ПФ, ФНЧ И КСВ-метр

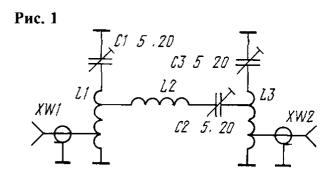
При работе на УКВ у радиолюбителей часто возникают проблемы электронной совместимости с другими средствами связи: служебной телефонией, радиовещанием (РВ), телевидением (ТВ).. В погоне за достижением максимальной чувствительности, минимального уровня собственных шумов в режиме приема (RX) и максимальной выходной мощности в режиме передачи (ТХ) при минимальных габаритах и затратах (как технического, так и экономического характера) конструкторы УКВ аппаратуры упрощают входные и выходные цепи приемопередатчика. Особенно это актуально для переносных радиостанций, работающих в стационарных условиях Как следствие этого, в тракт приема проходят сигналы так называемого зеркального канала (отстоит от основного на два значения ПЧ). Находящиеся поблизости передатчики служебных радиостанций «поддавливают» приемник вследствие малого динамического диапазона усилителя РЧ и смесителя, создают массу комбинационных помех (ложных каналов приема) изза преобразования на входе приемника.

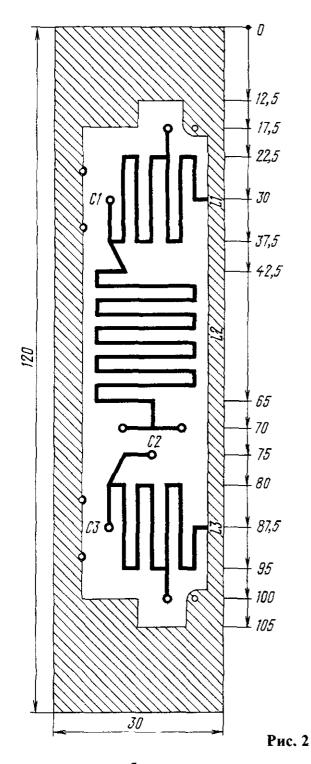
В режиме передачи простые фильтры нижних частот (ФНЧ) не способны подавить полностью даже гармоники основной частоты ТХ, не говоря уже о всей массе комбинационных частот (гетеродина, преобразователя частоты, умножителей частоты, биений между их колебаниями и гармониками), которые находятся в полосе прозрачности ФНЧ и беспрепятственно проходят в антенну. . Последияя надежда на хорошо настроенную, согласованную антенну. Но, как правило, и это не спасает - относительно комбинационных частот она оказывается расстроенной и рассогласованной: фидер (кабель) вместе с корпусом радиостаиции и заземлением начинает излучать, создавая помехи ТВ и РВ (TVI и ВСІ соответственно). О последствиях можно и не говорить - они известны всем радиолюбителям, работающим на передающей аппаратуре Выход из положения - применение устройств, пропускающих полезные сигналы и подавляющих нежелательные, побочные, т. е. фильтров: полосовых $(\Pi \Phi)$, подавляющих полосы частот выше и ниже рабочей, дополнительных ФНЧ - для увеличения степени подавления высших гармоник основного сигнала и гармоник комбинационных частот. Поскольку степень настройки антенны и ее согласования с фидером также играет немалую роль в технике связи, автор счел необходимым привести в статье, посвященной в основном фильтрам, и конструкцию УКВ рефлектометра.

Сужение полосы пропускаемых частот (RX и TX) актуально в плане все возрастающей «населенности» диапазона УКВ и эквивалентно по действию большим затратам энергии от применения на входе RX, например, мощных транзисторов в линейном режиме по отношению к внеполосным (лежащим за пределами диапазона 144...146 МГц) сигналам.

В радиолюбительском журнале [1] описан ПФ, принципиальная схема которого приведена на рис. 1. Как видно, он состоит из двух параллельных колебательных контуров (L1C1 и L3C3) и одного последовательного (L2C2), включенного между ними. Параллельные контуры представляют собой большое сопротивление для частот, на которые они настроены, и малое - для более низких и более высоких частот. Иными словами, они выделяют напряжения резонансных частот и создают режим короткого замыкания для сигналов, частоты которых лежат вне полосы пропускания. Последовательный же контур L2C2, наоборот, пропускает колебания резонансной частоты, а для остальных представляет собой большое сопротивление, т. е. задерживает их. Чтобы обеспечить достаточную крутизну скатов АЧХ, элементы ПФ включены определенным образом, образуя трехполосный фильтр Баттерворта с согласованием контуров как между собой, так и с источником сигнала, и с нагрузкой.

ПФ выполнен на небольшой плате из фольгированного стеклотекстолита толщиной 1,5 мм (рис. 2). Расстояния до его характерных



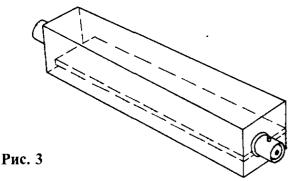


точек указаны для облегчения переноса рисунка проводников на заготовку платы. Сначала на нее наносят сетку со стандартным шагом 2,5 мм, затем отмечают иазванные точки, после чего переносят рисунок, используя, например, лак для ногтей (слегка разбавленный и подкрашенный). Перед переносом рисунка проводников необходимо уточнить расположение отверстий под выводы имеющихся в наличии подстроечных конденсаторов. Ширина печатных проводников должна быть равна 1,5...2 мм. Для рисования удобно использовать медицинский шприц с укороченной иглой и «линейку», состоящую из подставки, гитарного колка и стальной струны. Следует помнить, что от четкости линий рисунка зависит добротность катушек и в конечном счете эффективность работы ПФ. В крайнем случае его можно изготовить методом имитации печатного монтажа, применив вместо фольги приклеенный к плате из стеклотекстолита посеребренный провод диаметром 1,5. .2 мм, а еще лучше - шину прямоугольного сечения (например, сечением 0,8х2,8 мм). Если нет посеребренного провода, можно использовать обмоточный, например, марки ПЭВ-2 или ПЭВП (прямоугольного сечения).

При использовании круглого провода или шины прямоугольного сечения возрастает межвитковая емкость L1-L3 и ухудшаются параметры ПФ (расширяется полоса пропускания, уменьшается крутизна скатов АЧХ), но увеличивается его электрическая прочность. Дальнейшего увеличения последней можно добиться применением конденсаторов, которые могут рассеивать большую реактивную мощность. На это способны конденсаторы постоянной емкости и подстроечные с воздушным диэлектриком (КПВ). ПФ с первыми из них придется настраивать подбором индуктивности. При использовании КПВ возрастает (из-за их большего объема) паразитная емкость между входом и выходом ПФ, для устранения которой придется вводить в конструкцию экраны.

Вырезать проводники катушек с помощью острого ножа не рекомендуется: в этом случае края фольги проводников поднимаются, из-за чего увеличивается «межвитковая» емкость, снижающая добротность катушек. После травления поверхность фольги желательно посеребрить (не лудить!), в крайнем случае - отполировать до зеркального блеска и покрыть электроизоляционным лаком (за исключением мест, подлежащих пайке, которые необходимо облудить). Проводимость лака проверяют с помощью омметра (подобно тому, как это делают при проверке дистиллированной воды). При касании его щупами поверхности лака стрелка прибора на самом высокоомном пределе не должна отклоняться от последней отметки шкалы (бесконечное сопротивление). Если есть возможность, изоляционные свойства лака желательно проверить специальным прибором - мегомметром Измеренное им сопротивление должно быть не менее нескольких десятков мегаом.

Подстроечные конденсаторы C1-C3 можно смонтировать как со стороны печатных проводников, так и с противоположной (в последнем случае необходнмо по месту просверлить в плате отверстия под их выводы, как показано на рис. 2). В авторском варианте ПФ применены подстроечные конденсаторы зарубежного производства. Из отечественных можно использовать (при соответствующей коррекции размеров посадочных мест) КТ4-21, КТ4-23, КТ4-24, КПК-МП. В последнем случае, возможно, придется изменить ориентацию



конденсаторов, чтобы вписаться в отведенные места, или даже увеличить габариты платы, например, отодвинув L3 от L2

Готовую плату ПФ опаивают по периметру полосками тонкой (0,3 .0,5 мм) листовой меди шириной 30 мм (можно использовать латунь, белую жесть, фольгированный стеклотекстолит). Получившуюся обечайку с обеих сторон закрывают крышками из того же материала (рис. 3), а на ее торцевых стенках устанавливают коаксиальные розетки XW1, XW2 (например, CP-50-73Ф). В крышке, расположенной над конденсаторами C1-C3, сверлят три отверстия диаметром 4...5 мм для прохода отвертки при настройке. ПФ может работать как в 50-, так и в 75-омных цепях (небольшую разницу можно учесть при настройке и скорректировать)

Настраивают ПФ изменением емкости подстроечных конденсаторов C1-C3 с помощью диэлектрической отвертки по максимальному уровню сигналов корреспондентов или маячков в режиме RX. Окончательно контуры под-

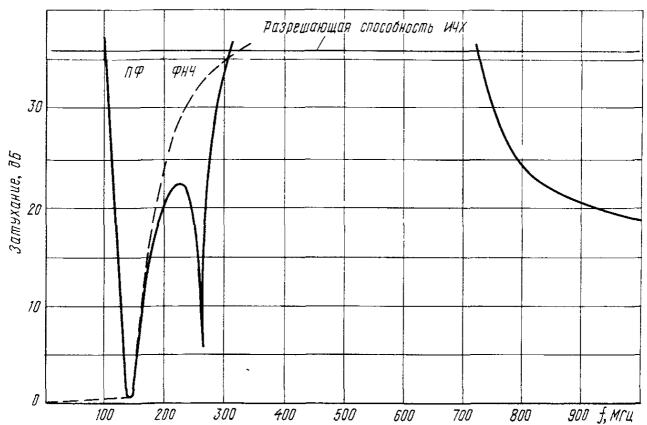
страивают, добиваясь максимальной выходной мощности в режиме ТХ на средней частоте диапазона (145 МГц) или в наиболее важном его участке (например, СW - 144050, ЧМ - 145500 кГц и т. д.) Естественно, лучшие результаты можно получить при визуальном контроле за ходом настройки с помощью измерителя частотных характеристик (ИЧХ), например, X1-48 Завершив настройку, отверстия в крышке заклеивают или запаивают.

Описанный ПФ отличается небольшими размерами, легко настраивается, имеет малое затухание в полосе пропускания (менее 1 дБ в диапазоне 140. 150 МГц), относительно крутые скаты АЧХ (рис 4, сплошная линия). Большая добротность катушек L1-L3 (и фильтра в целом) на частотах УКВ диапазона достигнута в основном за счет уменьшения их «межвитковой» емкости и расположения фильтра в одной «тонкой» плоскости, что значительно уменьшает проникновение внеполосных сигналов с входа на выход через паразитные емкости монтажа. Для соединения входа и выхода ПФ с коаксиальными разъемами кратчайшим путем фольга общего провода общего провода «продлена» до краев платы. Максимальная электрическая прочность описанного ПФ - 7 .10 Вт.

При встраивании ПФ в аппаратуру и непосредственном (без разъемов) подсоединении коаксиальных кабелей к его входу и выходу длину платы можно уменьшить до 100 мм.

Встраиваемый ПФ помещают в отдельный отсек с крышкой, в которой предварительно





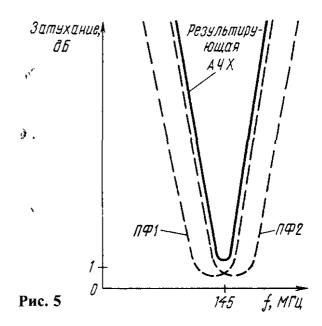
просверлены отверстия для прохода отвертки. После настройки эти отверстия заклеивают или запаивают. Для уменьшения влияния экрана на параметры ПФ расстояние от крышек (шасси) до плоскости фольги в любом случае должно быть не менее 15 мм. Если ПФ используется в резко меняющихся климатических условиях, его рекомендуется герметизировать покрытием влагостойким лаком, эпоксидной смолой с отвердителем или специальным герметиком.

Возможно увеличение числа «витков» катушек с соответствующим уменьшением емкости конденсаторов, однако параметры ПФ в этом случае будут менее стабильными, особенно в тракте передачи. Если описываемый ПФ допускает пропускание РЧ мощности до 5 Вт без заметного влияния на АЧХ, то ПФ с более узкой полосой в тех же условиях пропустит менее 0,25 Вт (в основном из-за температурного влияния сигнала на емкость конденсаторов). Ширина печатных проводников катушек (1,5...2 мм) выбрана компромиссной: чем она меньше, тем выше (до определенного предела за счет уменьшения «межвитковой» емкости) добротность катушек, но меньше и допустимая пропускаемая мощность.

Если необходим ПФ на более узкий участок диапазона, например, 144...146 МГц, следует включить два описанных фильтра, расстроив их относительно средней частоты для получения иужной полосы пропускания (рис. 5). Потери в таком фильтре, конечно же, будут несколько больше, но из двух зол, как говорится, следует выбрать меньшее - будет устранено, например, блокирование приемника двухметрового диапазона мощным сигналом передатчика профессиональной связи, работающего на частотах 140...144 или 146...150 МГц (при одном ПФ этой возможности нет).

Возможен вариант последовательного включения двух ПФ и без расстройки. Его используют в том случае, если при неизменной (по сравнению с одиночным фильтром) полосе пропускания необходимо увеличить крутизну скатов АЧХ.

ПФ можно использовать как в предварительных каскадах (непосредственно после смесителя, после последнего умножителя частоты, в каскадах предварительного усиления мощности), так и в антенной цепи (иа входе RX, на выходе ТX при выходной мощности до 5 Вт), между трансивером и РА. Естествеино, на эффективность ПФ в тракте ТХ можно рассчитывать только в том случае, если приняты меры по исключению паразитных излучений: монтаж трансивера выполнен грамотно, отсутствуют самовозбуждение ТХ и прямое излучение гетеродина, передатчик хорошо экранирован, цепи питания развязаны, применены хорошее отдельное заземление, настроенная согласованная антениа, контакты в антенных



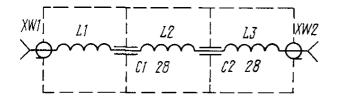
реле и разъемных соединителях достаточно надежиы. Желательно на кабель, идущий к входу ПФ, надеть вторую экранирующую оплетку. С общим проводом следует соединить оба ее конца (например, в трансивере и ПФ).

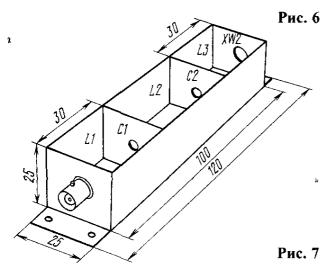
ПФ можно использовать и как средство улучшения развязки между приемным и передающим трактами при связи через ИСЗ (28/145, 145/432 МГц).

Возможно и комбинированное включение нескольких ПФ.

ФНЧ используют в фидерных (антенных) трактах приемопередатчиков, где они позволяют как при приеме, так и при передаче подавить сигналы частотой выше частоты среза. Принципиальная схема ФНЧ [1] изображена на рис. 6. Поскольку при повышенной мощности передатчика полосковые линии и керамические подстроечные конденсаторы могут отказать, в ФНЧ применены обычные (из провода) катушки и проходные конденсаторы, выводы которых имеют минимальную индуктивность. Три звена ФНЧ монтируют в корпусе коробчатой формы с двумя экранирующими перегородками (рис. 7). Его можно изготовить из листовой меди, латуни, белой жести или фольгированного стеклотекстолита. В центрах перегородок сверлят отверстия под проходные коиденсаторы С1, С2, а в торцевых стенках - под коаксиальные розетки XW1, XW2 (если ФНЧ изготовляется как самостоятельный узел). При использовании двустороинего фольгированного стеклотекстолита фольгу обеих сторон необходимо «прошить» проволочными перемычками, просверлив под них отверстия в узлах сетки с шагом примерно 10 мм (особенно это важио сделать вокруг розеток XW1, XW2 и проходных конденсаторов).

Катушки L1 и L3 - одинаковые и содержат по четыре витка посеребрениого (или обмоточного марки ПЭВ-2) провода диаметром 1,5 мм. Наматывают их на оправке диаметром 7 мм, длина намотки - 8 мм. Катушка L2 долж-





на содержать пять витков (в [1] их число указано неверно) такого же провода, длина намотки (также на оправке диаметром 7 мм) - 16 мм. Проходные конденсаторы емкостью 28 пФ подбирают из конденсаторов КТП с номиналом 27 пФ + 10% или составляют из проходных (КТП) емкостью 18 пФ и припаянных параллельно им дисковых (КД) или трубчатых конденсаторов (КТ, КТК) емкостью 10 пФ с укороченными выводами.

При встраивании ФНЧ в аппаратуру целесообразно на торцевых стенках вместо коаксиальных розеток установить небольшие проходные изоляторы, к которым с одной стороны (изнутри) припаивают выводы катушек L1 и L3, а с другой - соединительные кабели. Можно поступить и иначе - припаять кабели непосредственно к выводам катушек. В этом случае их вводят через отверстия внутрь корпуса, экранирующие оплетки расправляют в виде звездочек и припаивают к внутренней поверхности стенок, а центральные жилы - к выводам катушек.

АЧХ описываемого ФНЧ изображена на рис. 4 штриховой линией. Как видно, при частоте среза около 150 МГц (в авторском варианте - 148 МГц) этот ФНЧ способен сгладить выброс на АЧХ ПФ (при совместном использовании) в зоне частоты 265 МГц. Затухание в полосе пропускания не превышает 0,5 дБ (при неравномерности передачи в интервале 144...146 МГц не более 0,1 дБ!), за ее пределами на частоте 200 МГц - 22 дБ, в полосе частот от 300 до 1000 МГц - более 36 дБ.

ФНЧ, изготовленный точно по описанию, имеет вполне удовлетворительные параметры, однако если есть возможность, желательно проконтролировать его АЧХ с помощью уже

упоминавшегося прибора X1-48 и, если необходимо, скорректировать ее подстройкой индуктивности катушек (изменением расстояния между витками диэлектрической отверткой). Необходимо стремиться к тому, чтобы частота среза оказалась равной примерно 148 МГц, в этом случае обеспечивается максимальная крутизна ската АЧХ. Электрическая прочность описанного ФНЧ - 40. .70 Вт

Для увеличения крутизны ската возможно, как и в случае с ПФ, последовательное включение двух и более ФНЧ. Естественно, при этом возрастет и затухание в полосе прозрачности. Возможно также комбинированное включение ФНЧ (сразу после ТХ) и ПФ в антенном тракте, настраивать которые желательно в конкретных условиях на месте применения с использованием ИЧХ.

Как показывает практика, сколь-нибудь эффективную связь между удаленными корреспондентами невозможно установить без хорошей настройки антенны на рабочие частоты и ее согласования с фидером, а фидера - с приемопередатчиком. Описываемый ниже несложный прибор [2] позволяет решить проблему измерения степени согласования - так называемого коэффициента стоячей волны (КСВ) - в антенно-фидерных трактах, а также различных устройств между собой, например, трансивера с блоком усиления мощности, трансвертерами (144/430, 144/1296 МГц), передатчиков с фильтрами и т. д

Принципиальная схема КСВ-метра приведена на рис. 8. Он предназначен для измерения напряжений падающей (прямой) и отраженной волн. КСВ рассчитывают по известной формуле:

$$KCB = (U_{\text{nag}} + U_{\text{orp}})/(U_{\text{nag}} U_{\text{orp}}),$$

где $U_{\text{пад}}$ и $U_{\text{отр}}$ - напряжения соответственно падающей и отраженной волн.

Конструктивно прибор представляет собой полосковую линию и смонтированный рядом с ней также полосковый двунаправленный ответвитель, расположенные над поверхностью «земляной» фольги (рис. 9). Для трактов с волновым сопротивлением 50 Ом линию с ответвителем изготавливают из двустороннего стеклотекстолита толщиной 1,5 мм, для трактов с волновым сопротивлением 75 Ом используют односторонний фольгированный материал такой же толщины (две заготовки с размерами, указанными на чертеже, склеивают эпоксидной смолой с отвердителем с таким расчетом, чтобы получился фольгированный с обеих сторон материал удвоенной толщины). В обоих случаях фольгу одной из сторон оставляют нетронутой, а на другой вытравливают в растворе хлорного железа в соответствии с рис. 9 (ширина печатных проводников, образующих линии L1-L3 должна быть равна 2

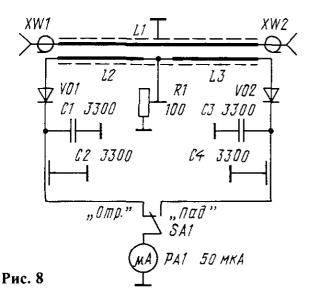
мм, расстояние между их средними линиями - 3,5 мм).

Диоды VD1, VD2, конденсаторы C1-C4 и подстроечный резистор R1 можно установить как со стороны линий L1-L3, так и с противоположной стороны (в последнем случае под выводы деталей необходимо просверлить отверстия, а чтобы не произошло замыканий, фольгу с их кромок удалить зенкованием сверлом примерно вдвое большего диаметра, заточенным под угол 90°)

В КСВ-метре можно использовать только германиевые диоды (в порядке ухудшения результатов). ГД508 (с буквенными индексами А и Б), ГД507А, Д18, Д20, Д2Е. Конденсаторы С1-С4 могут быть и обычные керамические с выводами минимальной длины (на частотах двухметрового диапазона их еще допустимо использовать в качестве развязывающих), но лучшие результаты получаются с опорными и проходными конденсаторами КДО, КТП Их емкость может быть в пределах 1000...4700 пФ. При использовании опорных конденсаторов в плате по месту сверлят отверстия под их резьбовые выводы, а вокруг них несколько отверстий меньшего диаметра под проволочные перемычки, соединяющие фольгу обеих сторон.

Микроамперметр PA1 - с током полного отклонения стрелки 50 мкА. Применять приборы с меньшей чувствительностью нежелательно, так как это потребует большей мощности передатчика для настройки антенн, а следовательно, будут создаваться и большие помехи.

Готовую плату с полосковыми линиями опаивают подобно плате ПФ (см.рис. 3) полосками тонкой меди, латуни, белой жести или фольгированного стеклотекстолита и закрывают с обеих сторон мегаллическими крышками Допустима установка неэкранированной платы внутри металлического корпуса, например, подобного показанному на рис. 10. Такая конструкция, пожалуй, наиболее удобна для считывания показаний при измерениях. Основа-



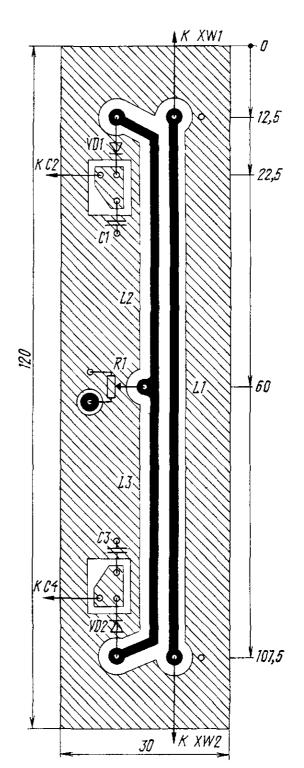


Рис. 9

ние и крышку корпуса сгибают из листовой латуни или стали, размеры определяются габаритами примененного микроамперметра, поэтому не приводятся. Плату крепят к дну основания, а на его боковых стенках устанавливают коаксиальные розетки, например, СР-50-73Ф. Остальные детали закрепляют на передней стенке крышки. В такой конструкции вместо подстроечного резистора R1 используют переменный, снабдив его валик ручкой управления для оперативной установки стрелки измерительной головки PA1 на последнюю отметку шкалы при измерении напряжения падающей волны. Для работы в стационарных

условиях полезно предусмотреть гнезда для подключения внешнего микроамперметра с большей шкалой (например от авометра) с одновременным отключением внутреннего.

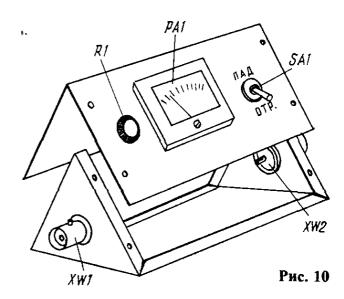
Детали корпуса соединяют восемью винтами, ввинчиваемыми в резьбовые отверстия в бортиках основания (лучше, конечно, развальцевать в отверстиях специальные втулки с резьбой - так называемые буксы; в этом случае корпус можно изготовить и из менее прочного материала, например, из листового алюминиевого сплава).

При установке КСВ-метра в трансивер (его включают между ФНЧ и антенным реле) плату опаивают, как указано выше, полосками меди или латуни. Для соединения с переключателем SA1 рекомендуется использовать проходные конденсаторы, а с входом и выходом коаксиальные кабели, разделав их, как указано в описании ПФ.

Хотя схема прибора и симметрична, из-за погрешностей изготовления линий и разброса характеристик диодов результаты измерений при замене входа на выход получаются неодинаковыми, поэтому рекомендуется использовать его всегда в одном направлении.

Проверяют прибор следующим образом. Устанавливают переключатель SA1 в положение «Пад.» и подключают к входной розетке XW1 выход передатчика, а к XW2 - эквивалент антениы - безындукционный резистор (или набор подобных резисторов, соединенных последовательно или параллельно) сопротивлением 50 Ом с рассеиваемой мощностью не менее отдаваемой передатчиком. Затем переменным резистором R1 добиваются отклоиения стрелки микроамперметра РА1 на последнюю отметку шкалы, после чего переключатель SA1 переводят в положение «Отр.» Стрелка прибора должна установиться на нулевую отметку. Если же она отклонится от нее (не совсем точно изготовлены линии или эквивалент нагрузки - не чисто активное сопротивление), нужно будет учитывать это отклонение в дальнейшем, вычитая его из отсчитанного по шкале значения напряжения отраженной волны. Можно поступнть и иначе: ввести в цепь измерения этого напряжения дополнительный резистор, скомпенсировав тем самым отклонение (это следует делать в том случае, если «виновата» линия, а не эквивалент). Можно попробовать «перевернуть» линию (т. е. поменять вход и выход местами) и попытаться настроить ее в другом направлении - не исключено, что в этом случае погрешность окажется меньше или будет отсутствовать вовсе.

Пользуются прибором, как обычно. Его вход подключают к выходу передатчика (после «внутреннего» ФНЧ) или ГСС (с выходным напряжением 1 В), а выход - к кабелю, питающему антенну. Варьируя параметрами устройства, согласующего антенну с фидером, и из-



меряя напряжение падающей и отраженной волн, добиваются их максимального отношения (в идеальном случае, т е. при КСВ=1 отклонения стрелки на всю шкалу для падающей волны и нулевых показаний для отраженной). Желательно антенну предварительно настроить на рабочие частоты с помощью, например, гетеродинного индикатора резонанса. Возможен и вариант подгонки размеров антенн (простых, без согласующего устройства) по миннмальному КСВ.

Описанный КСВ-метр можно использовать при выходной мощности передатчика до 70...100 Вт.

Следует учесть, что введение КСВ-метра, иапример, в антенно-фидерный тракт (так же, как и исключение из него), нарушает согласование трансивера с фидером (если, конечно, они до этого были согласованы). Выход из положения - либо после согласования оставить КСВ-метр в тракте навсегда и контролировать состояние антенны, либо, удалив его, скорректировать иастройку выходного П-контура передатчика.

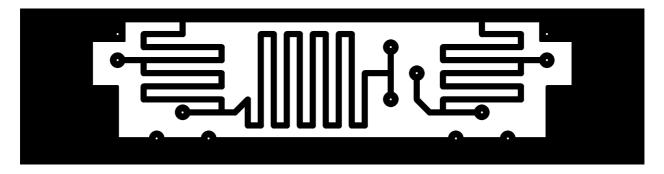
Справочные материалы по расчету и самостоятельному изготовлению других, более эффективных ПФ, ФНЧ, ФВЧ, режекторных и комбинированных фильтров конструктор найдет в справочнике [4].

Виктор Беседин (UA9LAQ)

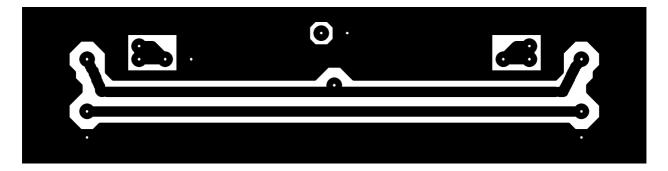
г. Тюмень

ЛИТЕРАТУРА

- 1. **Henschel S.** Nebenwellenfilter für das 144-MHz-Band. Funkamateur, 1981, № 8, s. 404.
- 2. Henschel S. 28 MHz/144 MHz Sende/ Empfangs Umsetzer. - Funkamateur, 1985, № 3, s. 134.
- 3. **Ротхаммель К.** Антенны. М.: Энергия, 1979.
- 4. Зааль Р. Справочник по расчету фильтров. М.: Радио и связь, 1983.



Эскиз платы полосового фильтра на диапазон 144...146 МГц (размеры выше - в тексте)



Эскиз платы КСВ-метра диапазона 144...146 МГц (размеры смотрите выше – в тексте)