощью Г-образного LC-звена заключается в трансформации сопротивле-

в республике, сообщили в министерстве связи и информатизации Беларуси.

Уходить от проводного вещания начали в 2014 г., тогда полностью сеть оптимизировали в райцентрах и сельских населённых пунктах. С 1 августа без проводного радио останутся города Брест, Витебск, Гродно и Гомель, а с 1 октября — Минск и Могилёв. Таким образом, с 1 октября проводное радиовещание будет ликвидировано в республике полностью.

Представители ведомства заверили: первый канал радио получил эфирную трансляцию, т. е. слушатели не лишатся привычных программ.

"Фактически, сегодня меняется лишь технология доставки информации до абонента, тогда как любимые населением программы остаются в эфире", — уточнили в ведомстве и добавили, что ряд категорий граждан имеет право на бесплатный радиоприёмник, а плата за потребляемое устройством электричество ниже, чем абонентская за проводное вещание

(источник — URL: <http://sputnik.by/technology/20160720/1024350508.html> (21.07.16)).

**ИНДИЯ.** Русская служба "Всеиндийского радио" ("All India Radio") сообщает в своих программах, что в настоящее время разрабатывается новый сайт радиостанции, на котором можно будет слушать программы различных языковых служб. Станция (и вместе с ней Русская служба) планирует покинуть диапазоны коротких волн, вероятнее всего, осенью этого года.

**ПОЛЬША.** "Радио Польша" с 1 июля прекратило вещание с 18.00 до 19.00 на средневолновой частоте 1395 кГц с использованием мощного 500-киловаттного передатчика в Армении.

**ЧЕХИЯ/ЛИТВА.** После окончания вещания на коротких волнах радиостанция "Свобода" увеличила объём трансляций на русском языке с использованием средневолнового передатчика в Ситкунае (Sitkunai), Литва. Его мощность — 75 кВт, частота — 1386 кГц, расписание следующее: с 21.00 до 03.00 ежедневно.

**США/ШРИ-ЛАНКА.** Организация "Broad casting Board of Governors" (BBG), штаб-квартира которой находится в США, с 5 июня прекратила использование своего трансляционного радиоцентра в Иранавилле (Iranawilla, Шри-Ланка). Отсюда велось вещание на различных языках радиостанций "Голос Америки", "Farda", "Свобода" (в том числе и на русском языке) и т. д.

Выводы специально созданной комиссии неутешительные. За время эксплуатации в условиях повышенной влажности антенны подверглись сильной коррозии, и их необходимо либо заменить, либо капитально отремонтировать. Исходя из данных фактов, а также учитывая сокращение коротковолнового вещания во всём мире, было принято решение прекратить эксплуатацию передающего центра и в течение двух последующих лет его демонтировать. Трансляции BBG, которые велись из Иранавиллы, размещены на других радиоцентрах.

**Хорошего приёма и 73!**

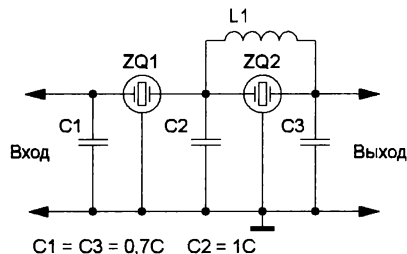
## Кварцевые лестничные фильтры на частоту 30...70 МГц. Часть 3

**ХАЙО ЛОХНИ, Германия/Россия, г. Гай Оренбургской обл.**

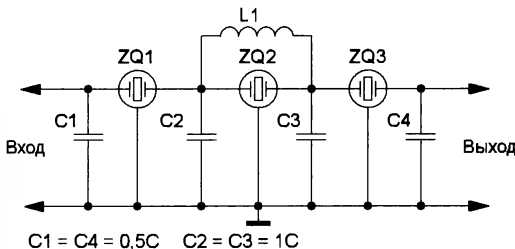
В представленных в последующих частях статьи примерах реализации кварцевых фильтров были использованы резонаторы в корпусе UM-5, закупленные в 2015 г. и 2016 г. на сайте [www.quartz1.com](http://www.quartz1.com). В примерах указан тип использованных резонаторов, и вы пропорциональным перерасчётом сможете изготовить фильтр на другую частоту.

Были собраны макеты фильтров на двух, трёх, четырёх, шести и восьми резонаторах в соответствии со схемами, показанными на **рис. 3.1—рис. 3.5** соответственно. Им были даны условные названия по числу резонаторов: QF2, QF3, QF4, QF6 и QF8.

осуществлялось либо с помощью резисторов (с заметными потерями), либо Г-образных LC-цепей (см. рис. 2.15).

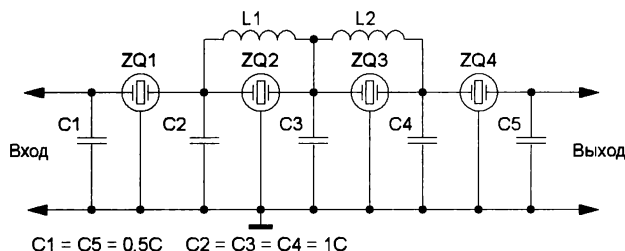


**Рис. 3.1**



**Рис. 3.2**

Не всегда нужно было применять катушки индуктивности для симметрирования АЧХ (с необходимой коррекцией конденсаторов). Согласование на 50 Ом



**Рис. 3.3**

Конечно, можно сделать фильтры с нечётным числом резонаторов, но они при отсутствии опыта сложнее в настройке, особенно при большом числе резонаторов. Рекомендуется в середине устанавливать резонатор с самым высоким значением частоты последова-

тельного резонанса ( $F_{\text{ноч}}$ ) из всей партии.

На практике при расчёте лестничных фильтров используют понятие "номинальная ёмкость" (в схемах на рис. 3.1—рис. 3.5 это — C), которую рассчитывают по определённым формулам, в которые входят импеданс (Z), частота (F), ёмкость конденсаторов (C) и подобранный корректирующий коэффициент (k). Такие формулы имеют обобщённый вид  $C = k/(Z \cdot F)$ , и с достаточной точностью для фильтров на частоту 30...70 МГц и импедансом 50...240 Ом можно использовать формулу  $C = 220000/(Z \cdot F)$ , где C — в пикофарадах; Z — в омах; F — в мегагерцах. В схемах на основе этой номинальной ёмкости всем конденсаторам придадут свой множитель (обычно 0,3...10), как это сделано в указанных схемах. Это удобно тем, что в схеме можно указать распределение ёмкостей конденсаторов для получения некоторого типа АЧХ и легко пересчитать варианты. На частотах до 10...20 МГц эта формула проверена и "работает" отлично, поскольку погрешность резонаторов на порядок

меньше полосы пропускания планируемого фильтра. В нашем случае подборкой конденсаторов можно не только изменять вид АЧХ, а иногда на 1...2 кГц надо "подтянуть" резонатор на нужную частоту, из-за чего и бывают заметные отклонения от расчётных значений при

Продолжение.

Начало см. в "Радио", 2016, № 7, 8



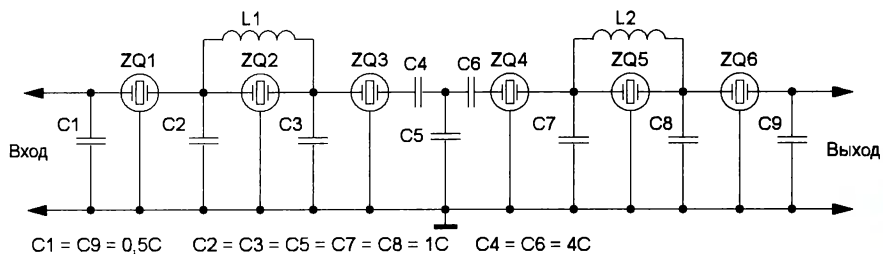


Рис. 3.4

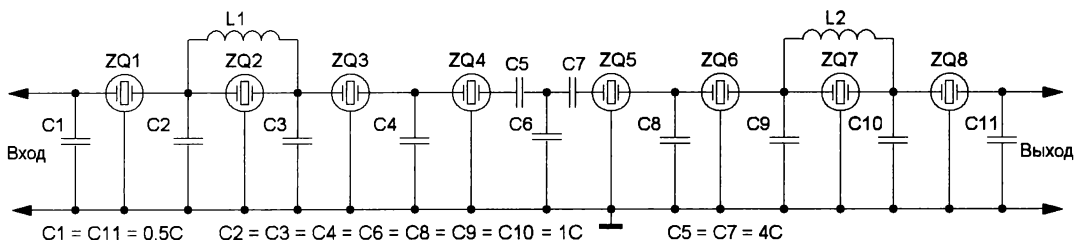


Рис. 3.5

настройке реального фильтра. Поэтому было важно остановиться при заказе резонаторов на ёмкость нагрузки 24 пФ, а для низкоомных фильтров можно рас-

вiania АЧХ "управляемо растёт" шаг за шагом с левого ската (см. рис. 1.2—1.4). Если в процессе налаживания верхина АЧХ "развалится или не склеится",

(35 МГц), поскольку зеркальный канал попадает в "опасную зону" паразитных резонансов разрабатываемых нами фильтров. По этой причине надо обязательно при реализации описанных ниже фильтров проверить, не попадают ли паразитные резонансы на частоту 35215 кГц.

### Узкополосный фильтр QF2 для SSB

В РПУ Р-399 первый гетеродин не изменяет свою частоту при переключении полосы SSB, и соответственно несущая частота попадает на частоту 34785 МГц, что в общем-то было сделано принципиально правильно, но потом не было доведено до логичного конца. Для улучшения работы РПУ в рамках его доработки при приёме SSB можно предусмотреть установку для USB и LSB отдельных фильтров на двух резонаторах с шириной полосы пропускания 4 кГц, ЧХ которых показаны на рис. 3.6 и рис. 3.7.

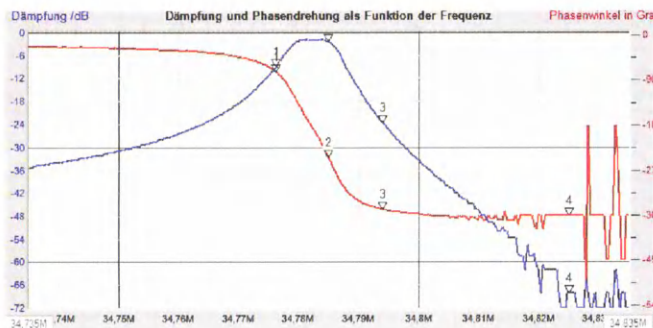


Рис. 3.6

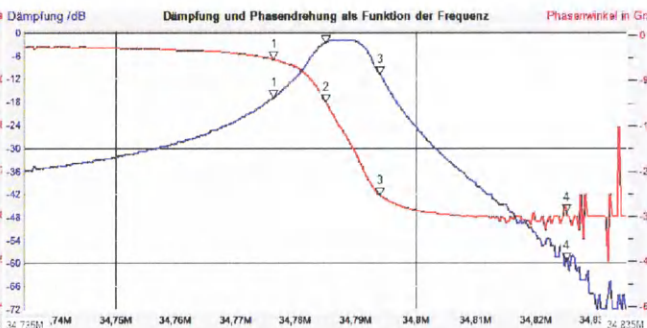


Рис. 3.7

смотреть и 40 пФ. Благодаря этому можно предсказать достаточно точно АЧХ фильтров на частоту 30...70 МГц. Расчётную ёмкость надо разделить пополам и "отдать" половину подстроечному конденсатору (в среднем положении движка), а оставшуюся половину — конденсатору постоянной ёмкости. Например, если расчётное значение  $C = 30$  пФ, надо установить подстроечный конденсатор ёмкостью 5...30 пФ и постоянный — ёмкостью 12—15 пФ.

Для фильтров QF2 и QF3 с импедансом менее 100 Ом подборкой крайних конденсаторов в интервале 0,6...0,7C можно немного улучшить глубину затухания за полосой пропускания, но при этом появится "волнистая" вершина. При ёмкости этих конденсаторов 0,35...0,45C вершина станет полукруглой и пострадает заграждение при большой отстройке по частоте. В фильтре QF6 (аналогично и в QF8) подборкой конденсаторов C4 и C6 можно повлиять на общий вид верхней части АЧХ (провал по центру и прямоугольность), но это следует делать уже после настройки общего вида АЧХ.

Настройку рекомендуем начинать с максимального значения ёмкости конденсаторов, тогда в процессе налажи-

надо приостановить процесс и поменять выбранный импеданс. Обычно мелкая "волнистость" вершины АЧХ указывает на слишком низкий импеданс, а "горбатость" — на слишком высокое его значение. Менять импеданс следует шагами 10...20 % в начале и 2...5 % при завершении налаживания.

### Фильтры на частоту 34785 кГц для РПУ Р-399 и "Катран"

Приёмник Р-399 радует своих фанатов по разным причинам, но почти все его владельцы жалуются на проблемы с избирательностью в тракте первой ПЧ. Где-то АЧХ фильтров за долгие годы несправимо "расклеилась", кому-то не хватает подавления за полосой пропускания, кто-то слышит сигналы, попадающие в зеркальный канал (на 430 кГц выше частоты настройки РПУ) второй ПЧ (215 кГц), или фильтр просто широкий (40 кГц) и приёмник не справится с обстановкой на "шумном DX-базаре". Сам приёмник внутри просторный и позволяет ещё много лет проводить его модернизацию на любой вкус, особенно для работы с полноразмерными антеннами. Для эксплуатации не совсем удачным является применение второго гетеродина с верхней настройкой

Предлагается сделать эти фильтры с "удобным" импедансом 50 Ом из резонаторов 34789-24 и 34794-24. Следует отметить, что резонаторы взяты из двух разных заказов, чем подтверждается высокая точность перерасчётов опытных конструкций на другую частоту. Затухание в полосе пропускания — около 2 дБ. Подобные фильтры надо составлять с проверкой резонаторов на паразитные резонансы, чтобы обеспечить подавление за полосой пропускания не менее 40 дБ. В данном случае катушки индуктивности не установлены, поскольку симметричность АЧХ вполне удовлетворительная.

Для аналогового фильтра с  $F_{\Phi} = 34785$  кГц (центральная частота) и импедансом 50 Ом надо применить резонатор 34791-24, и он хорошо будет сочетаться с ЭМФ с полосой пропускания 6 кГц. Кроме существенного сужения полосы пропускания в тракте первой ПЧ, этот фильтр ещё подавляет на 40 дБ сигналы зеркального канала в тракте второй ПЧ.

Если на двух резонаторах 34788-24 сделать фильтр с импедансом 75 Ом, то его параметры будут примерно такими:  $F_{\Phi} = 34785$  кГц, полоса пропускания — 11 кГц (по уровню -3 дБ), плоская вер-

шина — протяжённостью 6...7 кГц, затухание в полосе пропускания — не более 2 дБ. Такой фильтр хорошо сочетается со штатным ЭМФ с полосой пропускания 10 кГц.

### Фильтр QF4 с плоской вершиной и полосой пропускания 9 кГц

Для "омолаживания" постаревшего РПУ Р-399 можно сделать несложный в налаживании фильтр на четырёх резонаторах 34786-24. Для этого сначала надо настроить фильтр с чисто резистивным согласованием и без катушек индуктивности L1, L2, получив плоскую вершину в полосе пропускания подборкой резисторов и конденсаторов. У меня получился импеданс 230 Ом для "выхода" на центральную частоту 34785 кГц. В результате были получены ЧХ, показанные на **рис. 3.8**.

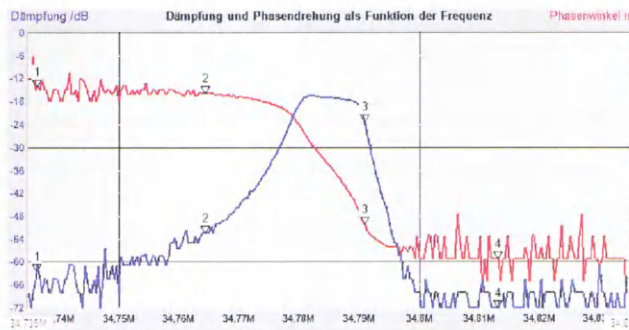


Рис. 3.8

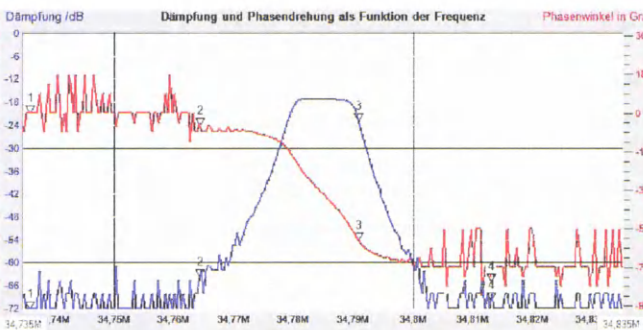


Рис. 3.9

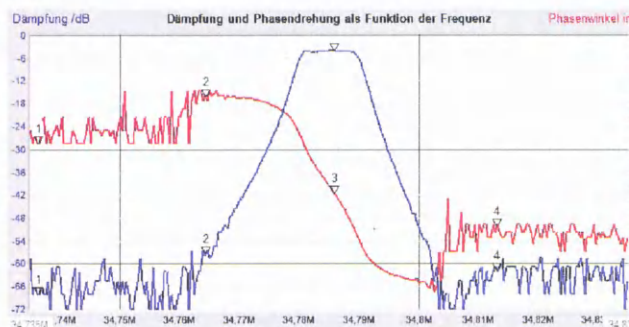


Рис. 3.10

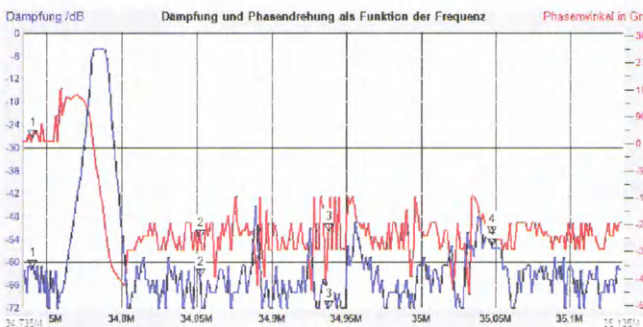


Рис. 3.11

Обратите внимание на небольшой наклон вершины — это сделано намеренно. Если приложить к изображению АЧХ ось симметрии (отрезок наклонной прямой), чтобы она прошла перпендикулярно к середине плоской наклонной вершины, то покажется, что АЧХ "наклонена" влево. Подборкой катушек индуктивности L1, L2 и конденсаторов C2, C3, C4 "наклон" можно устранить, и АЧХ примет вид, показанный на **рис. 3.9**.

В зависимости от конструктивного исполнения катушек L1 и L2 их индуктивность может быть в интервале 1,2...3,9 мкГн. В моём фильтре установлены дроссели серии ЕС24 индуктивностью 1,8 мкГн. В "боевом" варианте рекомендуется установить качественные экранированные катушки индуктивности 2,2...2,7 мкГн с малой паразитной ёмкостью.

Осталось подключить согласующие LC-звенья. Для согласования импеданса 230 Ом с 50-омным трактом на частоте 35 МГц потребуются элементы с параметрами  $L = 0,43$  мкГн и  $C = 37,5$  пФ. Кто поспешит их поставить, получит "испорченную" вершину АЧХ и лишней 1 дБ затухания. Проблема заключается в том, что требуемый коэффициент трансформации уже достаточно большой и нужно учесть добротность применённой катушки индуктивности. По моему опыту, при проведении расчёта надо добавить 10...12 % к импедансу фильтра и делать расчёт не на 230 Ом, а на 260 Ом. В результате получим  $L = 0,47$  мкГн и  $C = 35,8$  пФ. Установив конденсатор ёмкостью 33 пФ, с помощью небольшой подборки конденсаторов C1 и C5 (см. рис. 3.3) получаем практически идеальную плоскую вершину и затухание в полосе пропускания 4 дБ (**рис. 3.10**).

были специально подобраны. Для установки такого фильтра в РПУ Р-399 надо внимательно проверить область вблизи частоты 35215 кГц. Мой фильтр был "чистым".

Если для симметрирования АЧХ фильтров на двух—четырёх резонаторах параллельно каждому из них подключить катушку индуктивности (в данном случае серии ЕС24), появится паразитный ФНЧ, ЧХ которого показаны на **рис. 3.12**.

Два разнесённых по частотам резонанса получаются из-за того, что эти контуры сильно связаны между собой. Если катушки индуктивности поставить у крайних резонаторов, то связь слабее и резонансы совпадут, и пик будет ещё выше. Тогда лучше выбрать немного отличающиеся друг от друга (на 10 %) индуктивности.

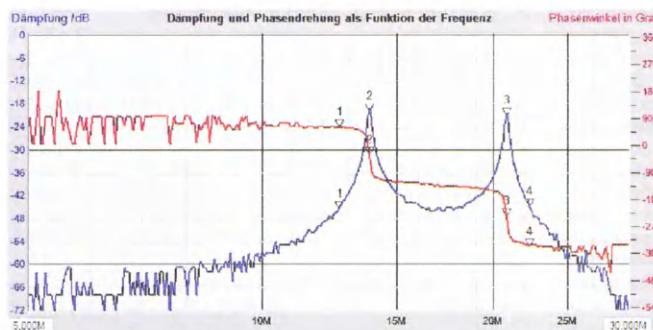


Рис. 3.12

Далее проверяют фильтр на наличие паразитных резонансов на частотах выше центральной (**рис. 3.11**). Видно, что подавление паразитных резонансов — не менее 42 дБ, а максимальное подавление за полосой пропускания — не менее 60 дБ. При этом резонаторы не

Для устранения этого принципиального недостатка достаточно предусмотреть установку в тракте одного LC-контура с добротностью не менее 10, что уменьшит уровень пиков более чем на 14...26 дБ. Это может быть выходной контур смесителя или согласующий резонансный трансформатор на входе УПЧ. Хорошая симметрия первого смесителя также даст подавление 20...30 дБ по прямому прохождению, но на выходе смесителя могут появиться уже преобразованные в этой области мощные сигналы, которые смогут мешать линейной работе УПЧ.

Предложенный относительно простой фильтр QF4 обеспечит все режимы работы РПУ Р-399, кроме широкого панорамного обзора. В данной настройке



не учтён температурный дрейф, когда фильтр работает внутри РПУ с большим потреблением энергии. Для этого надо было немного "добавить" импеданс (примерно 10...20 Ом) и растянуть АЧХ на 300...500 Гц вверх, как раз настолько она будет смещаться влево при нагреве от 20 °С до 40 °С. При проверке резонаторов по вторичным параметрам в этом случае уместно проверять и их температурный дрейф (нагревая с помощью фена).

Низкоомный фильтр открывает возможность доработки тракта Р-399 на низкий импеданс и существенное расширение его динамического диапазона (ДД). При адаптации этого "низкоомного" фильтра в оригинальный РПУ 1977 г. выпуска надо переделать катушку индуктивности на входе первого фильтра (L2 после транзистора 2П903А) с отводами на 1/3 части витков, считая от "холодного" конца. Второй УПЧ на транзисторе 2П307Г можно доработать, изменив схему включения транзистора на схему с общим затвором, и установить крутизну передаточной характеристики около 4,3 мА/В.

### Два фильтра QF4 с плоской вершиной

В тракте первой ПЧ РПУ Р-399 можно установить два фильтра по четыре резонатора в каждом, но надо учесть эффект наложения двух АЧХ — происходит их перемножение по точкам. В этом РПУ самый широкополосный ЭМФ имеет ширину полосы пропускания 10 кГц, и поэтому в тракте первой ПЧ надо поставить два фильтра, обеспечивающих плоскую вершину АЧХ в полосе 10 кГц. Для этого в фильтре с импедансом 270 Ом применяют резонаторы 34785-24. Каждый фильтр в отдельности имеет ЧХ, показанные на рис. 3.13.

Два фильтра последовательно (через развязывающий УПЧ) в результате дадут также ровную вершину в полосе 10 кГц, но крутизна скатов АЧХ будет в два раза больше (в логарифмическом масштабе). Прямоугольность от двух блоков фильтров по уровням 6/60 дБ  $P_{6/60} = 2,4$  и по уровням 6/80 дБ  $P_{6/80} = 3,1$ . При хорошей экранировке подавление за полосой пропускания будет не менее 100 дБ при отстройке на  $\pm 30$  кГц и более. Это обеспечивает хорошую защиту второго смесителя при работе приёмника с полноразмерными антеннами. Для симметрирования АЧХ рекомен-

дуется в каждом из фильтров применить дроссели с немного отличающимися номиналами, чтобы в области КВ их резонансы не совпали, и этот участок диапазона был подавлен не менее

чем на 60 дБ. Первый фильтр можно не симметрировать вообще, и подборкой резонаторов добиться дальнего подавления не менее 70 дБ, а второй фильтр надо немного перекомпенсировать для получения общей симметрии АЧХ двух блоков.

С такими фильтрами во втором гетеродине можно установить кварцевый резонатор на частоту 34797 или 34773 кГц и получить выходной сигнал с ПЧ 12 кГц для обработки SDR с помощью ПК. Подавление зеркального канала (отстройка на  $24 \pm 5$  кГц) при этом будет не хуже 80 дБ. Качество фильтров позволит переделать РПУ для работы и на диапазоны ДВ и СВ.

### Фильтр QF4 с полосой пропускания 6 кГц

В РПУ Р-399 в режиме приёма АМ чаще всего применяется ЭМФ с полосой пропускания 6 кГц, и для оптимальной работы в условиях помех фильтр в первой ПЧ с такой же полосой пропускания сильно выручил бы. На четырёх резонаторах 34789-24 получился вполне приличный фильтр, только он в моей версии немного "промахнулся" по частоте. С резонаторами 34794-24 форма АЧХ такая же, но с центральной частотой 34787,7 кГц. Поэтому можно сделать вывод, что с резонаторами 34791-24 "попадём в точку". Плоская вершина шириной 4 кГц и полоса пропускания 6,4 кГц по уровню -3 дБ (рис. 3.14) позволят принимать АМ, LSB, USB.

Импеданс опытного фильтра — 50 Ом, и поэтому отпала необходимость применять согласующие цепи, затухание в полосе пропускания — 5 дБ, центральная частота — 34783 кГц. С подобным фильтром уже не так страшно, когда рядом на том же диапазоне входят в эфир мощные соседи.

### Фильтр QF6 с полосой пропускания 8 кГц

С резонаторами 34788-24 среднего качества при  $Z = 150$  Ом центральная частота фильтра будет равна 34785 кГц (для РПУ Р-399) и АЧХ принимает немного закруглённую форму. Для SSB это не повлияет на качество приёма, да и АМ будет звучать ещё не раздражительно. Дальнее заграждение отличное — не менее 50 дБ, оно гарантировано уже при отстройке на  $\pm 10$  кГц, а при отстройке более чем на  $\pm 18$  кГц — не менее 80 дБ. Это положительно отражается на приёме АМ, так как несущая частота соседнего канала ( $\pm 10$  кГц) существенно подавлена, и не вся "работа" возлагается на

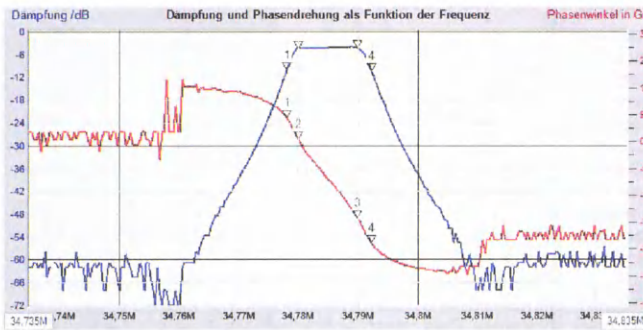


Рис. 3.13

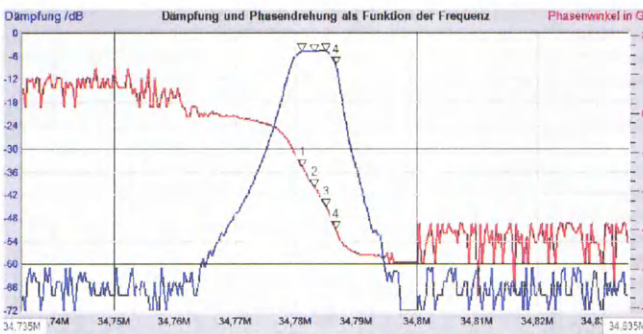


Рис. 3.14

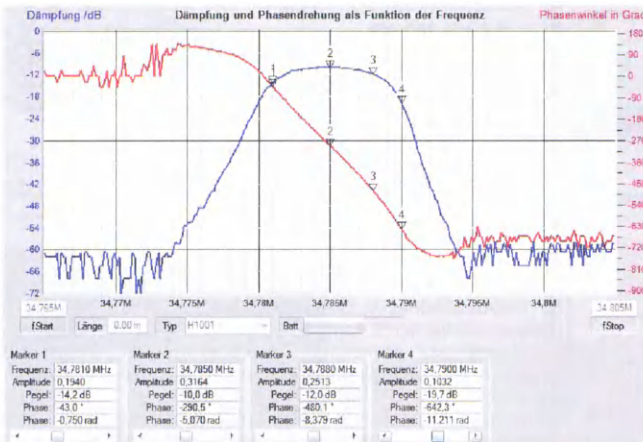


Рис. 3.15

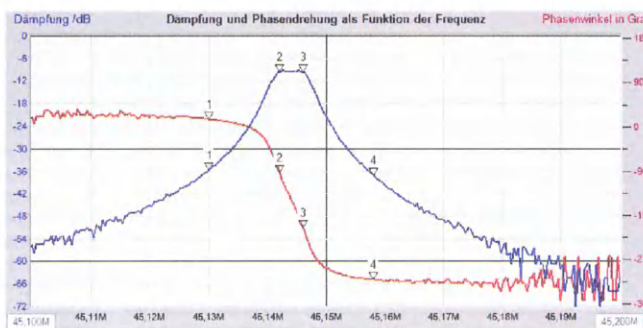


Рис. 3.16

ЭМФ. ЧХ фильтра показаны на рис. 3.15, они получились за счёт установки двух симметрирующих катушек индуктивности по 2,2 мкГн.

Получившееся затухание с цепями согласования (дроссели ЕС-24) получилось большое — 7 дБ (-3 дБ измерительного аттенюатора не в счёт), потому что вся партия из шести резонаторов оказалась с большим разбросом по вторичным параметрам. Поэтому ёмкости некоторых конденсаторов оказались не соответствующими расчётным, пришлось их подборкой "смастерить" АЧХ в ущерб затуханию на 2 дБ. Выпуклая вершина не сильно удлиняет импульсные помехи, и для SSB можно сделать эффективный подавитель импульсных помех.

### Фильтр QF2 на частоту 45145 кГц

В этом фильтре применены два резонатора 45150-24 высокого качества, импеданс — 50 Ом, плоская вершина — протяжённостью 4 кГц, ширина полосы пропускания — 10 кГц (по уровню -6 дБ), элементы симметрирования не использованы. ЧХ фильтра показаны на рис. 3.16, он пригоден для сигнала приёма сигналов узкополосной АМ или SSB.

Затухание в полосе пропускания — не более 1,8 дБ, и при подборе резонаторов нет паразитных резонансов до уровня -40 дБ. В результате получился очень технологичный фильтр с импедансом 50 Ом и без катушек индуктивности. АЧХ в целом лучше, чем у промышленного фильтра 45M07-A, не говоря уже о подавлении паразитных резонансов!

Чтобы такой фильтр построить на частоту 45000 кГц, потребуются резонаторы 45005-24 с динамическим сопротивлением не более 7 Ом.

(Продолжение следует)

### МОДУЛЬНАЯ РЕКЛАМА

**Радиодетали — почтой**  
**SEM0040 — Отладочные платы**  
**ARM Cortex-M0+ 32-bit.**

- UART-загрузчик для программирования;
  - Низкое энергопотребление;
  - Низкое напряжение питания;
  - 32-разрядный контроллер;
  - Высокая производительность;
  - Большой объём Flash и SRAM;
- Отгрузка в течение 1-2 рабочих дней!

Доставка по всей России.

Магазин электронных модулей —  
**www.ekits.ru**

\* \* \*

USB-осциллографы, генераторы.  
**www.signal.ru**

\* \* \*

Дистанционные курсы обучения программированию микроконтроллеров AVR, PIC, STM32, STM8, Arduino. Занятия проводятся по электронной почте или с помощью программы Skype.

[www.electroniclab.ru/courses.htm](http://www.electroniclab.ru/courses.htm)  
т. +7-912-619-5167

# Конвертер диапазона 118...137 МГц

И. НЕЧАЕВ, г. Москва

**Этот конвертер предназначен для прослушивания на КВ-радиоприёмник так называемого "авиационного" (AIR) диапазона, в котором постоянно передается информация о текущей погоде в различных аэропортах страны, а также осуществляются переговоры между пилотами гражданских самолётов и диспетчерами аэропортов. В некоторых "продвинутых" радиоприёмниках такой диапазон есть.**

Поскольку AIR-диапазон занимает полосу частот 118...137 МГц и в нём применяется АМ-модуляция, можно использовать радиоприёмник с КВ-диапазоном. Для этого потребуется преобразователь частоты или так называемый конвертер, в состав которого входят гетеродин, смеситель и фильтры. Если частоту гетеродина выбрать равной  $F_r = 100$  МГц, удобно будет проводить отсчёт частоты принимаемого сигнала  $F_c$  по шкале приёмника  $F_{np}$ :  $F_c = F_{np} + 100$  (в мегагерцах). Но тогда КВ-приёмник должен непрерывно перекрывать диапазон 18...37 МГц. Однако не все

резонаторы на эти частоты работают на гармониках и изготавливаются специально для этих целей. Такие резонаторы менее доступны, и генератор на них требует тщательного налаживания. "Заставить" широко распространённые кварцевые резонаторы с основной частотой 20...30 МГц работать на пятой—седьмой гармониках — не такая уж простая задача.

Но эту проблему можно решить, если применить готовый, так называемый "цифровой генератор", который вырабатывает прямоугольный сигнал с логическими уровнями. Такие генера-

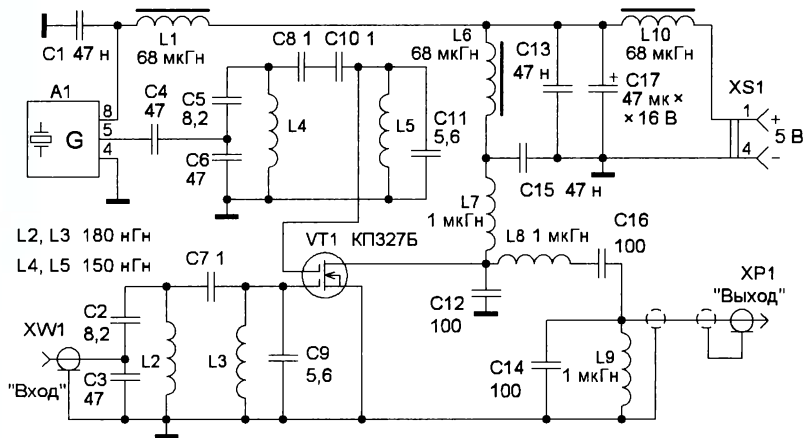


Рис. 1

радиоприёмники соответствуют этим требованиям, у большинства из них верхняя частота не превышает 30 МГц.

Поэтому конвертер должен обеспечивать преобразование сигналов диапазона 118...137 МГц в другой диапазон частот, например, 7...26 МГц. Для этого потребуется гетеродин на частоту 111 или 144 МГц. Первый вариант менее предпочтителен, поскольку в этом случае зеркальный канал приёма будет находиться в диапазоне 85...108 МГц, в котором работают мощные радиовещательные УКВ-радиостанции. Избавиться от помех будет очень сложно, для этого потребуются высокоизбирательные полосовые фильтры. Во втором варианте такой проблемы нет, но частота гетеродина выше и отсчёт частоты принимаемого сигнала не очень удобный.

Гетеродин с частотоподающим LC-контуром может не обеспечить стабильности настройки. Поэтому лучше применить генератор с кварцевой стабилизацией частоты. Но кварцевые

торы широко применяются в компьютерной технике как тактовые. На одной из старых компьютерных плат оказался генератор фирмы AKER серии AXO-400 в металлическом корпусе на частоту 48 МГц. У этого генератора точность установки частоты и её уход в интервале температур -10...+70 °C — ±25 ppm (от англ. *parts per million* — частей на миллион), т. е.  $48 \cdot 10^6 \cdot 25 \cdot 10^{-6} = 1,2$  кГц, чего вполне достаточно для приёма АМ-сигналов. Амплитуда выходного сигнала этого генератора близка к напряжению питания. Аналогичные генераторы бывают в пластмассовом и керамическом корпусах. Поскольку выходной сигнал таких генераторов прямоугольный, он содержит гармоники основного сигнала. Если форма сигнала близка к меандру, чётные гармоники существенно подавляются, в данном случае это вторая (96 МГц) и четвёртая (192 МГц), что нам и надо. Остаётся с помощью фильтра выделить третью гармонику частотой 144 МГц. Частоту принимаемого сигнала в мегагерцах в



приостановке—вещания—на—некоторых—частотах/460439.vov (24.08.16)).

**ФИНЛЯНДИЯ.** Служба иновещания финской телерадиокомпании "YLE" покинула короткие волны 31 декабря 2006 г., оставшись в Интернете и в небольших новостных выпусках по местному радию. Ежедневные русскоязычные передачи в настоящее время можно слушать на сайте компании <http://yle.fi/uutiset/novosti/>, их продолжительность — всего четыре минуты.

В местном УКВ-диапазоне трансляции на русском языке идут ежедневно один раз в день на двух радиоканалах: "Yle Radio Suomi" и "Yle Mondo", более подробное расписание: [http://yle.fi/uutiset/grafik\\_veshchaniya/6593850](http://yle.fi/uutiset/grafik_veshchaniya/6593850) (24.08.16)).

*Хорошего приёма и 73!*

## МОДУЛЬНАЯ РЕКЛАМА

### ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ НА WWW.S-10MITINO.RU

**Всё для ремонта и производства радиоэлектронной аппаратуры, автомобильной и бытовой радиотехники.**

Продажа оптом и в розницу в павильоне 546 ТК "Митинский радиорынок". Работаем с 9.00 до 18.00 ежедневно. Почтовая и курьерская доставка.

Наш адрес: Москва, Пятницкое шоссе, 18, 3 эт., пав. 546.

**8-905-782-47-71**

[mat-roskin@rambler.ru](mailto:mat-roskin@rambler.ru)

[www.s-10mitino.ru](http://www.s-10mitino.ru);

[www.s-10mitino.narod.ru](http://www.s-10mitino.narod.ru)

125464, Москва, аб. ящ. 39.

Дистанционные курсы обучения программированию микроконтроллеров STM32, AVR, Arduino, PIC, STM8.

Занятия проводятся по электронной почте или с помощью программы Skype. Обучение может быть направлено на решение стоящей перед вами задачи.

[www.electroniclab.ru/courses.htm](http://www.electroniclab.ru/courses.htm)  
т. +7-912-619-5167

Контроллеры GPIB-PCI, USB National Instr., Agilent со склада в Москве.

**www.signal.ru**  
(495) 788-40-67

## Кварцевые лестничные фильтры на частоту 30...70 МГц. Часть 4

*ХАЙО ЛОХНИ, Германия/Россия, г. Гай Оренбургской обл.*

### Фильтры на частоту 55845 кГц для радиовещательных РПУ

За последние 15 лет появилось множество бытовых всеволновых РПУ, у которых первая ПЧ — 55845 кГц (у большинства на самом деле 55844,5 кГц). В них, как правило, применены двухрезонаторные фильтры, АЧХ которых имеет значительное число паразитных каналов на уровне от 12 до 30 дБ, из-за чего часто страдает приём слабых станций.

### Низкоомный фильтр QF2

По схеме, показанной на рис. 3.1, был собран макет фильтра с очень низким импедансом с целью использовать высокую добротность резонаторов. Применены резонаторы 55851-24 высокого качества. В согласующих цепях применены ВЧ-трансформаторы 4:1 (по импедансу), в результате получился импеданс около 12,5 Ом. На центральной частоте 55844,5 кГц полоса пропускания фильтра — 7 кГц (по уровню -6 дБ), затухание в полосе пропускания — 5 дБ (включая потери в трансформаторах). При отстройке на 50 кГц загораживание — более 50 дБ (рис. 4.1), но

присутствует паразитный резонанс с уровнем -46 дБ при отстройке на +350 кГц. Для симметрирования АЧХ применена катушка индуктивности



Рис. 4.1

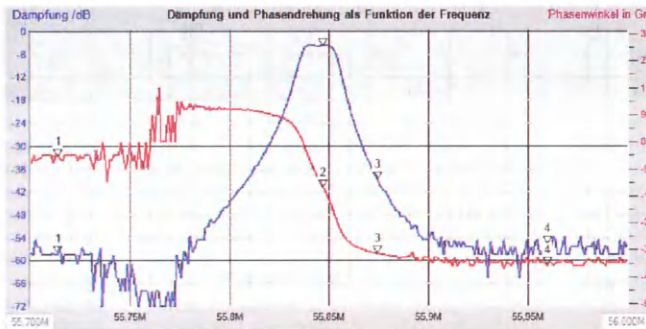


Рис. 4.2

2,2 мкГн, и она образует в середине КВ-диапазона паразитный резонанс с уровнем -20 дБ.

### Фильтры QF3 с малыми потерями

После пассивных смесителей желательно применить фильтры с малыми потерями. Для этого, на первый взгляд, надо обязательно использовать варианты с высоким импедансом и смириться с более широкой полосой пропускания. Из самого первого заказа у меня остались резонаторы 55844-12 очень высокого качества, и на них можно сделать фильтр на частоту 55844,5 кГц с плоской вершиной протяжённостью 13 кГц и импедансом 430 Ом. Резонаторы 55844-12 по АЧХ и ФЧХ эквивалентны резонаторам 55839-24. Симметрия АЧХ установлена с помощью катушки индуктивности 1,5 мкГн (EC24), от чего дополнительно образовался провал -70 дБ на частоте 55,76 МГц (рис. 4.2).

При резистивном согласовании на 430 Ом получились очень малые потери (1,5 дБ) самого фильтра, обусловленные высоким импедансом и качеством резонаторов. В этом эксперименте для согласования с 50-омным трактом применены LC-цепи с дросселями серии EC24, которые внесли дополнительные потери 2 дБ. Замена их на высококачественные катушки индуктивности снизила потери до 0,6 дБ, и в итоге фильтр в 50-омном тракте имеет потери 2,1 дБ.

Приведём альтернативный пример, где фильтр на резонаторах 55843-24 среднего качества при импедансе 180 Ом имеет АЧХ с центром на частоте 55845 кГц. Протяжённость плоской вершины уменьшилась до 10 кГц (рис. 4.3).

При резистивном согласовании потери фильтра — 1,7 дБ. А так как согласовать с 50-омным трактом проще (соотношение L/C меньше), с качественными катушками получились также общие потери — 2,1 дБ. Но при этом избирательность намного лучше.

*Продолжение.*

*Начало см. в "Радио", 2016, № 7—9*



## Фильтры QF6 и QF3 для РПУ TECSUN S-2000

При модернизации моего приёмника TECSUN S-2000 я решил основательно переделать тракт первой ПЧ. По итогам всех экспериментов с кварцевыми фильтрами я решил установить после первого смесителя фильтр QF6, после чего сигнал усиливается в малошумящем и линейном УПЧ (без АРУ). Между этим УПЧ и вторым смесителем установлен второй фильтр QF3. В процессе их наладивания проявились некоторые важные моменты и законо-

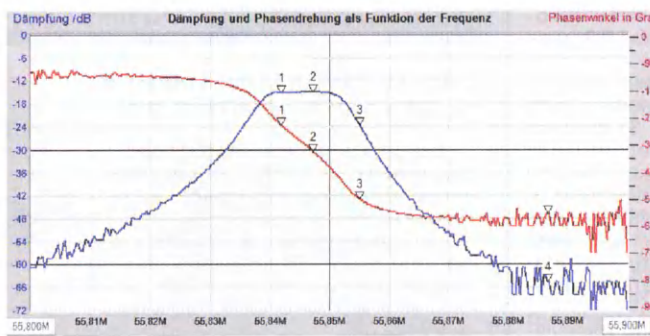


Рис. 4.3

лённой последовательности операций при наладивании: подбор резонаторов во вторичным параметрам; резистивное согласование; симметрирование и в конце согласование по мощности. Это позволит избежать ошибочного варианта, при котором получится требуемая АЧХ, но потери в полосе пропускания большие, а ФЧХ — совсем "кривая".

В линейном масштабе (рис. 4.4) видно, что

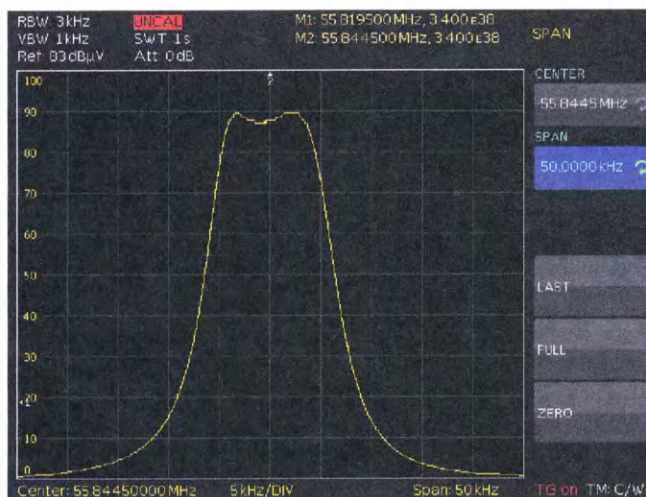


Рис. 4.4

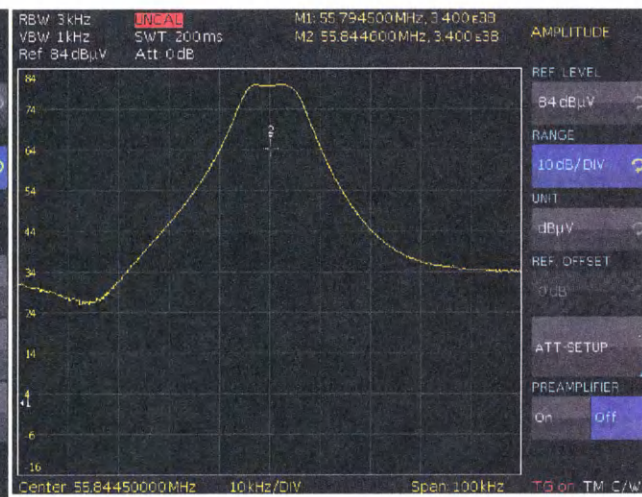


Рис. 4.5

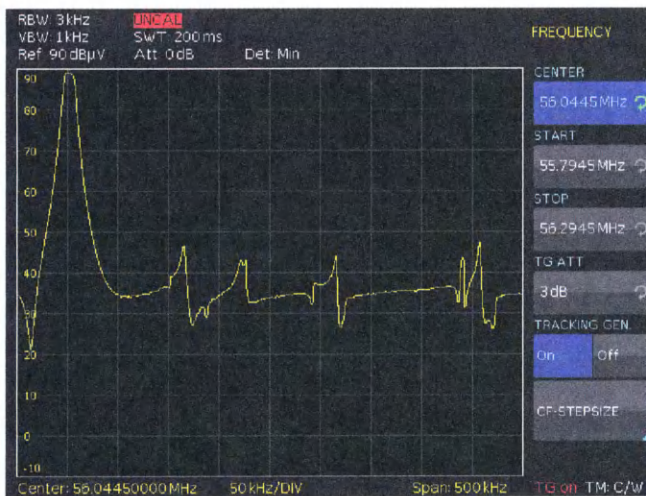


Рис. 4.6

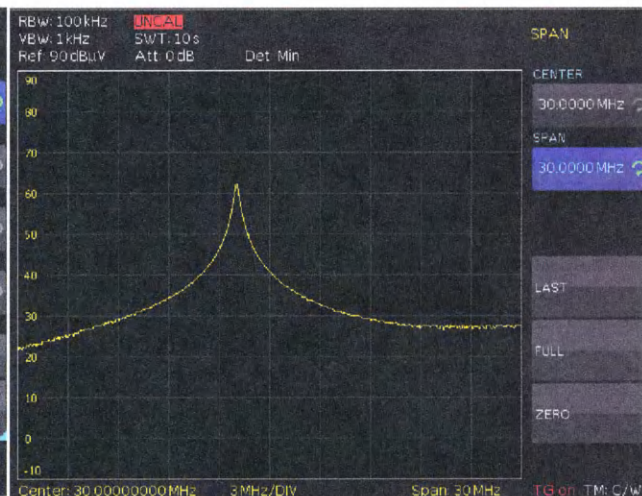


Рис. 4.7

мерности, которые можно смело распространить на другие проекты.

Фильтры должны были "попасть" на частоту 55844,5 кГц. АЧХ должна быть с плоской вершиной протяжённостью не менее 9 кГц (для AM со спектром до 4 кГц), полоса пропускания по уровню -3 дБ — не менее 11 кГц. Такие параметры выбраны как компромиссные для хорошего приёма AM и SSB, а также SDR с небольшими ограничениями по краям спектра.

Сначала были проверены резонаторы 55845-24, 55844-24 и 55843-24 на их

пригодность в этих фильтрах. Следует напомнить, что положение низкочастотного ската АЧХ во всех фильтрах изменить очень сложно. Оказалось, что с резонаторами 55845-24 все указанные параметры получились "впритык". С резонаторами 55844-24 или 55843-24 фильтр будет на 1...3 кГц шире, поэтому для надёжного повторения и при малом опыте я рекомендую работать с ними.

Фильтр QF3 на резонаторах 55845-24 сразу принял требуемую форму АЧХ. Несмотря на большой накопленный опыт, я всегда придерживаюсь опреде-

изготовленный фильтр (импеданс — 140 Ом) выполняет требуемую задачу, но с очень малым запасом. Средними подстроечными конденсаторами можно только "передвигать" правый скат АЧХ, а левый скат жёстко "привязан" выбранным ранее импедансом. При правильном сочетании этих условий можно крайними подстроечными конденсаторами корректировать форму вершины от выпуклой до вогнутой, и она всегда будет симметричной. Хорошо проработайте этот момент, он потом пригодится при наладивании фильтра QF6.



В логарифмическом масштабе в полосе обзора 100 кГц АЧХ фильтра показана на **рис. 4.5**. Минимум при отстройке  $-45$  кГц обусловлен симметрирующей катушкой индуктивности, за счёт которой АЧХ до уровня  $-35$  дБ имеет симметричные скаты.

Проверка на наличие паразитных резонансов показала хороший результат (**рис. 4.6**) благодаря предварительному отбору резонаторов. Следует отметить, что подавление  $46$  дБ в ближней зоне за полосой пропускания могут обеспечить далеко не все промышленные фильтры на двух—четырёх резонаторах.

В самом фильтре из-за симметрирующей катушки индуктивности обра-

В её середине есть конденсаторный узел С4—С6, который можно интерпретировать как стыковочный между двумя фильтрами QF3. Если конденсаторы С4 и С6 заменить проволочной перемычкой, фильтр будет как одна однородная цепочка одинаковых резонаторов, которая обеспечит узкую и выпуклую АЧХ (хорошо для анализаторов спектра) при малом импедансе. А через узел стыковки два фильтра QF3 будут взаимодействовать как два связанных LC-контура. При определённой связи контуров суммарная полоса пропускания расширяется, например, с провалом  $3$  дБ в центре она станет на  $40\%$  шире. Это означает, что если сде-

Хорошо видна двугорбая форма АЧХ — это и есть "заслуга" конденсатора С5. Ещё раз напомним, что конденсаторы С4—С6 "отвечают" за форму вершины. Конденсаторами С2, С3, С7 и С8 изменяют положение правого ската. При правильном сочетании импеданса и полосы пропускания с помощью крайних конденсаторов изменяют выпуклость вершины. Неверно выбранный импеданс вызывает общий "наклон" вершины, при набранном опыте этим можно пользоваться (см. рис. 3.8). Если отказаться от приёма SDR, с помощью крайних подстроечных конденсаторов можно будет получить идеально ровную вершину протяжённостью  $8...9$  кГц.

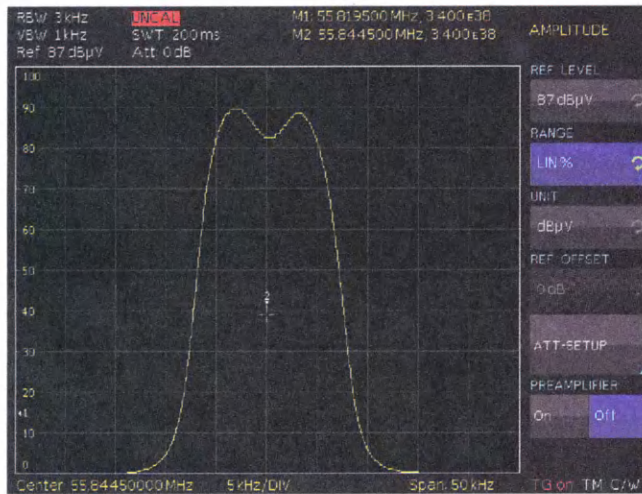


Рис. 4.8

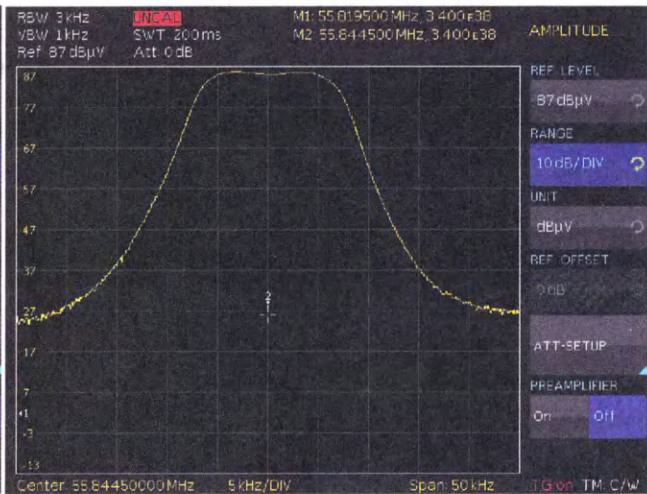


Рис. 4.9



Рис. 4.10

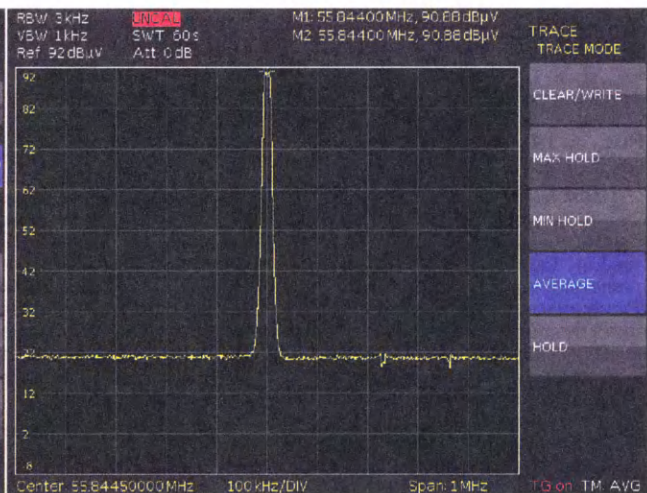


Рис. 4.11

зовалась паразитная полоса пропускания на частоте  $28$  МГц на уровне  $-15$  дБ. После настройки выходного LC-контура в УПЧ этот резонанс был подавлен до уровня  $-27$  дБ (**рис. 4.7**).

Из полученных результатов можно сделать поспешный вывод о том, что фильтр QF6 будет более узкополосным и в итоге поставленная задача не будет выполнена, а РПУ получит слишком узкий фильтр. На самом деле это не так. Для пояснения этого надо посмотреть на схему фильтра QF6 (см. рис. 3.4).

Позтому я начал налаживание фильтра QF6 на резонаторах  $55845-24$  с импедансом  $100$  Ом, а в итоге получилось  $110$  Ом. На **рис. 4.8** (линейный масштаб) видно, что за счёт уменьшения импеданса и левый скат сдвинулся от центра, и АЧХ точно уже не будет "впритык".

Симметрирующие катушки индуктивности сделали своё дело. АЧХ получилась симметричной (**рис. 4.9**). Проверка на их резонансы в КВ-диапазоне выдала интересный момент их лучшего подавления (**рис. 4.10**) до уровня  $-60$  дБ. Для этого было достаточно, чтобы индуктивность этих катушек немного отличалась, в результате резонансы разошлись. В сочетании этого фильтра с LC-контуром в смесителе или УПЧ эти резонансы совсем перестают быть проблемой.



После согласования фильтра с УПЧ с помощью LC-контура подавление за полосой пропускания стало больше на 10 дБ, это во многом дало применение элементов для поверхностного монтажа. Только на уровне 70 дБ увидим первые "лазейки" (рис. 4.11).

специальной экранировки. Это уже "игра" в лиге профессионалов!

В фильтре QF3 были установлены конденсаторы  $C1 = C4 = 15$  пФ и  $C2 = C3 = 27$  пФ без симметрирующей катушки индуктивности. После её установки  $C1 = C4 = 18$  пФ и  $C2 = C3 = 40$  пФ. В

Резонаторы для фильтра проверяют из всей партии на несовпадение паразитных резонансов и на малое динамическое сопротивление. Сначала надо исключить экземпляры с завышенным сопротивлением, потом уже оставить кварцы по несовпадению резонансов,

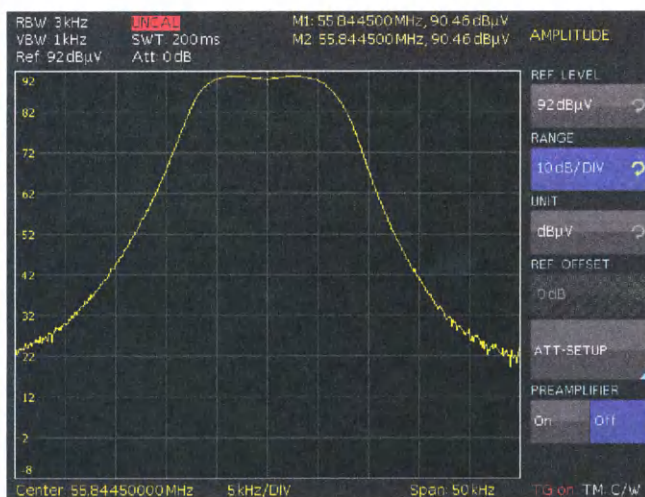


Рис. 4.12

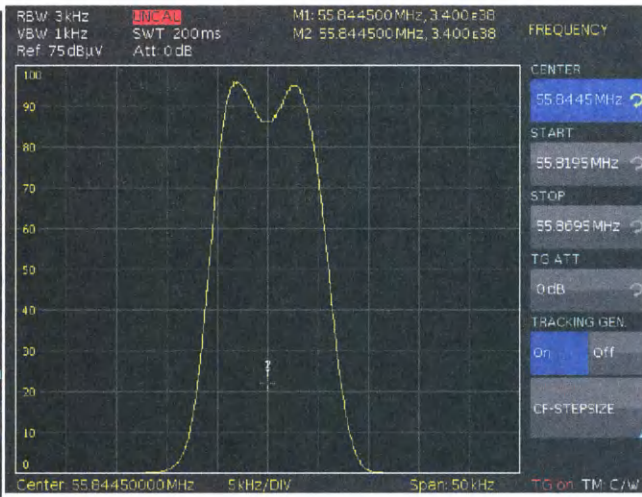


Рис. 4.13

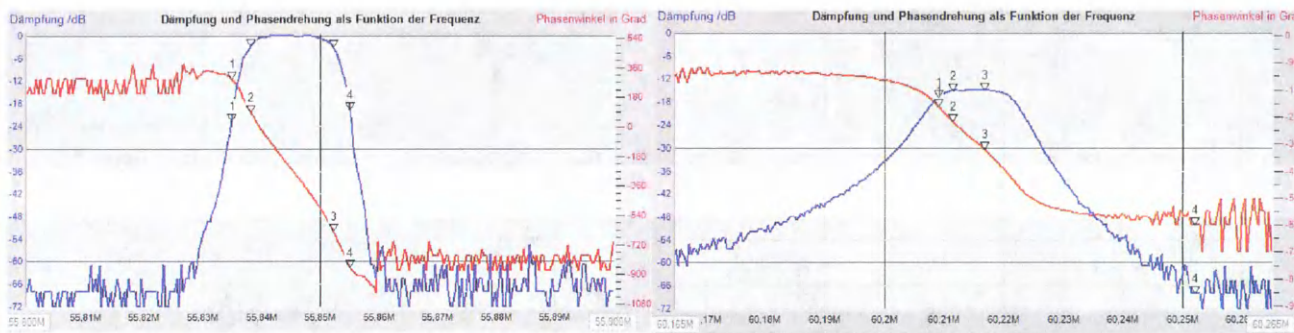


Рис. 4.14

Рис. 4.15

Насколько может выручить фильтр QF6 в сложной эфирной обстановке, увидим на рис. 4.12 (полоса обзора — 50 кГц). При отстройке на  $\pm 20$  кГц подавление — уже более 60 дБ, при исполнении на двухсторонней печатной плате без металлической экранировки — не менее 70 дБ.

В конце работ я включил весь тракт с двумя фильтрами и получил сквозную АЧХ в линейном масштабе (рис. 4.13). Мы увидим чёткое сложение двух АЧХ (см. рис. 4.4 и рис. 4.8), неравномерность на вершине не превышает  $\pm 0,5$  дБ, полоса пропускания по уровню  $-3$  дБ — 11 кГц. С такими параметрами поставленная задача успешно решена. При отстройке на  $\pm 10$  кГц затухание — не менее 35 дБ, что во многом облегчит работу РПУ в радиовещательных диапазонах. К сожалению, мои измерительные приборы не позволяют измерять подавление более 70 дБ. Но измерения макета фильтра, собранного на печатной плате размерами 40x80 мм, с помощью логарифмического детектора на микросхеме AD8307 показали, что итоговое загораживание достигает 80...90 дБ без

фильтре QF6 с катушками индуктивности по 1,5 мкГн ёмкость конденсаторов была такой:  $C1 = C9 = 18$  пФ;  $C2 = C8 = 40$  пФ;  $C3 = C7 = 50$  пФ;  $C4 = C6 = 120$  пФ;  $C5 = 22$  пФ.

Если применить резонаторы 55844-24, импеданс фильтров станет больше на 10...20 %, полоса пропускания расширится на 1...2 кГц. Симметрия АЧХ изменится незначительно.

### Эксперимент с фильтром QF8

Этот пример я не рекомендую для общего практического применения в категории "готовые рецепты" несмотря на отличный результат. Считаю, что этот пример показывает предел данной технологии. Заграждение при большой отстройке уже никак не будет более 100 дБ, для этого нужны качественные резонаторы с малым сопротивлением (добротность  $Q \approx 40000$ ), и не факт, что все заказанные в одной партии резонаторы будут такими. Настройка требует умелых рук и опыта. В фильтре с импедансом 120 Ом применены восемь резонаторов 55844-24 высокого качества (см. рис. 2.9), его ЧХ показаны на рис. 4.14.

при этом "близнецы" устанавливают симметрично по схеме. Если резонаторы подобрать и по совпадению  $F_{\text{нос}}$ , то можно получить фильтр с крутыми и симметричными скатами.

В первом варианте были установлены симметрирующие катушки индуктивности параллельно крайним резонаторам, как это рекомендуют для фильтров до частоты 10 МГц. Оказалось, на практике это немного конфликтует с узлом согласования и искажает форму вершины АЧХ. Поэтому дроссели в итоге оказались у второго и предпоследнего резонаторов.

При отстройке на  $\pm 15$  кГц подавление дошло уже до 60 дБ, потери в полосе пропускания — 6 дБ, протяжённость ровной части вершины — 10 кГц, коэффициент прямоугольности  $P_{6,60} = 2$ . Этот фильтр может работать в тракте приёма АМ-сигналов в интервале температуры 0...+40 °C и при перестройке второго гетеродина на 1 кГц. Скруглённая форма АЧХ обеспечит приём узкополосной ЧМ (12 кГц) с малыми искажениями, если второй гетеродин не перестраивается. Импульсные помехи не перестраиваются на фоне полезного SSB-сигнала



для их последующего эффективного подавления.

### Фильтры на частоту 60215 кГц для РПУ Р-324

Отечественные КВ-приёмники, разработанные в 90-е годы прошлого века, имеют частоту первой ПЧ около 60 МГц (например, 65128 кГц в РПУ "Бригантина" и "Р170П"). В них мы имеем дело с прямым подключением фильтров к пассивным смесителям, но это хорошее намерение не дало превосходного результата по нескольким причинам. С сегодняшней элементной базой и проверенными схемами это нетрудно исправить, один из ключей к успеху — подходящие кварцевые фильтры.

жённость ровной вершины — около 10 кГц, что достаточно для совместной работы с ЭМФ с полосой пропускания 12 кГц во второй ПЧ. Фильтр изначально имеет хорошую симметрию, и симметрирующую катушку индуктивности параллельно среднему резонатору можно не устанавливать, что резко улучшает избирательность по всему диапазону от НЧ до 100 МГц.

Затухание самого фильтра в полосе пропускания — 3 дБ, что ещё приемлемо, если за фильтром установлен МШУ с большим динамическим диапазоном. В этом примере не были обнаружены побочные резонансы до уровня -50 дБ.

Фильтр QF6 с импедансом 180 Ом собран на шести резонаторах 60213-24.

уменьшения ёмкости крайних конденсаторов. С резистивным согласованием фильтр имеет затухание 5,5 дБ при применении керамических подстроечных конденсаторов. Это значение снижается до 5 дБ, если применить конденсаторы с воздушным диэлектриком. Замена в цепях согласования (с 180 Ом на 50 Ом) дросселей индуктивностью 0,22 мкГн (ЕС24) более качественными снижает потери с 1,9 до 0,4 дБ. В итоге за счёт применения более качественных элементов можно выиграть 2...2,5 дБ по сравнению с "обычными" компонентами. Затухание в 50-омном тракте в полосе пропускания уменьшилось с 7,5 дБ (бюджетные компоненты) до 5,8 дБ в качественном исполнении. АЧХ доста-

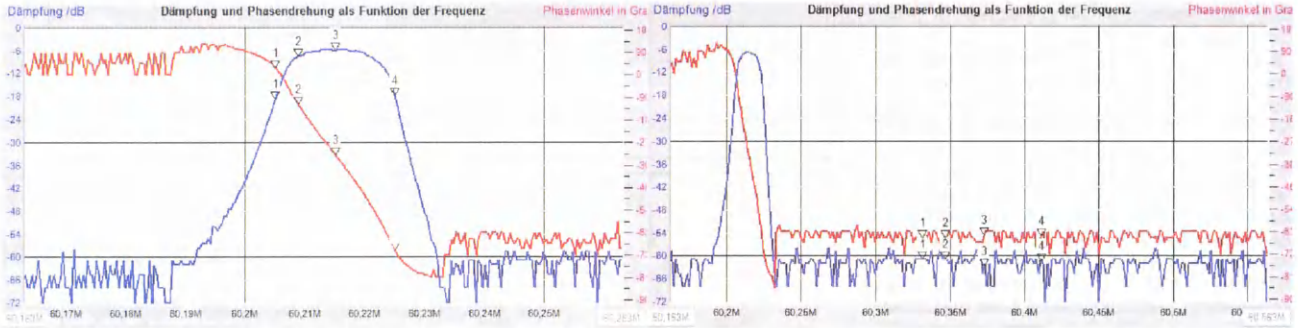


Рис. 4.16

Рис. 4.17

Для установки сразу после пассивного смесителя предлагается фильтр QF3, его ЧХ показаны на рис. 4.15. Он имеет малые потери при "удобном" импедансе тракта 200 Ом. Применены резонаторы 60214-24. При этом протя-

Он может успешно работать совместно с ЭМФ с полосой пропускания 12 кГц, который установлен в РПУ. Но так как эта полоса в Р-324 предназначена для приёма ЧМ, вершина оставлена с некоторой выпуклостью (1,5 дБ) за счёт

точно симметричной, даже без симметрирующих элементов (рис. 4.16), паразитные резонансы подавлены не менее чем на 56 дБ (рис. 4.17).

(Продолжение следует)

## Радиовещательный КВ-приёмник с Q-умножителем

С. ДОЛГАНОВ, г. Барабинск Новосибирской обл.

Радиоприёмник предназначен для приёма на магнитную (рамочную) антенну передач КВ-радиовещательных

станций в диапазоне частот 9,2...18 МГц (диапазоны 31, 25, 19 и 16 метров).

Схема приёмника показана на рис. 1.

Собран он по схеме прямого усиления и содержит рамочную антенну WA1, умножитель добротности на транзисторах VT1, VT2, усилитель ПЧ на транзисторах VT3, VT4, детектор (VD2) и предварительный усилитель ЗЧ на полевом транзисторе VT5, с выхода которого (вернее, с движка переменного резистора R24, выполняющего функцию регулятора громкости) сигнал ЗЧ поступает на вход усилителя мощности ЗЧ. Умножитель добротности представляет

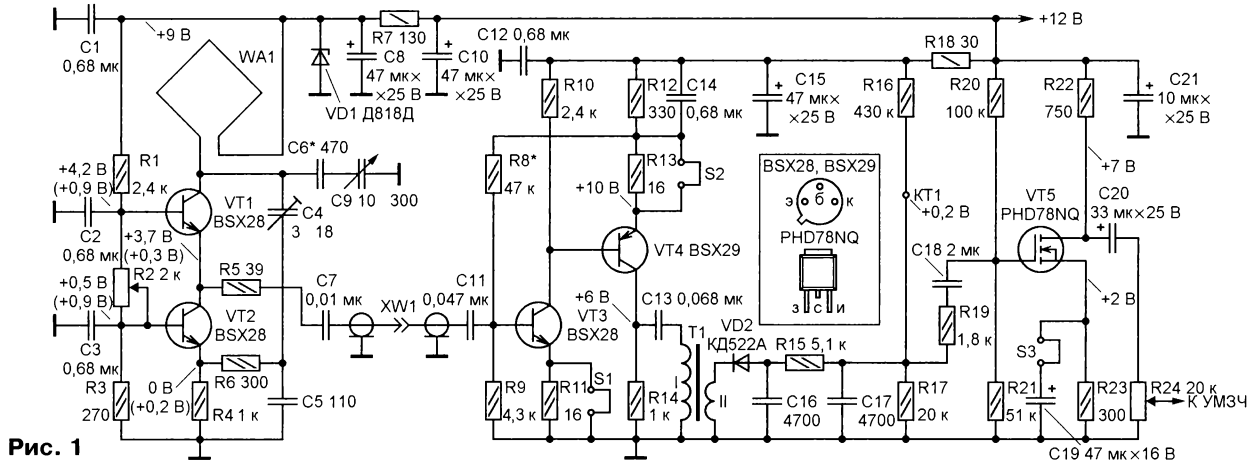


Рис. 1

— на частоте 5900 кГц — с 10.00 до 15.00;  
— на частоте 7350 кГц — с 15.00 до 21.00.

Все частоты проверены через удалённый SDR-приёмник в Австралии <http://kiwidsr.vk5fo.com:8073/>. На момент подготовки материала трансляция "Радио России" продолжается.

**РОСТОВ-НА-ДОНУ.** 14 сентября жители города впервые услышали позывные новой радиостанции "Вести FM" на частоте 90,2 МГц. В первое время здесь будет идти трансляция только московских программ, но уже совсем скоро появятся региональные выпуски. Передатчик изготовлен российскими производителями, антенно-фидерное устройство расположено на телевизионной вышке, высота которой 180 м, а антенна установлена на отметке 172 м (источник — URL: <http://dontr.ru/vesti/obshchestvo/radio-vesti-fm-nachaloveshhanie-v-rostove-na-chastote-90-2-fm/> (22.09.16)).

ГТРК "Дон" теперь будет вести трансляции сразу трёх радиостанций: "Радио России", "Маяк" и "Вести FM".

**РЯЗАНСКАЯ ОБЛ.** Филиал РТРС "Рязанский ОРТПЦ" в сентябре начал трансляцию радиостанции "Радио Ваня" в с. Мосолово на частоте 98,5 МГц. Мощность передатчика — 1 кВт (источник — URL: <http://ryazan.rtrs.ru/news/read/180/> (22.09.16)).

**СВЕРДЛОВСКАЯ ОБЛ.** Радиостанция "Love Radio" начала работать в двух городах Свердловской области: в Полевском — на частоте 105,3 МГц, в Краснофимске — на частоте 105,4 МГц (источник — URL: <http://mediaguide.ru/?p=news&id=57c5f492> (22.09.16)).

**ТАМБОВ.** В связи с переводом трансляций радиостанции "Маяк" в областном центре на частоту 89,8 МГц СИИР-диапазона вещание на частоте 71,78 МГц прекращено 25 августа (источник — URL: <http://tambov.rtrs.ru/news/read/222/> (22.09.16)).

19 сентября Тамбовский ОРТПЦ перевёл работу "Радио России-Тамбов" на новую частоту — 100,9 МГц. Программы станции транслируются круглосуточно (источник — URL: [http://www.vesti-tambov.ru/?new\\_id=54600](http://www.vesti-tambov.ru/?new_id=54600) (22.09.16)).

**ТАТАРСТАН.** 2 августа к региональной сети "Радио Дача" присоединился г. Набережные Челны Республики Татарстан. Частота трансляции — 98,7 МГц (источник — URL: <http://www.krutoymedia.ru/news/3648.htm> (22.09.16)).

**ТЮМЕНЬ.** 19 сентября началось вещание "Детского радио" на частоте 104,2 МГц. Это современная развлекательно-познавательная станция для детей и их родителей, ранее она называлась "Дети FM", и первый её выход в эфир состоялся в Москве 25 декабря 2007 г. (источник — URL: <http://www.gpmradio.ru/?an=news-page&uid=104342> (22.09.16)).

**УДМУРТИЯ.** Филиал РТРС "Удмуртский РРТПЦ" 25 августа начал трансляцию "Радио России" в посёлке Яр 25 августа на частоте 106,5 МГц. Мощность передатчика — 250 Вт (источник — URL: <http://udmurtiya.rtrs.ru/news/read/577/> (22.09.16)).

#### ЗАРУБЕЖНОЕ ВЕЩАНИЕ

**БЕЛАРУСЬ.** 9 сентября в Гомеле открылась новая радиостанция "Правда

радио", она является первой станцией, которую в городе открыла газета "Гомельская правда". Вещание проходит круглосуточно на частоте 99 МГц. На начальном этапе радиостанция будет охватывать только Гомель и прилегающую к нему 30-километровую зону. В перспективе планируется, что "Правда радио" будет вещать не только на территории Республики Беларусь, но и в приграничных районах соседних с Беларусью государств (источник — URL: <http://www.belnovosti.by/society/52159-090920161700.html> (22.09.16)).

**США/МАДАГАСКАР.** Находящаяся на Мадагаскаре радиостанция "Madagascar World Voice" планирует в зимнем вещательном сезоне вести трансляции на русском языке один раз в день (согласно записям в базе зарегистрированных вещателей HFCC) на частоте 9570 кГц с 18.00 до 19.00, мощность передатчика — 100 кВт; резервная частота — 9540 кГц.

**США.** Северокавказская служба "Радио Свобода" 30 сентября прекращает эфирное вещание на чеченском языке. Программы в последнее время выходили в эфир 20-минутными блоками в 04.00 и в 16.00.

Напомним, что с 31 мая были прекращены трансляции на аварском и черкесском языках. Причина закрытия указанных служб на сегодняшний день остаётся неизвестной. Таким образом, с 1 октября Северокавказская служба остаётся только на сайте "Радио Свобода" <<http://www.radiomarsho.com/>>.

*Хорошего приёма и 73!*

## Кварцевые лестничные фильтры на частоту 30...70 МГц. Часть 5

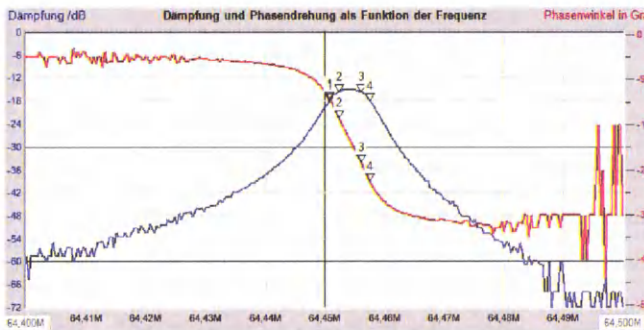
**ХАЙО ЛОХНИ, Германия/Россия, г. Гай Оренбургской обл.**

**Фильтры на частоту 64455 кГц для трансверов Icom (РПУ "Бригантина" и Р170П — 65128 кГц)**

Некоторые трансверы Icom имеют достаточно большое усиление до второго смесителя, и их четырёхрезонаторный фильтр в первой ПЧ в некоторых случаях не может подавить помеху от местного соседа — радиолюбителя.

А в некоторых российских магистральных приёмниках фильтры имеют слишком большую полосу пропускания — 20...60 и даже 100 кГц. Если их использовать в режиме панорамного обзора, их качественная АЧХ выручает (при правильной настройке). В "спортивном режиме" при приёме

CW/SSB это приводит к излишним проблемам. Даже два одинаковых фильтра не обеспечат требуемого подавления сигнала на зеркальной частоте для второй ПЧ. Это как-то не соответствует тому,



**Рис. 5.1**

#### Фильтр QF2 с импедансом 15 Ом

На двух резонаторах 64462-24 среднего качества можно сделать узкополосный фильтр с низким импедансом — 15 Ом и плоской вершиной протяжённостью 3 кГц (рис. 5.1). Это — его "крайняя низкочастотная" настройка с центральной частотой 64453 кГц. Для этого фильтра ёмкость конденсаторов: C1 = C3 = 39 пФ, C2 = 68 пФ. Чтобы точно попасть на частоту 64455 кГц, надо применить резонаторы 64464-24.

Если ёмкость среднего конденсатора немного уменьшить, при импедансе 15 Ом полоса пропускания по уровню -3 дБ увеличится до 10 кГц (при плоской вершине протяжённостью 6 кГц), потери в полосе пропускания уменьшатся на 0,5 дБ, центральная частота будет точно на 64455 кГц (рис. 5.2). Такой фильтр практически идеально впишется в концепцию многих РПУ в трансверях Icom.

Если применить резонаторы с отличающимися по частоте паразитными резонансами, получится очень хороший фильтр, который на уровне -40 дБ "чистит" на всех частотах (рис. 5.3). Симметрия фильтра отличная, и её корректировки не требуется.

*Продолжение.*

*Начало см. в "Радио", 2016, № 7—10*

что приёмники "набрали" вес далеко за 10 кг, — много металла и экранов.

Симметрия фильтра отличная, и её корректировки не требуется.



К сожалению, узкополосные фильтры имеют низкий импеданс, поэтому потери у них сравнительно большие. В этом примере они составляют 5 дБ без учёта цепей согласования. К такому

пускания 14 кГц (по уровню  $-3$  дБ) и потерями не более 3,5 дБ.

После налаживания фильтра подстроечные конденсаторы можно заменить конденсаторами для поверхност-

15 кГц (в IC-7600) лучше подавляются помехи при отстройке более  $\pm 25$  кГц. В этом фильтре применены резонаторы 64453-24, импеданс — 160 Ом.

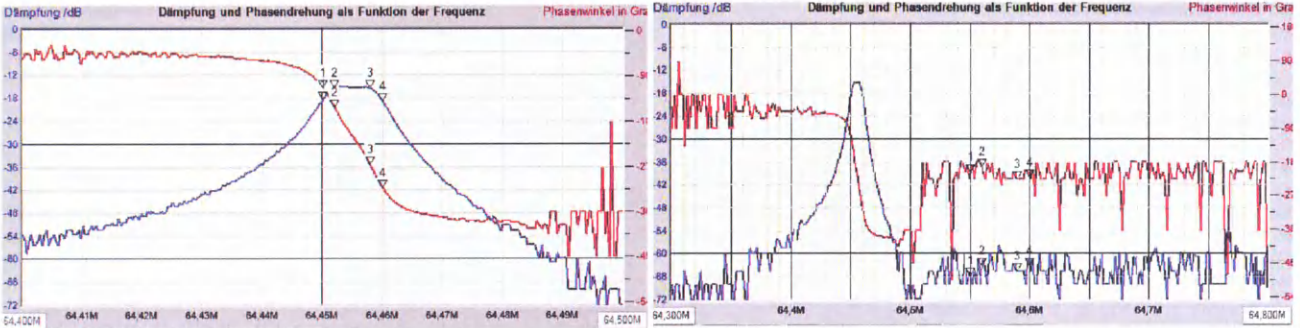


Рис. 5.2

Рис. 5.3

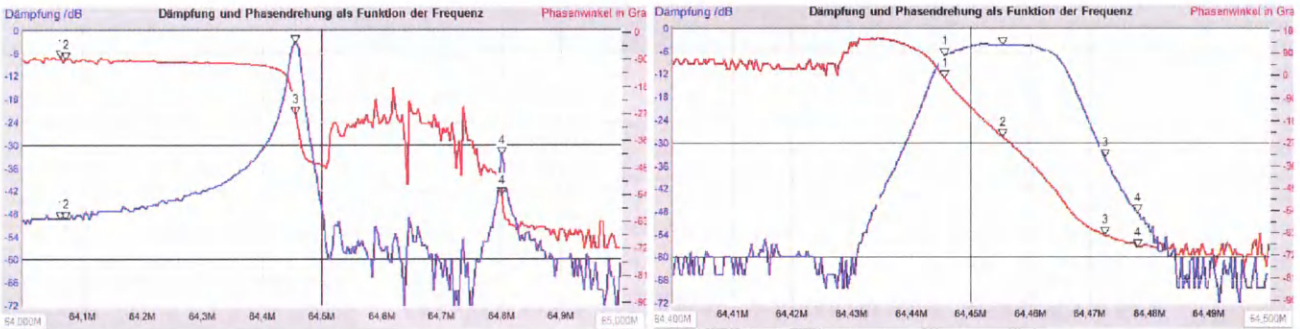


Рис. 5.4

Рис. 5.5

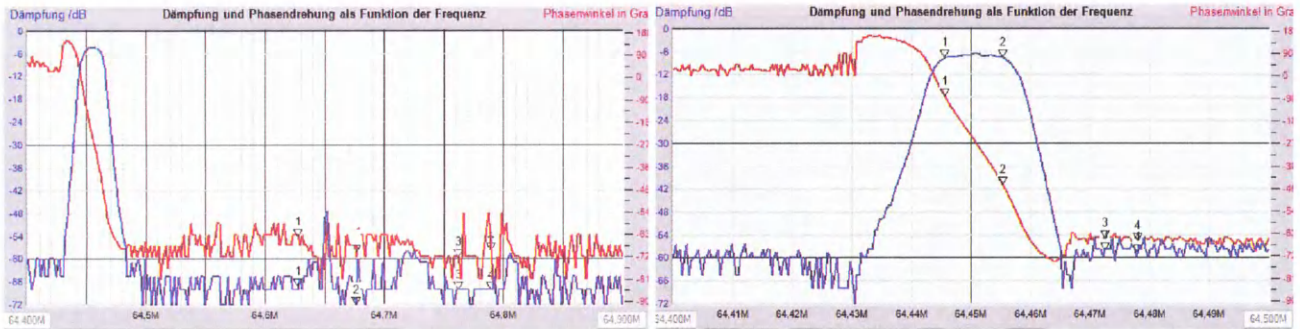


Рис. 5.6

Рис. 5.7

фильтру можно напрямую подключить УПЧ на двух полевых транзисторах BF862 (и аналогичных), включённых по схеме с общим затвором и суммарной крутизной 66 мА/В. В этом случае цепи согласования не потребуются. У такого УПЧ можно установить выходной импеданс 150 Ом, в результате получится усиление не менее 14 дБ в полосе прозрачности последующего фильтра.

### "Антишумовой" фильтр QF2

При преобразовании сигнала из первой ПЧ во вторую преобразуется не только полезный сигнал, но ещё и шум, присутствующий на частоте зеркального канала. Чтобы этот шум подавить, непосредственно перед вторым смесителем достаточно установить несложный фильтр на двух резонаторах. Такой фильтр (рис. 5.4) можно сделать на резонаторах 64457-24 и с "удобным" импедансом 50 Ом, ровной вершиной АЧХ протяжённостью 6 кГц, полосой про-

ного монтажа типоразмера 0805, и объём фильтра не превысит 0,5 см<sup>3</sup>. Если сделать три проволочных вывода, такую конструкцию без особого труда можно разместить практически в любом РПУ. Кстати, попутно улучшится избирательность всего тракта первой ПЧ. Если для фильтра нагрузкой служит диодный смеситель, то нагрузка на низкочастотной ПЧ этого смесителя должна быть широкополосной — 50 Ом, чтобы не "испортить" АЧХ кварцевого фильтра за счёт обратной реакции из тракта второй ПЧ.

### Универсальный фильтр QF6

Этот фильтр задуман как универсальный, поскольку его ФЧХ позволит обеспечить качественный приём узкополосной ЧМ или ФМ, а протяжённая плоская вершина АЧХ хороша для приёма SDR и AM (рис. 5.5). По сравнению с заводским четырёхрезонаторным фильтром с полосой пропускания

Поскольку резонаторы не были предварительно отобраны по паразитным резонансам, появилась одна "лазейка" с уровнем  $-45$  дБ с полосой пропускания 2 кГц, на 200 кГц выше центральной частоты (рис. 5.6). Общее подавление за полосой пропускания составляет 60...70 дБ. В этом фильтре для симметрирования АЧХ применены две катушки индуктивности 1,5 мкГн.

### Фильтр QF6 с плоской вершиной 10 кГц

На резонаторах 64453-24 с номинальным импедансом 90 Ом был собран макет фильтра с плоской вершиной протяжённостью 10 кГц, и при первой попытке получился "промах" на 4,5 кГц — на частоту 64450,5 кГц (рис. 5.7).

Более правильная форма АЧХ получилась при настройке фильтра на частоту 64451...64451,5 кГц, но при импедансе 80 Ом. Для коррекции "промаха" центральной частоты было решено при-



менить резонаторы 64456-24 вместо "очевидных" вариантов 66457-24 или 64458-24. За счёт этого новый фильтр "набирает" ещё 1 кГц по ширине полосы пропускания, которые выручают для налаживания более прямоугольной АЧХ. Новый фильтр с резонаторами 64456-24 был собран на печатной плате размерами 12×40 мм для его применения в IC-7600. Все компоненты для этого фильтра показаны на рис. 5.8. В согласующих цепях были применены катушки индуктивности LQW2B (82 нГн, на белом керамическом каркасе без ферритового магнитопровода).

Фильтр собран по схеме, показанной на рис. 5.9. АЧХ "правильной" формы (рис. 5.10) с центральной частотой 64455 кГц получилась при импедансе 75 Ом, из-за хорошего качества резо-

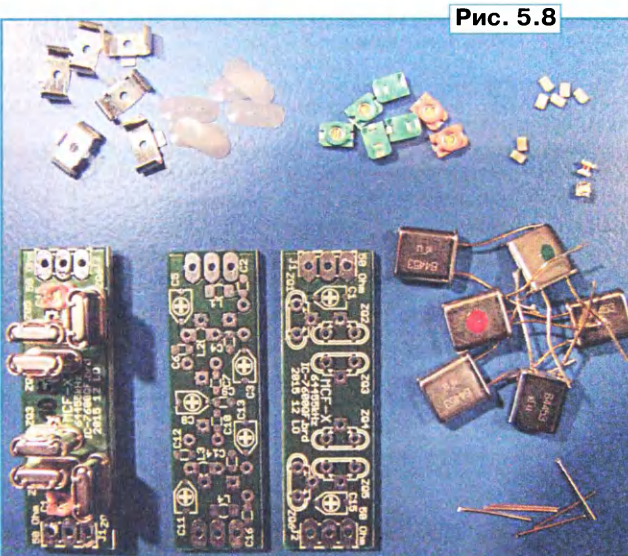


Рис. 5.8

### Фильтр QF6 с линейной ФЧХ

На резонаторах 64457-24 с импедансом 50 Ом получился фильтр с линейной ФЧХ (рис. 5.11), что делает его пригодным для полноценной работы предпочтительно с ЧМ, ФМ, а ещё при сканировании и поиске.

Потери в полосе пропускания — 9 дБ из-за невысокого качества применённых резонаторов, а с хорошими резонаторами оно будет 3...5 дБ. При консультации с изготовителем выяснилось, что к такому результату привела поспешность при производстве этого заказа, поэтому при заказе не стоит излишне торопить изготовителя. По его спецификации резонаторы являются генераторными, и есть

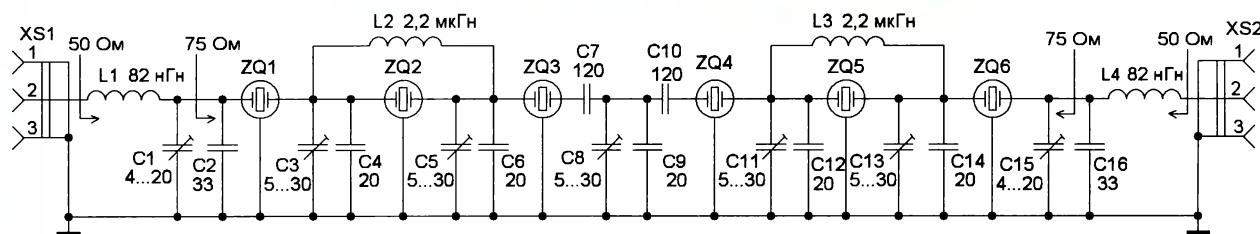


Рис. 5.9

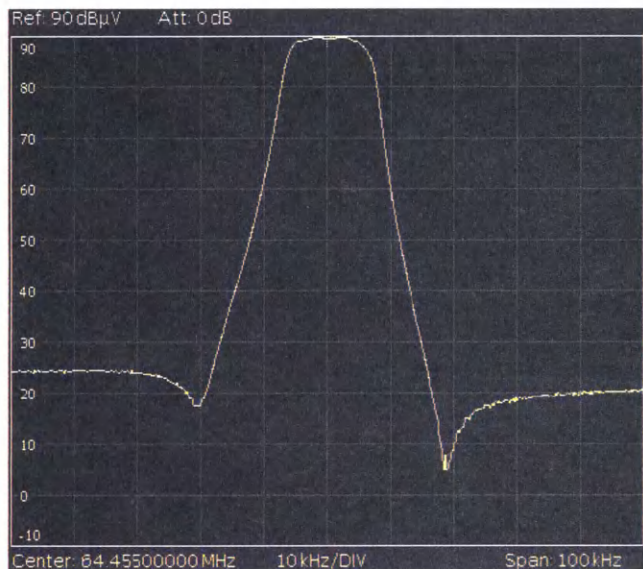


Рис. 5.10

наторов затухание в полосе пропускания не превысило 5 дБ.

При налаживании оказалось, что можно обойтись без симметрирующих катушек индуктивности L2 и L3, и на плате они не установлены. Полос затухания на левом скате АЧХ — ложный, он образуется из-за ёмкостной связи между входным и выходным соединительными проводами длиной по 15 мм. При установке фильтра в РПУ затухание доходит до 80...86 дБ. Полос затухания

искажения голосового сигнала из-за нелинейности ФЧХ. Фильтр также может заменить штатный кварцевый фильтр шириной 15 кГц в IC-7600. В разработанном фильтре при отстройке 20 кГц затухание — не менее 70 дБ, и ещё немаловажно, что при отстройке ±10 кГц затухание — не менее 30 дБ, которое выручает при работе в радиовещательных диапазонах для защиты второго смесителя от перегрузки сигналом соседнего канала.

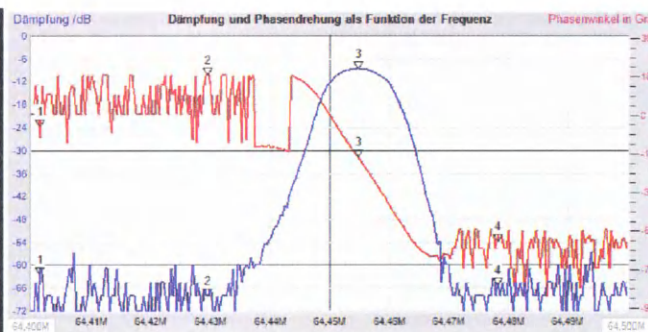


Рис. 5.11

(-85 дБ) на правом скате реальный и определяется резонаторами. Этот фильтр оптимален для приёма SDR, AM и SSB, при приёме узкополосной ЧМ могут появиться терпимые

разные способы подогнать кристаллы к требуемой частоте, важно применять подходящую заготовку. Иногда приходится кристалл подтягивать "издалека", в результате для фильтров получаются не особо хорошие резонаторы.

Протяжённость линейного участка ФЧХ — 15 кГц. Этот фильтр может идеально заменить в приёмнике трансивера Icom штатный фильтр, если качественный приём AM не так уж важен. Все побочные резонансы подавлены на 50 дБ, при этом резонаторы предварительно не были подобраны. При таком низком импедансе максимальное заграждение может быть большим и существенно зависит от топологии печатной платы, на которой смонтированы элементы фильтра. Чтобы получить "полукруглую" вершину, надо увеличить ёмкость конденсаторов C4 и C6 до 6С, а ёмкость крайних конденсаторов уменьшить до 0,3С.



## Фильтры на частоту 70200 кГц для РПУ EKD 300 и EKD 500

В приёмниках EKD 300 и EKD 500 (производство ГДР 80-е годы прошлого века) применён шестирезонаторный кварцевый фильтр MQF 70.2-1600-1 с полосой пропускания не менее 16 кГц. Потери (6 дБ) в этом фильтре и применение пассивного смесителя заставили

кания 2,8 дБ при импедансе 180 Ом. Плоская вершина протяжённостью 10 кГц и полоса пропускания 24 кГц (по уровню -6 дБ) позволяет обеспечить качественный приём узкополосной ЧМ и SDR (рис. 5.12). Симметрирование не было сделано, чтобы получить максимальное подавление за полосой пропускания (не менее 46 дБ), в том числе на частоте зеркального канала (68800 кГц), а также

70,2 МГц с добротностью не менее 10. Если сравнить АЧХ этого фильтра с QF6 с полосой пропускания 10 кГц, то общий выигрыш не очень заметный. В "ближней зоне" улучшение составит только 10...12 дБ.

Такой фильтр пригодился бы в анализаторе спектра, так как вершина полукруглая и скаты симметричные, а ФЧХ — линейная, без резких изгибов.

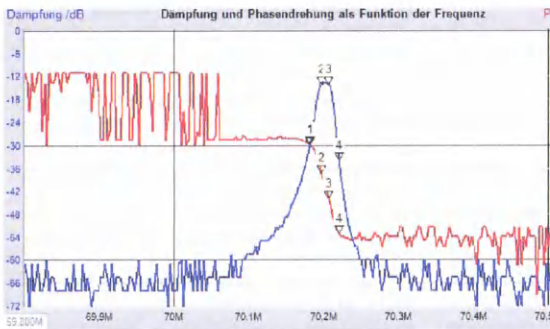


Рис. 5.12

разработчиков оптимизировать тракт первой ПЧ по шуму, а не по динамическому диапазону. Но самый большой просчёт (в EKD 500 он исправлен) — это подача сигнала первой ПЧ однофазно на балансный смеситель. Из-за этого приёмник утратил не менее 16 дБ возможного динамического диапазона.

При стандартной комплектации приёмника во второй ПЧ установлен ЭМФ с полосой пропускания 6 кГц, но по каким-то соображениям он пропускает полосу частот 200...206 кГц и поэтому "ловит" АМ-сигналы "боком". Ещё есть SSB-фильтр с полосой пропускания 197...200 кГц. В итоге во вторую ПЧ из первой поступают сигналы в диапазоне 70197...70206 кГц, поэтому центральная частота фильтра первой ПЧ должна быть 70201,5 кГц, и он должен иметь плоскую вершину протяжённостью 10 кГц. Если внимательно посмотреть документацию на фильтр MQF70.2-1600, его основные параметры практически полностью совпадают с указанными (полоса пропускания по уровню -1 дБ — 10 кГц, центральная частота — 70201 кГц).

При разработке фильтров для этого приёмника оказалось, что у приобретённых резонаторов на частоте около 70 МГц подгонка резонанса при  $CH = 24$  пФ во время изготовления вызывает разброс собственного последовательного резонанса кварцев в диапазоне 70185...70190 кГц. Этот эффект наблюдался у 80 % резонаторов 70186-24 и 70189-24. Если это учесть при построении фильтра, можно улучшить избирательность при большой отстройке и прямоугольность АЧХ.

### Фильтр QF3 с малыми потерями

На резонаторах 70200-24 получился фильтр с центральной частотой 70201 кГц и потерями в полосе пропус-



Рис. 5.13

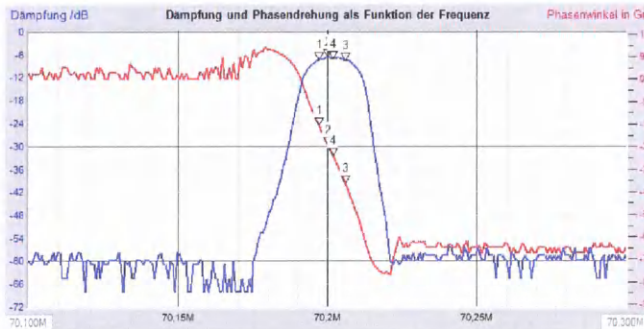


Рис. 5.14

в области паразитных резонансов (70600 кГц). Для согласования с 50-омным трактом применены Г-образные LC-цепи на качественных элементах ( $L = 0,18$  мкГн,  $C = 20$  пФ), при этом затухание в полосе пропускания увеличилось до 3 дБ.

### Фильтр QF4 с полосой пропускания 6 кГц

Цель эксперимента — построить фильтр с шириной полосы пропускания 6...7 кГц. С резонаторами 70200-24 центральная частота оказалась (рис. 5.13) смещена на 5 кГц до  $F_0 = 70195$  кГц, и поэтому для такого фильтра надо заказывать резонаторы 70205-24 ( $F_0 = 70200$  кГц) или 70208-24 ( $F_0 = 70203$  кГц).

Импеданс фильтра — 50 Ом, но ёмкости конденсаторов подобраны с завышенными на 20 % значениями номинальной ёмкости, поэтому получились завышенные потери в полосе пропускания — 7 дБ. Паразитных резонансов нет до уровня -50 дБ. При правильной конструкции и монтаже заграждение возрастёт до 80 дБ. Для симметрирования АЧХ установлен только один дроссель  $L = 0,82$  мкГн, из-за чего на частоте 25...30 МГц возникает резонансный пик на уровне -30 дБ, который надо подавить LC-контуром на частоту

### Фильтр QF6 с плоской вершиной и полосой пропускания 10 кГц

С резонаторами 70200-24 был изготовлен фильтр с центральной частотой 70201 кГц и импедансом 120 Ом. Протяжённость плоской вершины — 10 кГц, полоса пропускания по уровню -6 дБ — 22 кГц (рис. 5.14). Коэффициент прямоугольности по уровням 6/60 дБ — примерно 2,5 и по уровню -60 дБ этот фильтр заметно лучше и надёжнее заграждает, чем штатный

фильтр MQF70.2-1600-1.

Низкий импеданс 120 Ом обеспечивает симметричную форму АЧХ и большое подавление за полосой пропускания без дополнительных LC-контуров. Согласование на 50 Ом осуществляется Г-образным звеном ( $L = 0,15$  мкГн,  $C = 22$  пФ). Относительно линейная ФЧХ позволит дооборудовать эти приёмники трактом узкополосной ЧМ, а также установить высокоэффективный подавитель импульсных помех для SSB/CW.

Потери в полосе пропускания — 7 дБ, что на 1 дБ больше, чем у MQF70.2-1600-1 (10 %). Но прямое подключение фильтра к усилительному каскаду (без принудительного согласования с помощью резистора) уже даст заметный выигрыш по шуму, если согласование обеспечить за счёт активного входного импеданса усилительного каскада. Для этого фильтра можно переделать второй смеситель, включив полевые транзисторы в схему с общим затвором. Суммарная крутизна в смесительном режиме двух транзисторов должна быть около 8 мА/В, что не трудно обеспечить за счёт тока покоя транзисторов КП307Г или КП307Д.

(Окончание следует)

# Кварцевые лестничные фильтры на частоту 30...70 МГц.

## Часть 6

ХАЙО ЛОХНИ, Германия/Россия, г. Гай Оренбургской обл.

### Фильтры на частоту 70455 кГц для трансиверов Yaesu

В "объёмных" трансиверах 90-х годов прошлого века можно найти много вариантов улучшения параметров приёмного тракта за счёт применения дополнительных относительно несложных кварцевых фильтров.

### Фильтры QF2

Продолжим "классику" фильтров на двух резонаторах с малым импедансом. В большинстве случаев они не требуют симметрирования, обеспечивают подавление паразитных резонансов не менее 26 дБ без предварительного отбора и не менее 50 дБ при подборе. В партии из восьми резонаторов 70460-24 среднего качества были составлены

уровню -3 дБ (рис. 6.1), но с "промахом" по центральной частоте — 70450 вместо 70455 кГц. С резонаторами 70465-24 всё было бы идеально на частоте 70455 кГц.

Малое сопротивление резонаторов, несмотря на импеданс фильтра 15 Ом, обеспечило потери в полосе пропускания не более 4,4 дБ. Ёмкость всех конденсаторов в фильтре — 82 пФ. Этот фильтр хорошо подавит шум на частоте зеркального канала на первой ПЧ и в целом значительно улучшит избирательность приёмника.

На резонаторах 70460-24 в фильтре с импедансом 50 Ом получился фильтр (рис. 6.2) с центральной частотой 70453 кГц, затухание в полосе пропускания стало меньше — 2,8 дБ, и его уже можно установить после пассивного

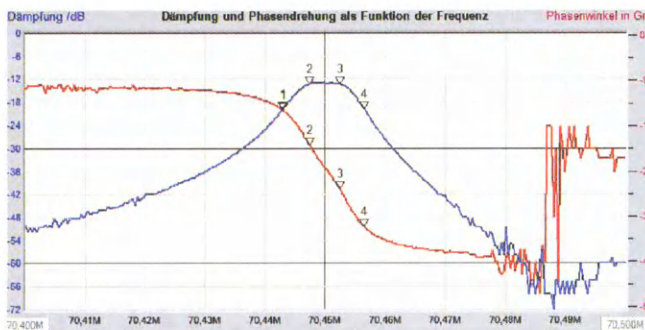


Рис. 6.1

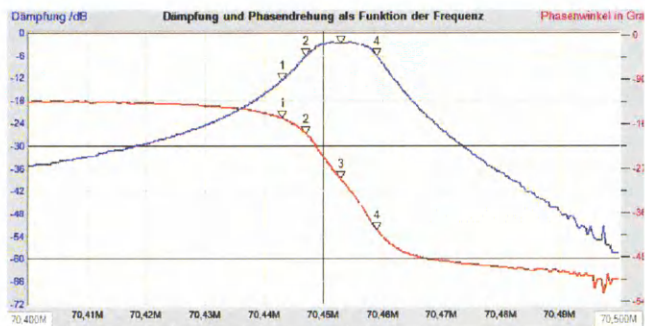


Рис. 6.2

четыре пары по совпадению частоты их последовательного резонанса  $F_{\text{нос}}$ . Это — важнейший момент для таких фильтров, так как центральная частота АЧХ будет только на несколько килогерц больше  $F_{\text{нос}}$ . Динамическое сопротивление резонаторов было 6...11 Ом, и для эксперимента выбрана пара с самыми низкими значениями. В результате получился "красивый" фильтр с плоской вершиной протяжённостью 5 кГц, полосой пропускания 10 кГц по

смесителя, но для этого надо подобрать кварцы по несовпадению паразитных резонансов. ЧХ измерялись без внешнего аттенюатора (-6 дБ), поэтому паразитная ёмкость короткого кабеля вошла "в настройку". В этом фильтре для "выхода" на частоту 70455 кГц потребовались бы резонаторы 70462-24.

Чтобы на резонаторах 70460-24 фильтр "попал" на центральную частоту 70455 кГц, его импеданс должен быть около 70 Ом, при этом потери в полосе пропускания не превысят 2,6 дБ, а протяжённость плоской вершины будет около 9 кГц.

### Фильтр QF4 с плоской вершиной 12 кГц

В этом примере ставилась задача получить на четырёх резонаторах фильтр с плоской вершиной и малыми потерями (не более 2 дБ). Для этого придётся увеличить импеданс до оптимального значения, чтобы не чрезмерно росли потери от согласующих цепей. При  $Z = 180$  Ом "нашлись" идеально плоская вершина протяжённостью 12 кГц и крутые скаты (рис. 6.3).

С резонаторами 70459-24 центральная частота — 70460 кГц, и для повторения конструкции с центральной частотой 70455 кГц нужны резонаторы 70454-24. И в этом примере симметрирования АЧХ не проводилось.

Прямоугольность получится хорошей, если резонаторы подобрать с отклонением по  $F_{\text{нос}}$  не более 500 Гц. В этом фильтре так и было сделано, но у трёх резонаторов совпали паразитные резонансы на частоте 70550 кГц. Ситуацию спас четвёртый резонатор, у которого подавление на этой частоте было около 40 дБ, поэтому общее подавление за полосой пропускания — не менее 50 дБ.

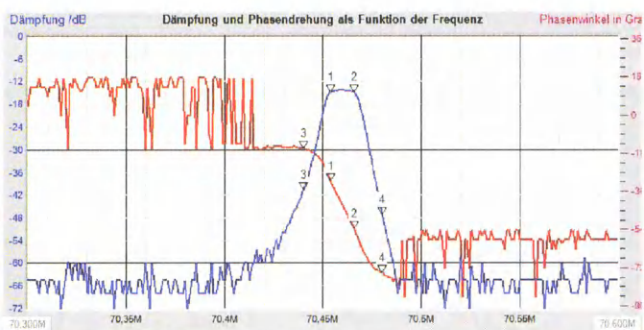


Рис. 6.3

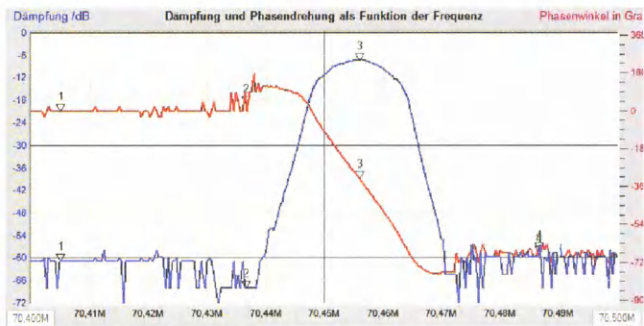


Рис. 6.4

### Фильтр QF6 для приёма ЧМ и ФМ

В приёмниках с малой дисперсией ГВЗ (групповое время запаздывания), предназначенных для приёма сигналов ЧМ, ФМ, цифровых видов модуляции и в анализаторах спектра, нужна полукруглая вершина АЧХ, чтобы ФЧХ была линейной. Для получения такого фильтра выбран импеданс 100 Ом, ёмкость крайних конденсаторов должна быть 0,2...0,3С. В фильтре применены резонаторы 70460-24 (рис. 6.4), минимальные потери в полосе пропускания — 2 дБ. Для точного попадания на частоту 70455 кГц надо заказать резонаторы

Окончание.

Начало см. в "Радио", 2016, № 7—11



70459-24. Полоса пропускания фильтра составляет 9 кГц (по уровню -3 дБ), подавление за полосой — не менее 56 дБ (до 80 дБ). Резонаторы были среднего качества и выбраны из партии из 8 штук. Катушки индуктивности не применялись.

Лестничные фильтры с полукруглой АЧХ всегда выигрывают по потерям по отношению к фильтрам с плоской вершиной, в этом случае — примерно 3 дБ. Но форма АЧХ для приёма AM и SSB в плане качества сигнала уже не совсем хорошая. Выигрыш по энергии несущей по центру влечёт за собой потери по информативности спектра. Но это дело разработчика — выбрать компромисс.

Если этот фильтр дополнить вторым фильтром на трёх резонаторах, можно получить суммарное заграждение за полосой пропускания не менее 100 дБ и построить тракт ПЧ для анализатора спектра.

### Мостовые фильтры

На частотах до 10,7 МГц высококачественные фильтры можно собрать по мостовой схеме, и хотелось бы понять, возможно ли их сделать на частотах 30...70 МГц на резонаторах, работающих на первой гармонике.

В мостовых фильтрах резонаторы работают не как связанные контуры, а используют их смещение по частоте. Поскольку в наличии были резонаторы вы-

сокого качества (см. рис. 2.9) 55844-24 и 55851-24 из партии одного производственного цикла, я собрал макет на четырёх резонаторах. Его АЧХ сформировалась сразу (рис. 6.5) при импедансе 140 Ом. Как и ожидалось, у АЧХ фильтра резкий переход от вершины к крутым скатам, что резко улучшает коэффициент прямоугольности  $K_{П(3/40)} = 3$ . Для двух таких фильтров  $K_{П(6/80)} = 3$ , а это уже профессиональный уровень! Форма АЧХ — симметричная, но смущают завышенные потери в полосе пропускания. Это обусловлено тем, что для ускорения эксперимента были применены готовые трансформаторы Т-622 фирмы Minicircuits, которые на частоте 56 МГц уже "хромают" на 2...3 дБ из-за паразитных реактивных составляющих, если импеданс превышает 50 Ом. Симметрия трансформатора при этом хорошая.

В мостовых фильтрах паразитные резонансы обычно проявляются сильнее. Но в данном эксперименте они не превысили уровень -27 дБ (рис. 6.6), но не так уж плохо для фильтра на "быструю руку". Для ваших размышлений приведу схему фильтра (рис. 6.7). Здесь применены резонаторы с разномом  $F_{\text{ноч}}$  не менее 5 кГц, причём  $F_{ZQ1} = F_{ZQ4}$  и  $F_{ZQ2} = F_{ZQ3}$ . Конденсаторы С4 и С5 "отвечают" за стыковку, их подбирают для получения плоской вершины АЧХ без провала.

Конденсаторы у трансформаторов предназначены для компенсации паразитных индуктивностей обмоток. Ёмкость конденсаторов на частоте 35 МГц — 15...33 пФ. Лучший результат будет, если их равномерно распределить по обмоткам. На практике сначала подбирают конденсатор С1 (или С8) по критерию максимального уровня сигнала в полосе пропускания. Потом надо поделить полученное значение ёмкости на три и установить конденсаторы С1 = С2 = С3 с такой ёмкостью. Подборкой конденсаторов С2, С3 (С6, С7) проводят балансирование по критерию наилучшего заграждения за полосой пропускания, и затем конденсаторами С1 и С8 добиваются максимальной амплитуды сигнала в полосе пропускания, без нарушения плоскости вершины АЧХ.

Для правильного положения центра АЧХ на частоте 55844,5...55845 кГц надо было иметь под рукой резонаторы 55852-24 и 55845-24, да ещё высокого качества.

В другом мостовом фильтре на резонаторах 55844-24 и 55844-12 (это соответствует 55839-24) частоты резонаторов отличались примерно на 5...6 кГц, и можно установить правило, что полоса пропускания фильтра будет примерно вдвое больше разности частот  $F_{\text{ноч}}$  резонаторов (рис. 6.8).

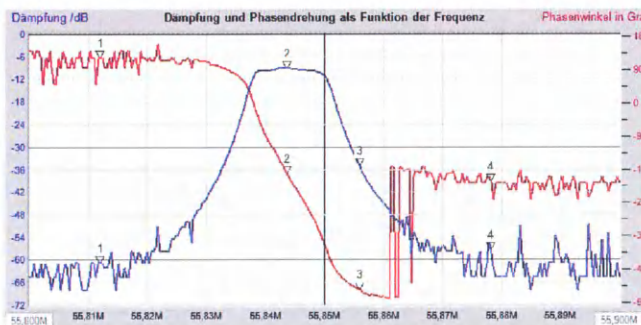


Рис. 6.5

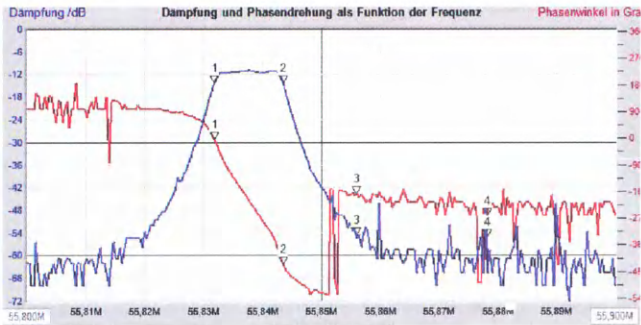


Рис. 6.8

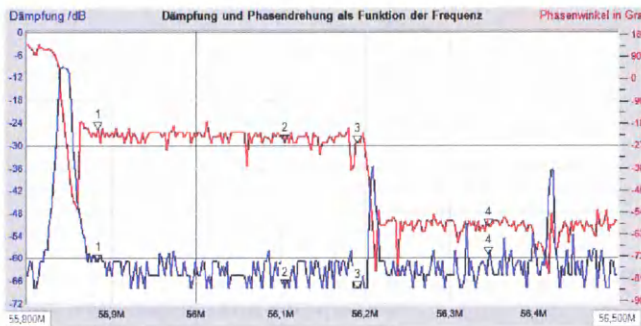


Рис. 6.6

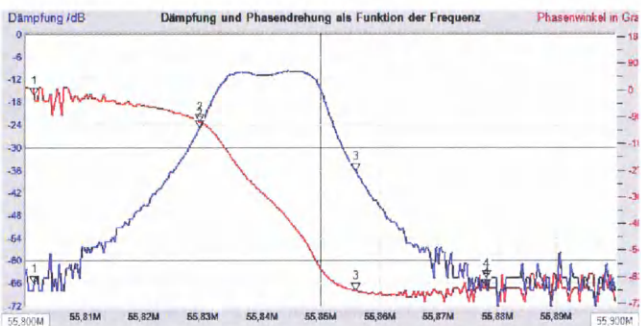


Рис. 6.9

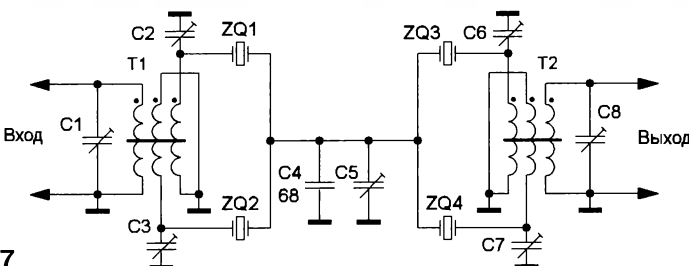


Рис. 6.7

С резонаторами 55844-12 (соответствует 55839-24) и 55851-24 импеданс фильтра увеличился в два раза — 290 Ом, и полоса пропускания стала шире — 15 кГц (рис. 6.9). Но настройка фильтра очень капризная из-за сильного влияния паразитных ёмкостей, на краях вершины АЧХ уже закруглена.

Результаты макетирования показали, что мостовые фильтры на резонаторах, работающих на первой гармонике на частотах 30...70 МГц, реализуемы. Од-

нако полагая АЧХ самих резонаторов создаст сравнительно небольшую разницу в плечах моста, из-за чего потери в полосе пропускания сравнительно большие (6...10 дБ на четырёх резонаторах), и это не позволит построить фильтры с полосой пропускания менее 10 кГц (на частоте 50 МГц). К трансформаторам предъявляются высокие требования по добротности, поэтому широкополосные трансформаторы малопригодны, они хорошо работают только до частоты 20 МГц. Фильтры обладают хорошей формой АЧХ и прямоугольностью. При этом самые критичные параметры — качество резонаторов и отсутствие паразитных резонансов. Поэтому этот тип фильтров требует особой договорённости с изготовителем резонаторов, и на случайность надеяться не стоит. Для радилюбительской практики этот фильтр очень сложный и мало предсказуемый при реализации.

Рис. 6.10

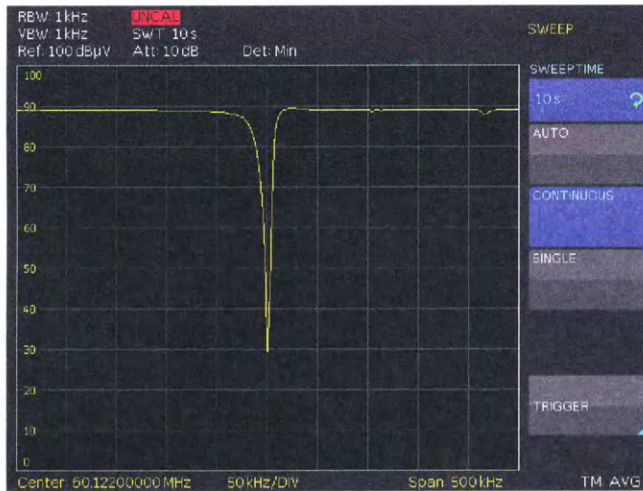
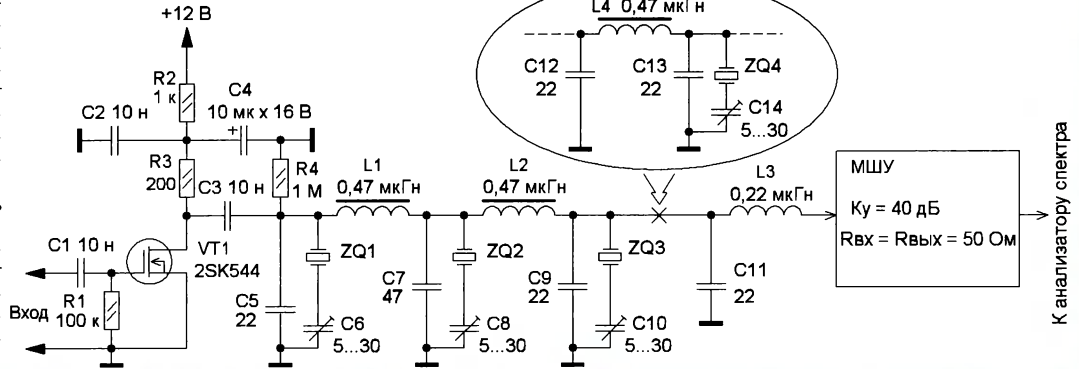


Рис. 6.11

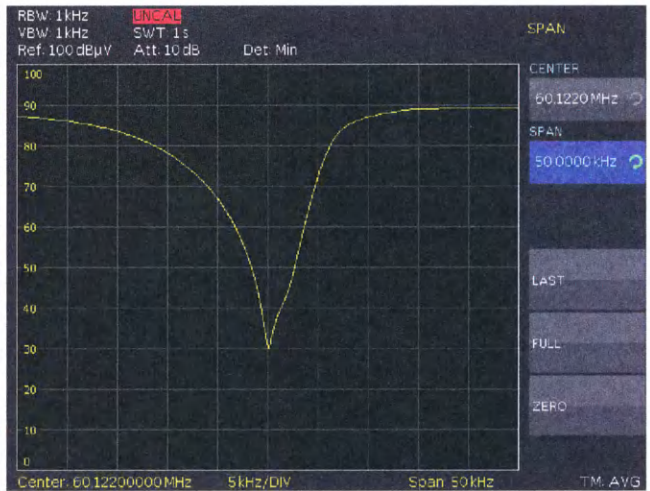


Рис. 6.12

### Режекторный фильтр на частоте 60122 кГц

Первый гетеродин качественного приёмника существенно влияет на помехоустойчивость в основном за счёт шума вблизи основной спектральной линии. Существуют несколько способов измерения уровня этих шумов, и в большинстве случаев для этого требуется дорогостоящая измерительная аппаратура. Один из способов — прямое измерение этих шумов. Он напоминает способ, с помощью которого астрономы фотографируют солнечную корону при полном солнечном затмении. Когда Луна пол-

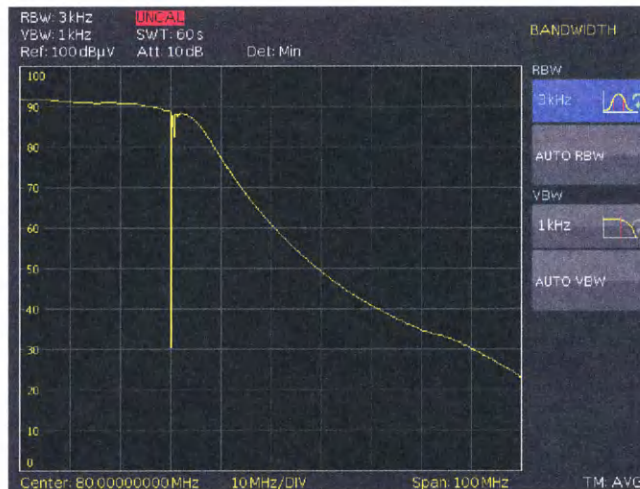


Рис. 6.13

ностью закрывает ярко светящийся диск Солнца, становится видно всё происходящее в её короне вблизи поверхности.

Чтобы при прямом измерении боковых шумов не "ослепить" измерительный прибор, нужно "затмение" для основной линии в спектре. Тогда можно с помощью недорогого анализатора спектра (или измерительного приёмника) измерить шумы с уровнем нескольких микровольт. Для этого требуется режекторный фильтр, настроенный на частоту гетеродина. Схема такого фильтра показана на рис. 6.10, а его

АЧХ (на трёх резонаторах) — на рис. 6.11. Здесь и далее разрешение по вертикали — 10 дБ/дел.

Макет был сделан на резонаторах 60127-24 среднего качества. Частота собственного резонанса  $F_{\text{пос}} = 60117$  кГц, и в данной партии разброс был не более  $\pm 1$  кГц. Фильтр можно без особого ухудшения параметров перестраивать в диапазоне частот 60119...60132 кГц. Для проверки работы ФАПЧ в приёмнике TECSUN S-2000 (и аналогичных) надо настроить фильтр на частоту, кратную двум, я выбрал 60122 кГц.

Импеданс тракта — 200 Ом, поэтому с помощью одного резонатора можно обеспечить подавление 18...26 дБ. Хорошая экранировка позволит с помощью такого фильтра на 4, 5 и 6 резонаторах добиться подавления сигнала на 70, 85 и 100 дБ соответственно. Нет смысла устанавливать в один фильтр без экранировки более трёх резонаторов, но и они обеспечат подавление до 58 дБ, и иногда даже этого достаточно.

Паразитные резонансы влияют мало и могут при измерении шума привести к заниженному результату до 2 дБ. Более внимательно надо разобраться с АЧХ вблизи её минимума (рис. 6.12).

Достоверные замеры шума возможны при отстройке более чем на 5...10 кГц, замеры шума гетеродина будут немного опти-



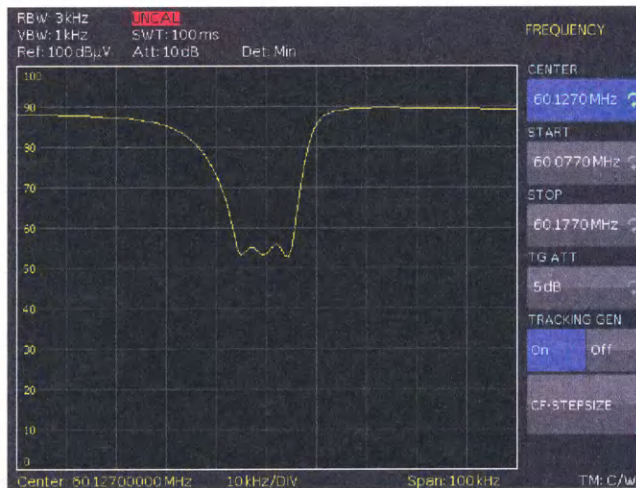


Рис. 6.14

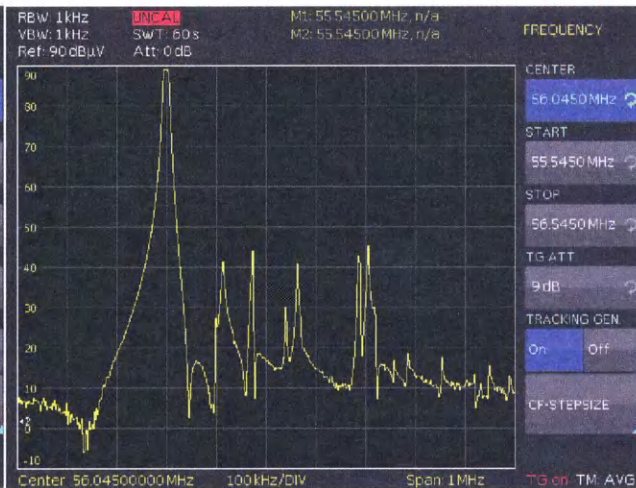


Рис. 6.15

мистичны по причине недостаточного подавления несущей. У недорогих анализаторов спектра (до 5000 долл. США) мгновенный (без переключаемых вручную attenuаторов) динамический диапазон редко превышает 80 дБ. Для качественного гетеродина в КВ-приёмнике надо провести измерения до уровня  $-160$  дБ по отношению к уровню несущей (в полосе пропускания 1 Гц). Поэтому режекторный фильтр должен подавить основную линию спектра не менее чем на 60...80 дБ. Этот фильтр дополнительно ещё работает и как ФНЧ, его частота среза находится вблизи частоты режекции (рис. 6.13). Поэтому он подавляет гармоники гетеродина не менее чем на 50 дБ, а они смогли бы перегрузить измерительный прибор в чувствительном режиме работы.

В отличие от полосового фильтра, электрическая нагрузка на резонаторы в режекторном фильтре намного меньше, поскольку они работают как цепи с коротким замыканием, а импеданс фильтра на порядок больше. На режетируемой частоте на резонаторах будет самое маленькое напряжение, поэтому на такой фильтр можно подавать сигнал мощностью до 100 мВт. Но на практике чаще всего уровень сигнала гетеродина КВ-приёмников — около 0 дБм, а уровень шумов —  $-160$  дБ (в полосе 1 Гц). В то же время большинство анализаторов имеют предельную чувствительность  $-120$  дБм (в полосе 100 Гц), и эту разницу компенсирует дополнительный МШУ с коэффициентом усиления 40 дБ, установленный после режекторного фильтра (это как телескоп у астрономов).

Основное преимущество этого способа заключается в том, что возможно прямое измерение уровня шумов, без применения дополнительных устройств (фазовращателей, смесителей), в которых возможны дополнительные искажения. Анализатор может работать на высоких частотах, где уровень помех меньше, и он, как правило, имеет максимальную чувствительность.

Такой режекторный фильтр можно применить в радиопередающих устройствах, радиореле, репитерах и других устройствах для подавления узкополос-

ных помех и собственных излучений. Полосу подавления фильтра можно увеличить за счёт расстройки резонаторов по частоте с помощью подстроечных конденсаторов. Пример АЧХ такого полосового режекторного фильтра показан на рис. 6.14, он подавляет сигналы на 30 дБ в полосе заграждения (!) шириной около 10 кГц (центральная частота — 60127 кГц) и собран на четырёх резонаторах 60127-24.

### Заключение

Новые материалы и способы изготовления компонентов заставляют нас пересмотреть старые варианты технических решений и позволяют добиться удивительных результатов. Я надеюсь, что предложенные примеры "авторских" кварцевых фильтров хоть немного изменили ваши взгляды на РПУ, в котором вы уже давно хотели улучшить не только избирательность, но и применить современные усилители и смесители. Во многом этому мешали "широкие ворота" (15...40 кГц) стандартных фильтров с импедансом в несколько килоом.

В моём самодельном приёмнике (на базе корпуса и контроллера TECSUN S-2000) с успехом работает шестирезонаторный фильтр на частоте 55844,5 кГц. Дополнительный фильтр на трёх резонаторах перед вторым смесителем "убирает" шуму по зеркальному каналу и гармонические искажения первого УПЧ. В результате DX-приём стал лёгким делом, даже если в том же диапазоне вблизи работает мощный КВ-передатчик.

Реализация предложенных в статье фильтров на печатной плате с хорошей "землей", конденсаторами для поверхностного монтажа, качественными катушками индуктивностей и подобранными резонаторами намного улучшает качество АЧХ по сравнению с фильтрами, собранными на макетной плате. Для примера на рис. 6.15 показана АЧХ фильтра QF3 на частоте 55845 кГц. На рис. 4.4—4.7 показаны АЧХ фильтра на тех же резонаторах, и даже без общей экранировки узла. Нагрузкой на плате был активный смеситель (входное сопротивление — 50 Ом), для замеров АЧХ он переведён в режим усилителя (3 дБ), и сигнал взят с его выхода.

Как заявлено, в случае малого импеданса в фильтрах можно ожидать до 26 дБ дальнего заграждения для одного резонатора, если, конечно, топологию платы сделать грамотно. В этом — сильная сторона предложенных фильтров, и раньше не было возможности реализовать их в домашних радиолюбительских лабораториях.

### МОДУЛЬНАЯ РЕКЛАМА

Магазин электронных модулей —  
**ekits**

**Импульсные стабилизаторы напряжения дешевле в декабре!**

**SCV0031** — 5/3,3 В, 0,5/0,6 А, малые размеры, низкая цена;

**SCV0029** — 12 В, до 1,5 А, четыре выходных разъёма, подключение "на горячую";

**SCV0026** — 1,2...3,7 В, до 2 А, алюминиевая подложка;

**SCV0023** — 1,2...3,7 В, до 3 А, алюминиевая подложка;

**SCV0033** — 1,2...3,7 В, до 5 А, алюминиевая подложка, радиатор;

**SCV0036** — повышающие, 12В / 24В, алюминиевая подложка;

**Успейте купить в декабре со скидкой 7 %!**

[ekits.ru](http://ekits.ru)

\* \* \*

Переходник USB-GPIB, полностью совместимый с 82357B Agilent.

Цена — 21 тыс. руб.

[www.signal.ru](http://www.signal.ru)

Тел. (495) 788-40-67

\* \* \*

**СВЕТОДИОДНЫЕ ЛАМПЫ, СВЕТИЛЬНИКИ И ВСЁ ТАКОЕ...**

[www.new-technik.ru](http://www.new-technik.ru)

\* \* \*

Р/детали отеч. и имп. 9000 типов, книги, компьютеры, ПО. Ваш конверт. 190013, С.-Петербург, а/я 93, Киселёвой.