

ВЫХОДНЫЕ ФИЛЬТРЫ

Физика работы усилителей мощности высокой частоты такова, что при своей работе любой усилитель мощности, как бы хорошо он не был настроен, создает некоторый уровень внеполосных излучений. То есть, при подаче на его вход усиливаемого сигнала одной частоты, на выходе усилителя мощности будут присутствовать не только усиленный сигнал этой частоты, но и сигналы других частот, которые радиолюбители называют **гармониками**. Наравне с основным сигналом гармоники через фидер проникают в антенну и излучаются в эфир. В зависимости от своей мощности и частоты, эти излученные гармоники могут вызвать помехи телевизионному и радио приему, а также другой радиоаппаратуре.

Для устранения проникновения внеполосных сигналов от выходного каскада в антенну, радиолюбители между выходным каскадом передатчика и фидером антенны устанавливают фильтр внеполосных излучений. Этот фильтр пропускает в фидер антенны полезный усиленный сигнал и не пропускает сигналы гармоник. Построение такого фильтра для радиолюбителей облегчено тем, что обычно частоты внеполосных сигналов лежат выше спектра частот, излучаемых передатчиком при своей работе. Следовательно, установленный на выходе коротковолнового любительского передатчика фильтр нижних частот, который эффективно обрезает все сигналы выше определенной частоты, обычно, выше 30 МГц, поможет устранить помехи телевизионному приему при работе любительского передатчика.

В настоящее время можно приобрести весьма недорого очень приличные коммерческие фильтры нижних частот, например производства UA4CC. Однако, даже имея небольшой опыт в конструировании любительской аппаратуры, можно попробовать изготовить фильтр внеполосных излучений самостоятельно. Для изготовления фильтра нижних частот, эффективно подавляющего гармоники передатчика, потребуется надежная схема такого фильтра, несколько метров толстого медного провода, десяток конденсаторов, несколько кусков фольгированного стеклотекстолита, пара высокочастотных разъёмов, немного терпения, аккуратности и конечно удачи.

В этой статье будет дано описание нескольких проверенных многими радиолюбителями схем простых, но эффективных фильтров нижних частот, которые может собрать даже начина-

ющий радиолюбитель. Обладая набором измерительного оборудования, можно проверить параметры этих фильтров, подстроить их частотную характеристику, провести различные эксперименты с ними.

ФИЛЬТРЫ

Для того, что бы нам была понятно дальнейшее повествование, рассмотрим, что за устройство называют **фильтром**, и какие параметры фильтра интересны для радиолюбителя прежде всего.

Фильтр это четырехполосник (то есть, устройство, имеющее два входных вывода и два выходных), служащий для селекции сигналов по частоте, и пропускающий в свою нагрузку лишь ту часть спектра, которая находится в пределах области его **прозрачности**. Спектральные составляющие других частот, которые как говорят, находятся в области **непрозрачности** фильтра, поступают в нагрузку фильтра с большим ослаблением.

Фильтры различают по частотным характеристикам. Радиолюбители обычно сталкиваются с фильтрами трех типов. Это фильтр верхних частот, фильтр нижних частот, и полосовой фильтр. Рассмотрим, в чем их отличия друг от друга.

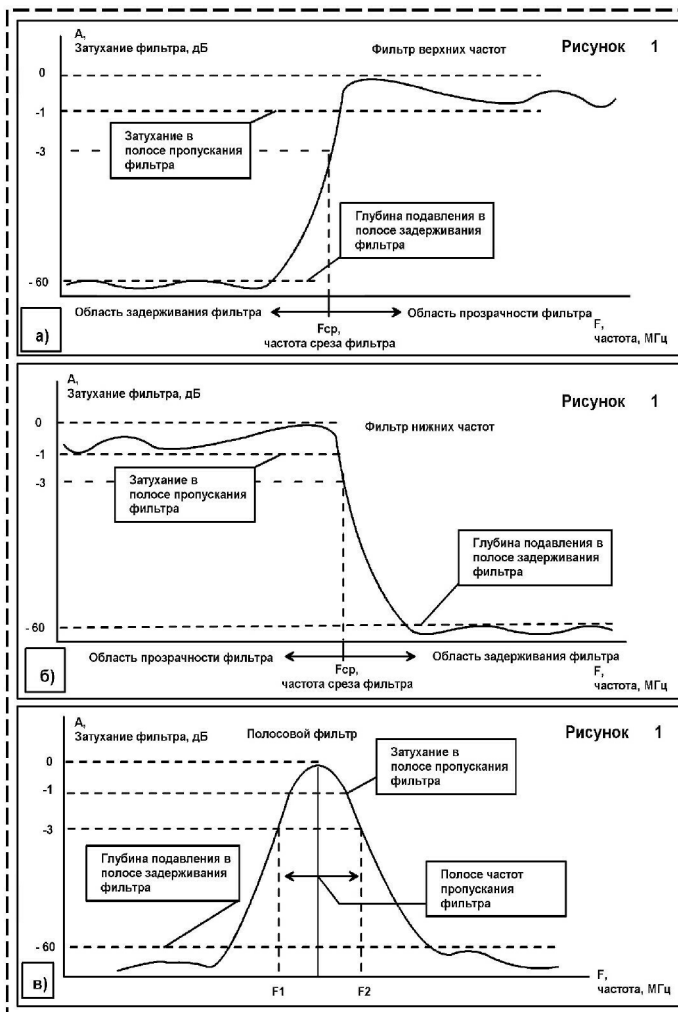
Фильтр нижних частот, это фильтр, область прозрачности которого простирается от области нулевых частот, или от постоянного тока, до некоторой определенной частоты.

Фильтр верхних частот, это фильтр, область прозрачности которого находится выше некоторой определенной частоты и простирается до бесконечности.

Полосовой фильтр, это фильтр, область прозрачности которого начинается от некоторой определенной нижней частоты и заканчивается некоторой определенной верхней частотой.

Рис. 1 показывает характеристику фильтра верхних (рис.1а), нижних частот (рис.1б) и полосового фильтра (рис.1в). На этом рисунке разъяснены такие важные параметры фильтра как полоса пропускания, область задерживания, глубина подавления в области задерживания, область прозрачности, затухание в области прозрачности, частота среза фильтра. Выделяют еще такой важный параметр фильтра, как крутизна скатов. Чем меньшую область частот на частотной характеристике фильтра занимает переход от полосы пропускания к полосе задерживания, тем больше крутизна скатов фильтра.

Для эффективного подавления внеполосных излучений необходим фильтр, обладающий небольшим затуханием в своей полосе пропус-



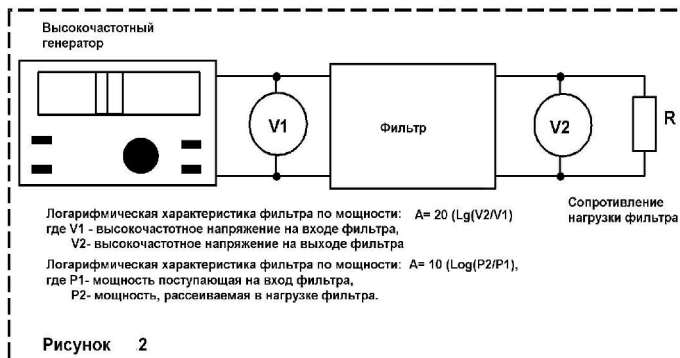
Снятие АЧХ фильтра

Рассмотрим, как наиболее просто можно снять АЧХ фильтра. Для этого собирается схема, показанная на рис.2. Фильтр подключают к высокочастотному генератору, выходное сопротивление которого равно характеристическому сопротивлению фильтра, выход генератора нагружают на нагрузку, сопротивление которой равно характеристическому сопротивлению фильтра. Параллельно входу и выходу фильтра включают вольтметры. Снимают зависимость от частоты генератора значения высокочастотного напряжения на входе фильтра, и на его выходе. На основании этих значений строят график АЧХ фильтра, примеры которых показаны на рис.1.

Обратите внимание на следующую особенность построения графиков АЧХ фильтра. Затухание фильтра, которое на графике обозначают буквой «А», может быть построено в нескольких масштабах.

Затухание, значительным подавлением в полосе непрозрачности, имеющий крутые скаты характеристики при переходе от полосы прозрачности к полосе непрозрачности, и характеристическое сопротивление по входу и выходу, равные сопротивлению нагрузки и генератора. О таком важном параметре фильтра как характеристическое сопротивление, будет сказано ниже. А сейчас рассмотрим, как можно практически определить, какой амплитудно - частотной характеристикой (или сокращенно АЧХ) из показанных на рис.1, обладает наш фильтр.

Например, если данные по фильтру сняты экспериментально, согласно схеме приведенной на рис.2, то сразу представляется, что наиболее просто построить АЧХ фильтра в **Линейном** масштабе. В этом случае, затухание «А» равно отношению выходного и входного напряжения вольтметров (см. рис.2) установленных на входе и выходе фильтра. Однако линейный масштаб во многих случаях не очень удобен. Как правило, хороший фильтр может обеспечить ослабление мощности гармоник сигнала в полосе задерживания фильтра в 1000 и более раз. График



пользоваться этой методикой, необходимо чтобы характеристическое сопротивление фильтра было постоянным во всем диапазоне частот обмера фильтра. Однако, это бывает крайне редко. Давайте же рассмотрим, что же такое за параметр **характеристическое сопротивление фильтра.**

амплитудно – частотной характеристики такого фильтра, построенный в линейном масштабе, будет выглядеть не наглядно. Для более удобного графического отображения амплитудно – частотной характеристики фильтра, затухания фильтра, как правило, строят в **Логарифмическом масштабе**. В этом случае откладывают десятичный логарифм отношения напряжений, действующих на входе и выходе фильтра. Логарифмический масштаб позволит отследить как малые, так и большие изменения происходящие в АЧХ фильтра.

Однако, оперировать величиной подавления по напряжению во многих случаях нерацionalmente. Действительно, пользователям фильтра важнее знать, как гармоники, поступающие на вход фильтра, ослабляются этим фильтром по мощности, чем иметь сведения, об ослаблении гармоник фильтра по напряжению. По этой причине, практически всегда, по умолчанию, график затухания фильтра строят как отношение мощности сигнала рассеиваемого в нагрузке к мощности, действующей на входе фильтра. Именно такие графики приведены практически во всей технической литературе, расчет затухания фильтра по мощности осуществляют компьютерные программы моделирования фильтров. Если уж используют график отношения напряжений на входе и выходе фильтра, то это оговаривают особо.

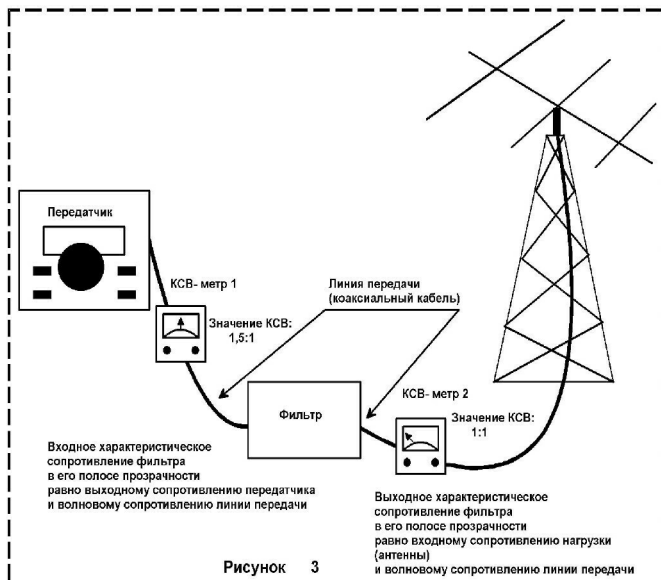
Как правило, при экспериментальном обмере фильтра, его АЧХ строят только на основании измерения напряжения на входе и выходе фильтра, поскольку, зная это напряжение, сопротивление нагрузки фильтра и генератора, характеристическое сопротивление фильтра, можно легко перейти к построению АЧХ фильтра в логарифмическом масштабе мощностей. На рис.2 показан пример расчета логарифмического затухания фильтра по мощности на основе показаний вольтметров, установленных на фильтре. Для того, что бы

Характеристическое сопротивление фильтра.

В предыдущем параграфе было рассмотрено, как можно практически снять и построить АЧХ фильтра. Однако, фильтр имеет еще два важных параметра, которые не отображены на амплитудно – частотных характеристиках, показанных на рис.1, но о которых необходимо помнить при работе с фильтрами. Это входное и выходное характеристическое сопротивление фильтра, обозначаемое как $Z_{вх}$ и $Z_{вых}$. Эти сопротивления должно быть равны соответственно сопротивлению генератора, к которому подключен фильтр, и сопротивлению нагрузки, на которую нагружен фильтр. Если между фильтром, передатчиком и нагрузкой используется линия передачи (например, коаксиальный кабель), то волновое сопротивление линии передачи должно быть согласовано с характеристическим сопротивлением фильтра и сопротивлением нагрузки. При неравенстве характеристического входного и выходного сопротивления фильтра сопротивлению генератора и нагрузки, в тракте, где включен фильтр, возникают отражения сигналов от этого фильтра.

Радиолюбители, как правило, имеет дело с фильтрами, в которых входное и выходное характеристическое сопротивления одинаковы. В этом случае говорят просто о характеристическом сопротивлении фильтра. На практике это означает, что фильтр имеющий, например, характеристическое сопротивление 50-Ом, предназначен для того, чтобы он был подключен на выход передатчика, рассчитанного на работу с нагрузкой 50-Ом, и что к этому фильтру будет подключен коаксиальный кабель волновым сопротивлением 50-Ом, к которому будет подключена антенна входным сопротивлением 50-Ом.

Однако, есть специальные **трансформирующие фильтры**, имеющие разное характеристическое сопротивление по входу и выходу.



Задача этих фильтров не только осуществить фильтрацию сигнала передатчика, но и обеспечить трансформацию сопротивлений, например, сопротивления фидера 50-Ом, в который включен трансформирующий фильтр, в сопротивление антенны, равное, например, 75-Ом (диполь) или 240-Ом (петлевой вибратор). Специальные трансформирующие фильтры практически не применяются в радиолюбительской практике (мы не будем относить согласующие устройства, имеющие все признаки трансформирующего фильтра, и широко используемые радиолюбителями в своей работе в эфире, к этой категории фильтров), и по этой причине в этой статье мы на них останавливаться не будем. Рис.3 показывает обычное подключение фильтра нижних частот, имеющего входное и выходное характеристическое сопротивление равное волновому сопротивлению коаксиального кабеля в любительских условиях.

Остановимся более подробно на работе схемы, показанной на рис.3. Итак, что покажет КСВ - метр №1, включенный на выходе передатчика? Теоретически, при равенстве характеристического сопротивления фильтра волновому сопротивлению коаксиального кабеля и согласованной антенне этот КСВ метр должен показывать значение КСВ равное 1:1. Однако, на практике, этот КСВ метр обычно показывает значение КСВ большее, чем 1:1, в нашем примере на рис. 15.3 показано значение КСВ равное 1,5:1. А вот

КСВ - метр №2 на практике обычно показывает значение КСВ равное 1:1, конечно, если входное сопротивление антенны согласовано с волновым сопротивлением линии передачи и характеристическим сопротивлением фильтра. Почему же это так происходит?

Дело в том, что практически невозможно выполнить фильтр, будь то фильтр нижних или верхних частот или полосовой фильтр, имеющий характеристическое сопротивление, согласованное с волновым сопротивлением линии передачи во всем диапазоне радиочастот, от нуля герц до десятков гигагерц. Как правило, производят согласование характеристического сопротивления фильтра с волновым сопротивлением коаксиального кабеля только в полосе прозрачности фильтра. Об этом, обычно оговаривается в техническом описании на фильтр, а если такого упоминания нет, то это подразумевается по умолчанию.

Следовательно, для высокочастотных гармоник передатчика, которые поступают на вход фильтра нижних частот, и которые должен подавить фильтр, характеристическое сопротивление фильтра не будет равно волновому сопротивлению линии передачи. Следовательно, произойдет отражение высокочастотных гармоник от входа фильтра на выход передатчика, и КСВ - метр № 1 покажет некоторое значение КСВ этих гармоник, существующее в отрезке коаксиального кабеля соединяющего передатчик и фильтр.

Обратите внимание на то, что показания КСВ метра № 1 будут носить качественный характер, который не отражает истинного значения КСВ в коаксиальном кабеле. Это происходит по следующим причинам. Во первых, на этот КСВ - метр будет действовать суммарное напряжение всех высокочастотных гармоник, отразившихся от фильтра. Во вторых, радиолюбителями для измерения КСВ, как правило, используются КСВ - метры отражательного типа, которые имеют высокую чувствительность на высоких частотах. Примеры конструкций КСВ - метров отражательного

типа приведены, например, в литературе (Л.1). Например, если к КСВ- метру отражательного типа для измерения значений КСВ в антенно-фидерном тракте на частотах диапазона 160 метров необходимо подвести 100 ватт, то уже на диапазоне 144-МГц для проведения подобных измерений хватит и 1 ватта. Так что, даже высшие гармоники небольшой мощности, присутствующие в фидере, могут вызывать значительное отклонение стрелки КСВ - метра № 1. Этим и вызвано то, что КСВ - метр № 1 может показывать большое значение КСВ.

А вот КСВ - метр № 2 обычно уже показывает значение КСВ в фидере равное 1:1. Действительно, практически всегда радиолюбителями используется согласованная антенна, входное сопротивление которой согласовано с волновым сопротивлением коаксиального кабеля. На эту антенну подается очищенное фильтром высокочастотное напряжение, не

содержащее в своем составе высших гармоник. Поэтому, КСВ-метр №2 показывает значение КСВ в этом участке фидера равное 1:1.

Итак, используя схему, приведенную на рис.3, можно качественно судить о том, создает ли высшие гармоники его передатчик, и давятся ли эти гармоники фильтром. Чем выше значение КСВ, показываемое КСВ – метром № 1, тем больше гармоник производит передатчик, а показания КСВ – метра № 2 равные 1:1 говорят о том, что фильтр нижних частот, установленный в фидер между передатчиком и антенной, эффективно подавил эти гармоники.

ПРОДОЛЖЕНИЕ В "РК-08-2004".

Григорьев И.Н.

Литература :

1. Григорьев И.Н. Антенны. Настройка и согласование. - М.: ИП Радиософт, 2002.

ВЫХОДНЫЕ ФИЛЬТРЫ

(начало в "РК-07-2004").

Как же выбрать схему фильтра, который обеспечит удовлетворительное подавление гармоник и будет несложен в практическом изготовлении? Можно конечно самому рассчитать теоретическую схему подходящего по параметрам фильтра. Раньше для расчета фильтров необходимо было иметь толстые справочники (которые во все времена были большим дефицитом), содержащие прототипы схем фильтров. Расчет фильтров, обладающих требуемыми параметрами, в этом случае обычно был связан с проделыванием многих вычислений, и часто был не по силам начинающему радиолюбителю. Но времена меняются.

В настоящее время существует немало компьютерных программ, которые позволяют достаточно быстро рассчитать фильтр, имеющий заданные параметры, что превращает расчет фильтра в увлекательную игру. Среди всего этого многообразия, тем, кто желает попробовать свои силы в расчете фильтров, могу порекомендовать попробовать программу RFSimm-99, русифицированная и английская версия которой находятся на сайте Игоря Гончаренко, расположенного по ссылке (Л.2). Программа RFSimm-99 имеет очень простой интуитивно – понятный интерфейс, занимает мало места на компьютере, бесплатна в использовании, и обеспечивает достаточно точный расчет параметров фильтров.

Следует отметить, что при расчете фильтров при помощи программы RFSimm99, как, впрочем, и при помощи других программ, моделирующих фильтры, предполагается множество допущений. Например, при моделировании фильтра можно пользоваться идеальными катушками индуктивности и конденсаторами, а можно попытаться заложить в программу их реальные модели. К сожалению, во многих случаях описание реального элемента, даже казалось бы такого простого как конденсатор или катушка индуктивности, при помощи модели сопряжено с рядом определенных трудностей. Если мы все же попытаемся создать полную модель фильтра, учитывая всю нюансы поведения элемента фильтра в полосе частот, в которых он работает, то получим весьма громоздкую схему. Поэтому, обычно при моделировании фильтров используют упрощенные теоретические модели реальных элементов. Вследствие того, что, как правило, поведение реальных элементов, используемых в фильтре, будет

несколько отличаться от поведения элементов, задаваемых программно, то и практически снятая характеристика фильтра обычно отличается от теоретически рассчитанной.

Однако, как показывает опыт, даже используя в программе RFSimm99 упрощенную модель фильтра, то есть, модель без учета паразитной емкости катушек и конденсаторов на корпус, без учета реальной добротности катушек и конденсаторов на всех частотах работы фильтра, и так далее, отличия теоретической АЧХ фильтра, от практически снятой АЧХ, обычно незначительны.

Отличия между теоретически рассчитанной и практически полученной АЧХ еще связаны с тем, что при практическом изготовлении фильтра всегда существуют некоторые погрешности в номиналах деталей, используемых для выполнения фильтра. Например, при расчете может оказаться, что требуются конденсаторы, имеющие нестандартные номиналы, и эти конденсаторы придется составлять из нескольких стандартных конденсаторов. Не всегда можно точно изготовить катушки, имеющие необходимую расчетную индуктивность. При монтаже фильтра паразитные емкости элементов фильтра на корпус и паразитные индуктивности выводов деталей внесут свой вклад в погрешность номиналов используемых деталей, что, вполне может привести к ухудшению ряда характеристик фильтра. Если еще монтаж ячеек фильтра выполнен так, что возможно просачивание высокочастотной энергии между этими ячейками, то уровень подавления в полосе непрозрачности фильтра может существенно понизиться.

Поэтому, вдоволь наигравшись с теоретическим конструированием фильтра на компьютере, многие радиолюбители обращаются к проверенным схемам фильтров, с хорошо описанной практической конструкцией, и о работе которых имеются положительные отзывы других радиолюбителей. Обычно в этом случае сделав такой фильтр в соответствии со всеми рекомендациями, удастся достигнуть параметров фильтра, заявленных в его описании. Ниже остановимся на конструктивных особенностях изготовления фильтров.

Общие вопросы по практической конструкции фильтров нижних частот

Для того, что бы выполненный в «железе» фильтр нижних заработал так как ему положено, необходимо не только подобрать для его изготовления элементы, имеющие номиналы соответствующие расчетным, но и выполнить конструкцию фильтра правильным образом.

Если в вашем распоряжении есть фильтр нижних частот коммерческого изготовления,

то разберите его и посмотрите, как он выполнен. Это подскажет методы изготовления самодельных фильтров нижних частот. Обратите внимание, что коммерческие фильтры нижних частот, как правило, выполняются в массивных медных, полированных или иногда даже посеребренных внутри, корпусах. Выполнение ячеек фильтра в корпусе из хорошо проводящего материала позволяет сохранить высокую добротность катушек фильтра. Выполнение фильтра в массивном корпусе, имеющем большую тепловую инерцию, позволит устранить влияние быстрого изменения температуры окружающей среды на параметры фильтра.

Далее, обратите внимание, что каждая ячейка фильтра, которая может содержать от одной до нескольких катушек и конденсаторов, отделена металлическим экраном от соседней с ней ячейки. Это необходимо по следующим причинам. С некоторым упрощением можно сказать, что каждая ячейка фильтра служит для подавления своего спектра гармоник. Или, другими словами, имеет резонансы на частотах подавляемых гармоник. В этом случае, во время подавления внеполосных излучений, на элементах ячеек фильтра будут присутствовать сигналы этих подавляемых гармоник. Причем амплитуда токов или напряжений этих гармоник может быть относительно высокой. При отсутствии экранировки между ячейками фильтра гармоники посредством электромагнитного поля, излучаемого катушками и длинными выводами конденсаторов, могут распространяться между катушками фильтра и даже сразу проникать с входа фильтра на его выход. Конечно, это сразу же приведет к значительному уменьшению коэффициента подавления гармоник.

Использование для монтажа фильтра массивного медного, полированного внутри корпуса, экранировка ячеек фильтра, использование конденсаторов с минимально возможной длиной выводов, рациональный монтаж элементов фильтра позволяют приблизить реальные характеристики фильтра к его расчетным характеристикам.

Обратите внимание, что в коммерческих фильтрах ячейки фильтра соединяются между собой через специальные керамические переходники. На этих переходниках обычно располагаются катушки индуктивности и конденсаторы. Использование таких переходников, позволяет создать жесткую конструкцию фильтра, в которой катушки сохраняют постоянными свои параметры при воздействии на фильтр механических воздействий, например вибрации.

Как уже отмечалось, конденсаторы, используемые в фильтрах гармоник передатчика,

должны иметь выводы минимальной длины. В некоторых случаях в коммерческих фильтрах конденсаторы выполняются в виде конструктивных элементов. Это могут быть, например, большие посеребренные медные шайбы или пластины, расположенные на пленке из какого либо диэлектрика. Применяют в коммерческих фильтрах нижних частот и некоторые другие конструкции конденсаторов, которые, на первый взгляд мало чем напоминают привычные нам по виду дискретные конденсаторы.

Упрощения допустимые при изготовлении самодельного фильтра

Для того, что бы самодельный фильтр, собираемый радиолюбителем, обеспечил заявленные в его описании параметры, необходимо строго следовать всем рекомендациям по геометрии расположения деталей в фильтре, по типам используемых деталей и по методике настройки фильтра.

Однако во многих случаях вполне возможно использовать некоторые упрощения в технологии сборки фильтра. Например, в радиолюбительских условиях фильтр можно собрать в корпусе, спаянном из фольгированного стеклотекстолита, вместо корпуса спаянного из меди или латуни. Но следует обратить внимание на то, что бы стыки корпуса и перегородок между ячейками были тщательно пропаяны. При конструировании фильтра нижних частот, предназначенного для работы совместно с передатчиком мощностью 200 ватт, то есть, конденсаторы которого работают при больших напряжениях и при больших реактивных мощностях, вместо дефицитных конденсаторов с большой реактивной мощностью можно использовать параллельно-последовательное включение нескольких конденсаторов имеющих меньшую реактивную мощность и относительно небольшое рабочее напряжение.

Итак, рассмотрев некоторые теоретические вопросы работы и моделирования фильтров и конструктивные вопросы их изготовления в радиолюбительских условиях, перейдем теперь к практическим конструкциям фильтров, которые можно рекомендовать для повторения радиолюбителями.

Практическая схема трех и четырехзвенного фильтра нижних частот

В радиолюбительской литературе описаны, наверное, сотни схем разнообразных фильтров нижних частот. Но из всего этого многообразия каждый радиолюбитель обычно отдает предпочтение только нескольким фильтрам, что были сделаны им или его друзьями, и

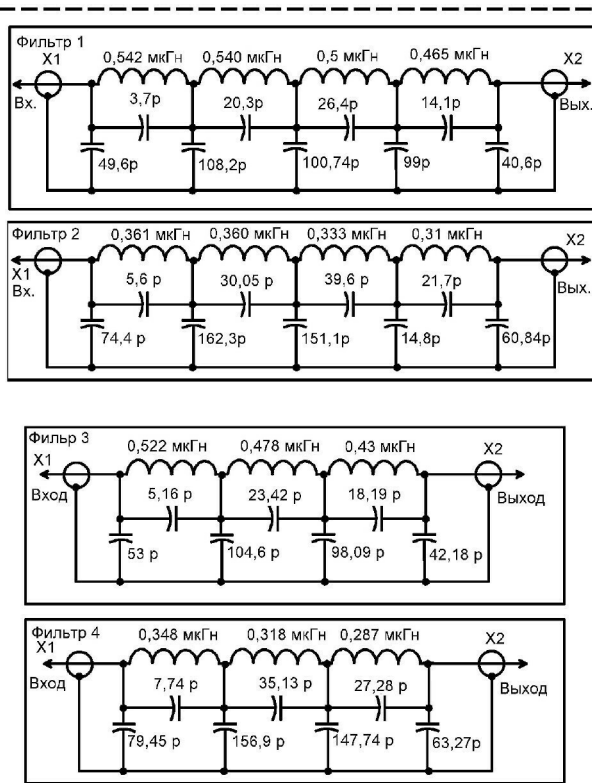


рис.4

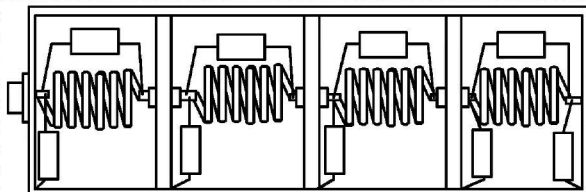


рис.5

которые показали себя надежными в работе. Это же касается и меня, поэтому в этой статье будут рассмотрены фильтры нижних частот, которые были сделаны мной и показали себя надежными в работе, легкими в настройке, нетребовательными к разбросу используемым в них деталей. Все эти достоинства успешно сочетают в себе фильтры нижних частот, схемы которых показаны на рис.4. Эти фильтры можно порекомендовать радиолюбителям как весьма надежные в подавлении гармоник

передатчика. Описание этих фильтров было приведено в литературе (Л.3). Схема и конструкция фильтров базируется на реальной конструкции выходного фильтра одного из профессиональных передатчиков. Фильтры можно выполнить для фидерного тракта волновым сопротивлением 50 или 75-Ом. Параметры приведены в табл.1.

Конструкция фильтров показана на рис.5. Конструктивные данные катушек для изготовления этих фильтров, которые были проверены в реальных конструкциях приведены в табл.2. В этой таблице представлены рассчитанные и проверенные на практике конструктивные данные катушек индуктивности для выполнения фильтров для передатчиков с выходной мощностью менее 100 Вт и более 200 Вт. В первом случае для выполнения катушек можно применять провод диаметром 0,8 миллиметров, во втором случае для выполнения катушек можно применять провод диаметром 2 миллиметра. Желательно использовать медный посеребренный полированный провод, но вполне удовлетворительные результаты можно получить и при использовании обычного медного эмалированного провода. Длина выводов катушек составляет 5 миллиметров.

Как видно из табл.1, четырехзвенный фильтр обеспечивает большее подавление гармоник передатчика по сравнению с трехзвенным. Поэтому его рекомендуется использовать когда уровень гармоник, производимых передатчиком, имеет большую мощность. Это может быть при работе передатчика на высоких уровнях мощности, или в режиме С. Недостатком же четырехзвенного фильтра является то, что его частота среза, как это видно из табл.1, равна 29-МГц. Поэтому, при использовании

ТАБЛИЦА 1

Схема фильтра, №	1	2	3	4
Фсреза, МГц	29	29	30	30
Подавление гармоник, дБ	86,63	86,63	65	65
Характеристическое сопротивление, Ом	75	50	75	50
КБВ собственный	≥0,9	≥0,9	≥0,9	≥0,9
Потери, дБ	≤0,3	≤0,3	≤0,3	≤0,3

ТАБЛИЦА 2

Мощность передатчика						
≤100 Ватт				≥200 Ватт		
Рис. 4, №1						
Индуктив- ность, мкГн	Диаметр катушки, мм	Длина намотки, мм	Кол-во витков	Диаметр катушки, мм	Длина намотки, мм	Кол-во витков
0,542	10	12	9,5	15	8	6
0,540	9	11	10	15	8	6
0,5	9	12	10	15	10	6
0,465	9	13	10	15	11	6
Рис. 4 №2						
0,361	10	13	8	15	9	5
0,360	10	13	8	15	9	5
0,333	10	15	8	15	10	5
0,310	10	11	7	15	5	4
Рис. 4 №3						
0,522	10	11	9	15	9	6
0,478	10	13	9	15	10	6
0,430	10	10	8	15	12	6
Рис. 4, №4						
0,348	10	10	7	15	9	5
0,319	10	11	7	15	11	5
0,267	10	14	7	15	14	5

четырёхзвенного фильтра верхней частью диапазона 10 метров придется пожертвовать.

Хотя подавление гармоник трехзвенным фильтром несколько ниже, чем в случае

использования четырехзвенного фильтра, как показывает опыт, трехзвенный фильтр во многих случаях сможет обеспечить удовлетворительную фильтрацию гармоник передатчика. Частота среза трехзвенного фильтра составляет 30-МГц, поэтому при его использовании диапазон 10 метров открыт для работы. Что еще немаловажно, трехзвенный фильтр может быть выполнен и настроен даже радиолюбителем с небольшим опытом.

Фильтры, показанные на рис.4, на первый взгляд являются необратимыми, то есть, эти фильтры имеют вход, куда подключается передатчик и выход, куда подключается фидер с антенной. Однако, проверка АЧХ

фильтров при помощи программы RFSimm99 показала, что на самом деле, практически нет разницы, куда подключать антенну а куда выход передатчика. АЧХ фильтра при этом практически не меняется. Более подробно вопросы, связанные с характеристиками фильтров, будут рассмотрены ниже.

Григорьев И.Н.

ПРОДОЛЖЕНИЕ
В "РК-09-2004".

Литература :

2. <http://WWW.gsl.net/dl2kq>.

3. Долматовский Б. Фильтры гармоник.
ж.Радиолюбитель. КВ и УКВ, №3, 1996, с.30.

ВЫХОДНЫЕ ФИЛЬТРЫ

(начало в "РК-07-08-2004")

Теоретические параметры четырех и трехзвенных фильтров нижних частот

Теоретические параметры фильтров нижних частот, схемы которых показаны на рис. 4, приведены в табл. 1. Однако радиолюбителям всегда интересно посмотреть на графический вид АЧХ фильтров. К сожалению, в литературе (Л.3) АЧХ этих фильтров приведены не были. Для устранения этого пробела при АЧХ были рассчитаны помощи программы RFSimm99. При моделировании оказалось, что четырехзвенные фильтры, показанные на рис. 4, имеют одинаковые амплитудно - частотные характеристики, независимо от того, в тракте с каким волновым сопротивлением они рассчитаны работать. То же самое касалось и трехзвенных фильтров. Поэтому в этом параграфе будут приведены АЧХ только для четырех и трехзвенного фильтра для работы в тракте 75-Ом.

Теоретические параметры четырехзвенного фильтра нижних частот

Рис. 6 показывает АЧХ четырехзвенного фильтра в диапазоне от 1 до 90 МГц. На этом рисунке приведен также график коэффициента отражения по входу фильтра, показывающий, отношение поступающей мощности на вход фильтра к мощности, отраженной от фильтра. Из этого рисунка видно, что действительно, теоретические параметры фильтра, рассчитанные при помощи программы RFSimm99, соответствуют приведенным в табл. 1.

Четырехзвенный фильтр обеспечивает затухание на частоте 30-МГц равное (-3,87 дБ). Коэффициент отражения на этой частоте равен (-7,7 дБ). Для перевода коэффициента отражения в привычное для радиолюбителей значение КСВ, можно воспользоваться таблицами децибел, приведенными в *Приложении к Л.1*. Можно ориентироваться на такие цифры, при коэффициенте отражения равном (-10 дБ) значение КСВ будет 50:1. В нашем случае, при значении отражения (-7,7 дБ) на частоте 30-МГц, значение КСВ на этой частоте будет не менее 20:1.

Теоретические параметры трехзвенного фильтра нижних частот

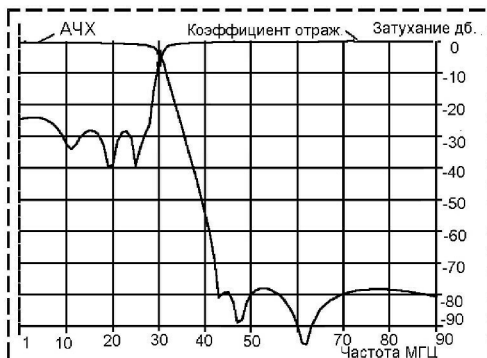


рис.6



рис.7

Рис. 7 показывает АЧХ трехзвенного фильтра в диапазоне от 1 до 90-МГц. На этом рисунке приведен также график коэффициента отражения по входу фильтра, показывающий отношение поступающей мощности на вход фильтра к мощности, отраженной от фильтра. Из рисунка видно, что, теоретические параметры трехзвенного фильтра, рассчитанные при помощи RFSimm99, соответствуют приведенным в табл. 1. Трехзвенный фильтр обеспечивает затухание на частоте 30-МГц равное (-2,48 дБ). Коэффициент отражения на этой частоте равен (-13,29 дБ). После перевода в КСВ (*Приложение к Л.1*) в нашем случае при коэффициенте отражения (-13,29 дБ) на частоте 30-МГц, значение КСВ на этой частоте будет не менее 50:1.

Фильтры отражательного типа

Как видно из графиков АЧХ и коэффициента отражения фильтров (см. рис. 6-7), теоретически, на частотах ниже 30-МГц, то есть, в своей полосе прозрачности, эти фильтры вно-

сят настолько малое отражение в фидерный тракт, что оно даже не должно регистрироваться при помощи любительских КСВ - метров. В диапазоне частот от 30 до 40-МГц, наоборот происходит резкий рост коэффициента отражения. Теоретически, выше частот 40-МГц, практически вся мощность гармоник, идущая от генератора на вход четырех или трехзвенного фильтра, отражается от этого входа обратно на выход передатчика. Фильтр, в котором в его полосе задерживания происходит отражение мощности гармоник от входа фильтра на выход передатчика принято называть *Фильтр отражательного типа*.

Реальные параметры фильтра нижних частот

Конечно, реальный фильтр нижних частот, в своей полосе прозрачности вполне может добавить некоторое значение КСВ в фидерный тракт, будучи включенным в него. Однако, увеличение общего значения КСВ фидерного тракта при включении в него фильтра происходит, во первых, за счет конструктивных особенностей фильтра, а во вторых за счет того, что в фильтре используются реальные детали, а не их модели. На практике также наблюдается некоторое отличие реального затухания фильтра от его теоретически расчетного значения. Это тоже обусловлено конструктивными особенностями фильтра и используемых в нем деталей.

Например, недостаточная экранировка между ячейками фильтра ведет к тому, что гармоники передатчика, вместо того, чтобы быть отраженными, начинают просачиваться с ячейки на ячейку фильтра, и далее поступают на выход фильтра. А использование в конструкции фильтра несоответствующих конденсаторов, не предназначенных для работы на частотах подавления фильтра, или конденсаторов с длинными выводами ведет к тому, что на частотах подавления фильтра эти конденсаторы могут перестать работать в качестве конденсаторов. В результате этого, фильтр потеряет свои теоретические параметры, и некоторая мощность гармоник будет проходить сквозь фильтр к антенне. При желании любой радиолюбитель при помощи программы RFSimm99 может сам смоделировать эти ситуации и убедиться в справедливости этих слов.

Рекомендации по выполнению конструкции трех и четырехзвенного фильтра

Итак, как же выполнить фильтр нижних частот, что бы его практически полученная АЧХ соответствовала теоретически расчетной? Для

эффективной работы фильтра нижних частот его катушки должны иметь высокую добротность и малую собственную межвитковую емкость. Это достигается выполнением катушек из голого медного полированного провода, расстояние между витками катушки должно быть не менее диаметра провода, из которого выполнена катушка фильтра. Катушки при их установке в металлический корпус фильтра должны иметь малую емкость на этот корпус. Для этого расстояние от геометрического центра катушки до проводящей поверхности корпуса фильтра должно быть не менее диаметра катушки.

Номиналы деталей, используемых в фильтре, должны соответствовать расчетным. Катушки, используемые в фильтре, должны быть сделаны точно по описанию. При помощи прибора для измерения емкости конденсаторов необходимо осуществить подбор номиналов конденсаторов, используемых в фильтре, по значению емкости, которое было теоретически рассчитано.

АЧХ фильтров выполненных на деталях с отклонением от расчетного значения

Однако, как бы тщательно не был проведен подбор деталей для фильтра, все равно номиналы этих деталей будут иметь некоторое отклонение от их теоретического значения. Чего же можно ожидать от работы фильтра в этом случае? А ожидать можно только одного, – некоторого ухудшения работы фильтра.

В зависимости от разброса в используемых деталях, частота среза фильтра может "убежать" вверх или вниз по частоте. В любом случае ухудшится крутизна ската среза характеристики фильтра, может уменьшиться подавление гармоник передатчика в полосе задерживания фильтра. Постоянство характеристического сопротивления фильтра в полосе частот работы фильтра изменится скорей всего незначительно, и затухание, вносимое фильтром в полосу прозрачности, тоже, как правило, не потерпит значительных изменений.

В общем случае, если отклонения номиналов деталей небольшие, то изменения, произошедшие в амплитудно – частотной характеристике фильтра, могут быть не столь существенными для того, чтобы вызвать полный провал работы фильтра. Это подтверждает мой опыт конструирования фильтров, когда при использовании более-менее подобранных деталей, практически собранный фильтр имеет приемлемую АЧХ вообще без всякой дополнительной настройки. Программа RFSimm99, которая позволяет построить АЧХ фильтра с деталями, имеющими отклонения от расчет-

ного значения, тоже подтверждает это.

АЧХ четырехзвенного фильтра выполненного на деталях с отклонением от расчетного значения

Рис. 8 показывает АЧХ четырехзвенного фильтра, выполненного с использованием деталей (катушек и конденсаторов), имеющих отклонение на 10% большее их теоретического значения. Как видно из этого графика, частота среза фильтра по уровню (-3 дБ) в этом случае составляет 27,5-МГц. Это значит, что диапазон 10 метров этот фильтр теперь обрезает полностью. Уровень подавления частот, лежащих за полосой прозрачности фильтра, по-прежнему остался в пределах (-80 дБ). График коэффициента отражения фильтра практически не изменился, следовательно, и характеристическое сопротивление фильтра осталось прежним. Этот фильтр вполне пригоден, если диапазон 10 метров не применяется радиолюбителем при работе в эфире. Более того, фильтр с такой АЧХ подавит гармоники передатчика при его работе на диапазонах 160 - 20 метров, где гармоники передатчика могут лежать в любительском диапазоне 10 метров.

Рис. 9 показывает АЧХ четырехзвенного фильтра, выполненного с использованием деталей (катушек и конденсаторов), имеющих отклонение на 10% меньшее их теоретического значения. Как видно из этого графика, частота среза такого фильтра по уровню (-3 дБ) составляет 33,73-МГц, то есть, теперь диапазон 10 метров полностью лежит в полосе пропускания фильтра. Уровень подавления частот, лежащих за полосой прозрачности фильтра, по-прежнему остался лежать в пределах (-80 дБ). График коэффициента отражения фильтра практически не изменился, следовательно, и характеристическое сопротивление фильтра осталось прежним.

Однако сравнение характеристик фильтров, выполненных на деталях с отклонениями от расчетных величин (рис. 8 - 9) с характеристикой фильтра выполненного на деталях имеющих расчетный номинал показывает, что крутизна скатов характеристик этих фильтров пострадала. Однако, в общем случае, ухудшение крутизны скатов характеристик фильтров не должно беспокоить радиолюбителей. Для фильтра, выполненного на деталях с верхним разбросом номиналов, АЧХ которого показана на рис. 8, незначительное ухудшение крутизны скатов фильтра никак не скажется на уровне подавления внеполосных излучений передатчика.



рис.8



рис.9

Для фильтра, выполненного на деталях с отклонением номиналов на 10% меньшим их теоретического значения, ухудшение крутизны скатов в диапазоне частот 35 - 45-МГц уже может стать причиной создания помех некоторым радиотелефонам, не сертифицированным для использования в России. Однако создание помех служебным УКВ радиостанциям диапазона частот 35 - 45-МГц мало вероятно, потому что уровень подавления гармоник фильтром в этой области частот остается достаточно высоким. Кроме того, в настоящее время служебные станции начинают уходить из диапазона частот 35 - 45-МГц, что позволяет эксплуатировать фильтр с такой АЧХ для работы в эфире.

АЧХ трехзвенного фильтра выполненного на деталях с отклонением от расчетного значения

Рис. 10 показывает АЧХ трехзвенного фильтра, выполненного с использованием деталей (катушек и конденсаторов), имеющих



рис.10



рис.11

отклонение на 10% большее их теоретического значения. Как видно из графика, частота среза фильтра по уровню (-3 дБ) составляет 29,375 МГц, то есть, большая часть диапазона 10 метров остается работоспособной. Уровень подавления частот, лежащих за полосой прозрачности фильтра, остался равным (-60 дБ). График коэффициента отражения фильтра практически не изменился, следовательно, и характеристическое сопротивление фильтра

осталось прежним. Если не работать в верхнем участке диапазона 10 метров, то этот фильтр вполне пригоден.

Рис. 11 показывает АЧХ четырехзвенного фильтра, выполненного с использованием деталей (катушек и конденсаторов), имеющих отклонение на 10% меньшее их теоретического значения. Как видно из этого графика, частота среза фильтра по уровню (-3 дБ) составляет 35,83-МГц, то есть, теперь весь диапазон 10 метров лежит в полосе пропускания фильтра. Уровень подавления частот, лежащих за полосой прозрачности фильтра равен (-60 дБ), коэффициент отражения, следовательно, и характеристическое сопротивление фильтра, изменилось незначительно.

Также как для четырехзвенных фильтров, крутизна скатов характеристик трехзвенных фильтров, выполненных на деталях с отклонением от расчетного значения, несколько пострадала. Если для фильтра, частота среза которого ушла вниз (см. рис. 10) это не имеет особого значения, то для фильтра, частота среза которого ушла вверх (см. рис. 11), это уже может представлять собой неприятное явление. Как это было отмечено в предыдущем параграфе, работа с таким фильтром может вызвать появление помех телевизионной и радиоприемной аппаратуре невысокого класса, расположенной в непосредственной близости от антенны любительской радиостанции. Могут появиться помехи для работы радиотелефонов не сертифицированных для России, которые работают в диапазоне частот 30 – 50 МГц.. Однако, этот фильтр успешно подавит гармоники передатчика, лежащие выше частоты 50 МГц, что в общем и требуется от фильтра нижних частот.

Григоров И.Н.

ПРОДОЛЖЕНИЕ
В "РК-10-2004"

ВЫХОДНЫЕ ФИЛЬТРЫ

(начало в "РК-07-08-09-2004")

Снятие АЧХ фильтра нижних частот в любительских условиях

Однако, в реальной практике радиолюбителя, использование в конструкции фильтра нижних частот деталей, имеющих номинал с отклонением от теоретически расчетного, неизбежно. Как это было показано выше, в этом случае изменяется частота среза и крутизна скатов АЧХ фильтра. Следовательно, просто собрав фильтр из имеющихся деталей, радиолюбитель может получить фильтр, амплитудно - частотная характеристика которого не будет соответствовать предъявляемым к нему требованиям. Поэтому, весьма желательно проверить вид АЧХ собранного фильтра, и в необходимых случаях произвести настройку фильтра. Как уже отмечалось ранее, настраивать фильтр нижних частот желательно с использованием методики, предложенной автором этого фильтра.

Для снятия АЧХ фильтра можно воспользоваться схемой, приведенной на рис. 2. Однако использование этой схемы, несмотря на ее простоту, не совсем удобно, так как в этом случае для снятия АЧХ фильтра необходимо проделать множество измерений. Гораздо удобнее и нагляднее для снятия АЧХ фильтра использовать Измеритель Амплитудно - Частотных Характеристик. Подойдет любой прибор, от древнего Х1-1А, до современного Х1-50. В крайнем случае, можно сделать приставку к осциллографу, которая превратит его в ИЧХ. Схема

такой приставки приведена, например, в Л.1. В настоящее время также можно приобрести специальную плату, которая превратит компьютер в ИЧХ, работающий в полосе частот от нескольких килогерц до нескольких гигагерц.

Настройка фильтра нижних частот при помощи ИЧХ

рис.12

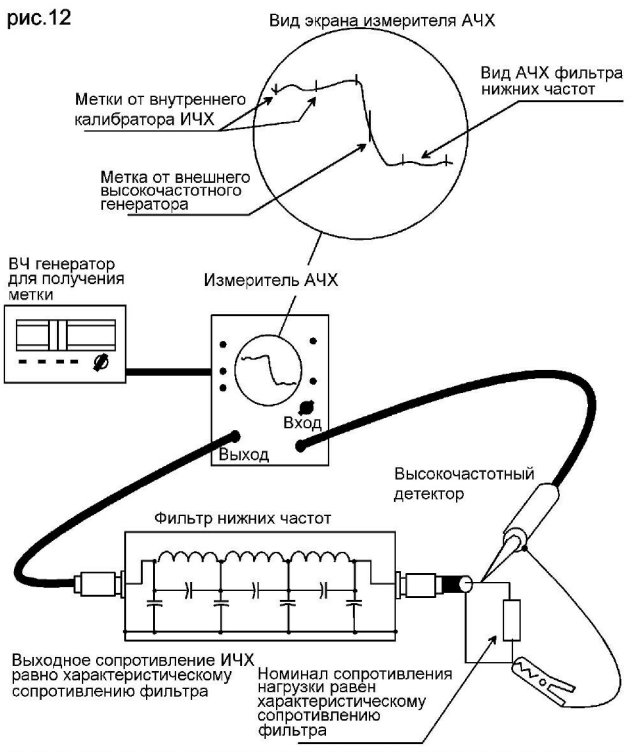


Схема стенда для снятия АЧХ и настройки фильтра нижних частот на основе ИЧХ показана на рис. 12. Как видно из этого рисунка, вход фильтра подключают к выходу ИЧХ, к выходу фильтра подключена согласованная нагрузка, к которой подключен измерительный высокочастотный детектор. Выходное сопротивление выхода ИЧХ должно соответствовать характеристическому сопротивлению фильтра. Использование совместно с ИЧХ калиброванного высокочастотного генератора позволит по метке, которую он ставит на индицируемой на экране ИЧХ частотной характеристике фильтра, точно определить частоту среза

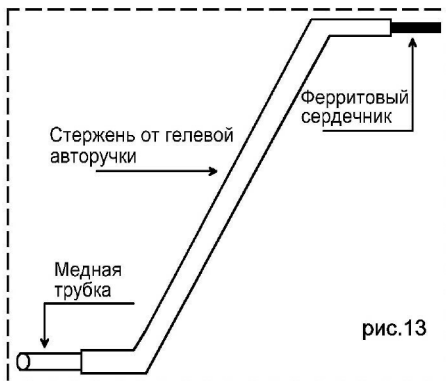
фильтра. Однако, высокочастотный генератор нужен только для работы совместно с ИЧХ старых типов, практически все современные приборы имеют встроенный высокочастотный генератор для получения частотной метки.

Собрав схему согласно рис 12, и включив ИЧХ на соответствующую полосу качания, можно на его экране увидеть АЧХ фильтра. Затем устанавливают необходимое усиление каналов и вид характеристики усилителей ИЧХ. Рекомендую всегда выбирать логарифмическое усиление каналов, в этом случае вид АЧХ фильтра на экране ИЧХ будет соответствовать привычному нам виду АЧХ фильтров, показанных ранее в этой статье. Для исследования АЧХ фильтра полосу качания частоты в ИЧХ сужают так, чтобы она захватывала только небольшой участок АЧХ охватывающий срез и спад характеристики. В случае необходимости осуществляют подстройку частоты среза и крутизны спада АЧХ фильтра. Настройку фильтра осуществляют во первых, при помощи оперативного изменения индуктивности катушек фильтра, которая может осуществляться путем сжатия - растяжения витков катушек, а во вторых, небольшим изменением емкости конденсаторов.

Для того, что бы сразу выяснить требуется увеличить индуктивность катушки фильтра (сжать ее витки), или уменьшить индуктивность катушки (растянуть витки катушки), очень удобно использовать пластиковый стержень от гелевой ручки, на одном конце которого укреплен ферритовый стержень, а на другом конце отрезок тонкой медной трубки длиной около 1 сантиметра.

Конструкция такого испытательного стержня показана на рис. 13. Ферритовый стержень и медная трубочка могут быть впаяны в пластиковый стержень. Ферритовый сердечник должен иметь небольшие потери на частотах работы фильтра, можно использовать феррит из контуров ПЧ современных телевизоров. Для удобства работы с этим «прибором», стержень гелевой ручки изгибают так, как это показано на рис. 13. Для этого стержень нагревают спичкой или зажигалкой в месте сгиба, а затем его сгибают так, что бы ферритовый сердечник и медная трубочка располагались под углом 30 - 45 градусов относительно стержня.

Использовать этот испытательный прибор очень просто. Введя в испытываемую катушку феррит, мы получим увеличение



значения индуктивности этой катушки, а если введем медную трубку, или расположим ее рядом с катушкой, то уменьшим индуктивность катушки. В результате этого сразу можно видеть, как влияет изменение индуктивности катушки на АЧХ фильтра. Для подключения дополнительных конденсаторов небольшой емкости параллельно основным конденсаторам фильтра можно использовать диэлектрический пинцет. При этом на экране ИЧХ видно влияние в изменении параметров каждого элемента фильтра на его АЧХ. Вместо согласованной нагрузки на выход фильтра можно подключить реальный коаксиальный кабель, нагруженный на реальную антенну. В этом случае на экране ИЧХ увидим, как фильтр будет работать совместно с реальной антенной системой. Каждый **реально выполненный фильтр** при работе на **реальную антенну** имеет свои особенности при его настройке, и повозившись некоторое время с настройкой реального фильтра при помощи ИЧХ радиолубитель может выявить эти особенности.

При настройке фильтра совместно с ИЧХ обратите внимание на то, как многие посторонние воздействия влияют на АЧХ фильтра. Например, можно прогреть мощной лампой накаливания фильтр, и увидеть, как при этом поползет вниз его частота среза. Можно попробовать отключать конденсаторы фильтра, и при этом наблюдать, как меняется уровень подавления в полосе задерживания фильтра. Можно даже выставить максимум подавления на какой либо частоте, например на частоте телевизионного канала, где наблюдается повышенный уровень помех при работе любительского передатчика.

Недостатком настройки фильтра нижних частот при использовании ИЧХ является то, что перенос на бумагу АЧХ фильтра представляет собой определенные трудности. Наиболее просто это можно сделать, наложив на экран ИЧХ полупрозрачную бумагу, на которую затем перерисовывается АЧХ фильтра. Некоторые ИЧХ имеют соответствующие насадки, на которые устанавливается фотоаппарат для фотографирования АЧХ испытываемых устройств. ИЧХ выполненный на базе компьютера позволяет сохранять изображение монитора, то есть, в данном случае позволяет значительно упростить процесс сохранения и переноса на бумагу характеристик испытываемых устройств.

Открытые фильтры

Как уже отмечалось выше, практическое изготовления качественного фильтра нижних частот, который обеспечивает значительное подавление сигналов в полосе задерживания, сопряжено со многими трудностями. Уже было разобрано, как важно в этом случае использовать детали имеющие номиналы соответствующие расчетным. Но не менее важным в конструкции фильтра является корпус, иными словами, место размещения деталей фильтра. Корпус должен быть разбит на ячейки, в каждой из которых должно быть размещено соответствующее звено фильтра. Конструкция корпуса фильтра должна предотвращать нежелательную связь между соседними звеньями фильтра, в противном случае, АЧХ фильтра может рассыпаться. Корпус должен предотвращать излучение от ячеек фильтра, и в тоже время не ухудшать добротности катушек, используемых в фильтре. Желательно также чтобы корпус обладал некоторой тепловой инерцией, и мог принимать на себя тепло, исходящее от элементов фильтра. В процессе работы фильтра в передающем тракте возможен нагрев элементов фильтра, и вследствие этого, частота среза фильтра может уменьшиться.

Перечисленным выше условиям удовлетворяет корпус, выполненный из меди или латуни толщиной 1,5-3 миллиметра. При отсутствии соответствующих материалов, инструментов и опыта для выполнения такого корпуса, его можно выполнить из фольгированного стеклотекстолита.

Однако, в некоторых случаях от фильтра

нижних частот может не требоваться глубокого подавления сигналов в полосе задерживания фильтра. Например, когда для работы в эфире используется передатчик малой мощности, или когда сигнал передатчика является достаточно "чистым" в отношении содержания побочных спектральных составляющих. Для работы совместно с такими передатчиками можно использовать **открытую конструкцию** фильтра нижних частот. В открытой конструкции фильтра корпус, окружающий фильтр и его элементы, может вообще отсутствовать, между звеньями фильтра могут отсутствовать экраны. Начиная с 90 годов 20 века, с распространением элементов для поверхностного монтажа, открытые фильтры нижних частот широко используются в коммерческой аппаратуре связи.

В настоящее время описание открытых фильтров можно найти в радиолюбительских изданиях. При повторении открытого фильтра радиолюбителям следует строго придерживаться рекомендаций по его изготовлению. Необходимо использовать конденсаторы только указанных типов и номиналов, соблюдать геометрию расположения элементов на плате. Элементы фильтра, катушки и конденсаторы, должны иметь выводы минимально возможной длины. В конструкции открытых фильтров большое значение имеет правильный монтаж его элементов. Как правило, соседние катушки в открытом фильтре располагаются перпендикулярно относительно друг друга, в соседних катушках используют противофазную намотку для ослабления индуктивных наводок между катушками.

Конструкция открытого фильтра занимает мало места и такой фильтр можно установить внутри промышленного коротковолнового или Си - Би трансивера. Это позволит очистить спектр сигнала передатчика от гармоник и более свободно эксплуатировать любительскую или Си - Би радиостанцию в современных городах, насыщенных различными радиоэлектронными средствами.

В заключение этого параграфа хочу отметить, что для экспериментальных целей мной было собрано несколько экземпляров открытых фильтров нижних частот по схемам, приведенным на **рис. 4**. Данные для выполнения катушек индуктивности были взяты из **табл. 2**. Подавление гармоник в такой конструкции фильтра на некоторых частотах полосы

задерживания фильтра было примерно на 10-дБ ниже, чем для его аналога собранного в закрытом металлическом корпусе с экранами между ячейками. Но все же подавление гармоник в этой открытой конструкции фильтра было достаточно высоким, что, по моему мнению, оправдывает выбор и изготовление открытой упрощен-

ной конструкции фильтра.

Далее будет описана конструкция одного популярного радиолюбительского открытого фильтра.

Григоров И.Н.

ПРОДОЛЖЕНИЕ в "РК-11-2004".

ВЫХОДНЫЕ ФИЛЬТРЫ

(начало в "РК-07-08-09-10-2004")

Прототип открытого фильтра

В 70 - 80 годах, после выхода из печати знаменитого «Справочника коротковолновика» (Л4), среди радиолюбителей получил популярность описанный в этой книге фильтр нижних частот, схема которого приведена на **рис. 14**. В Л.4 также были приведены данные деталей для выполнения этого фильтра для работы в фидерном тракте 50 и 75-Ом, которые в этом параграфе приведены в **табл. 3**.

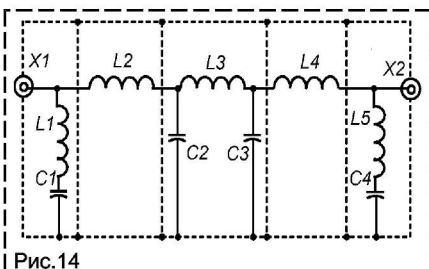


Рис. 14

Табл. 3

Параметры	Волновое сопр. фидера, Ом	
	50	75
C1, C4, пф.	50	40
C2, C3, пф	170	120
L1, L5 вит.*	3,5	6
мкГн.	0,15	0,27
L2, L4 вит.*	8	11
мкГн.	0,32	0,44
L3 вит.*	9	13
мкГн.	0,36	0,66
*Провод ПЭВ-2, диаметр 1,2 мм, диаметр катушек 12,5 мм, шаг намотки 3 мм.		

При выполнении этого фильтра в металлическом корпусе, в котором каждая ячейка фильтра экранирована от другой, и его настройке в соответствии с рекомендациями, приведенными в Л.4, подавление фильтром сигналов, лежащих выше частоты 55 МГц составляет не менее -60 децибел. Этот фильтр является обратимым, то есть, все равно, куда подключить выход передатчика, а куда фидер с антенной.

АЧХ простого фильтра нижних частот

АЧХ простого фильтра нижних частот и его коэффициент отражения, рассчитанные при помощи программы RFSimm99, показаны на **рис. 15**. Как видно из этого рисунка, частота среза фильтра по уровню затухания минус 3-дБ составляет 39,8-МГц. Теоретический коэффициент отражения этого фильтра в полосе прозрачности несколько выше, чем для четырех и трехзвенного фильтра (**рис. 4**). Однако, коэффициент отражения фильтра, составляющий -20дБ, является очень большим, и на практике, КСВ в фидер могут добавить только различные практические особенности, которые возникают при изготовлении фильтра.

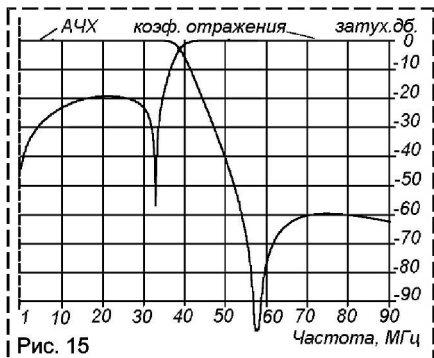


Рис. 15

Как видно из графика, приведенного на **рис. 15**, этот фильтр является фильтром отражательного типа. Значение КСВ этого фильтра в полосе задерживания стремится к бесконечности. На частотах задерживания фильтр закрывает проход гармоникам передатчика в фидерный тракт антенны, и отражает их от себя обратно на выход передатчика.

АЧХ простого ФНЧ выполненного из деталей с отклонением от теоретически рассчитанного номинала

Теоретический расчет АЧХ простого фильтра нижних частот при помощи программы RFSimm99 показал, что этот фильтр нетребователен к разбросу используемых в нем деталей. На **рис. 16** показаны АЧХ и коэффициент отражения этого фильтра с использованием для его изготовления деталей, имеющих номинал на 10% меньше расчетного. Частота среза фильтра по уровню -3 дБ увеличилась до 43,8-МГц, но

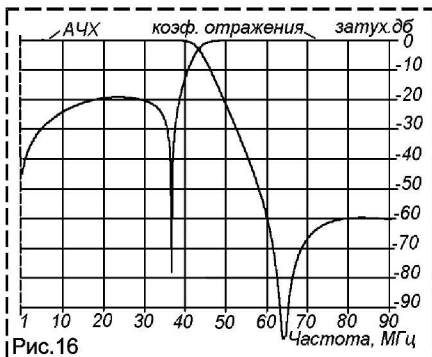


Рис. 16

глубина подавления фильтром сигналов в полосе задерживания осталась прежней, минус 60-дБ. Крутизна скатов АЧХ фильтра изменилась незначительно.

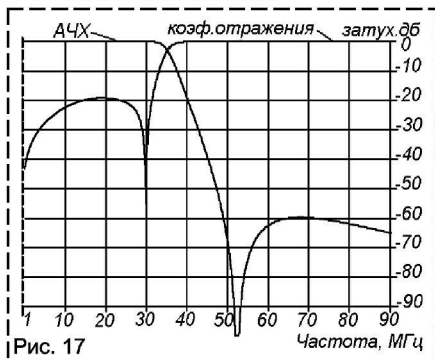


Рис. 17

На рис. 17 показаны АЧХ и коэффициент отражения этого фильтра с использованием для его изготовления деталей, имеющих номинал на 10% больше расчетного. Частота среза фильтра по уровню -3 дБ уменьшилась до 35,8 МГц, но глубина подавления фильтром сигналов в полосе задерживания осталась прежней, -60 дБ. Крутизна скатов АЧХ фильтра изменилась незначительно.

Эксперименты, проведенные мной с этими фильтрами, из деталей с отклонением от их теоретического значения, полностью подтвердили расчеты, выполненные при помощи программы RFSimm99.

Можно сделать вывод, что этот фильтр приобрел популярность среди радиолюбителей именно благодаря тому, что, во-первых, в фильтре используются конденсаторы стандартных номиналов, которые можно найти среди стандартного ряда

емкостей конденсаторов, а во-вторых, вследствие того, что даже отклонение емкостей этих конденсаторов в пределах допуска 10% от их номинального значения позволяет создать фильтр имеющий приемлемые параметры.

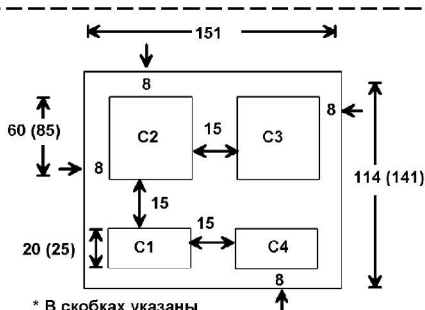
Другие достоинства простого фильтра нижних частот

Как показывает опыт многих радиолюбителей, и расчеты на программе RFSimm99, этот фильтр малочувствителен к волновому сопротивлению фидерного тракта, в котором он используется. То есть, фильтр, рассчитанный для применения в фидерном тракте волновым сопротивлением 50-Ом, будет хорошо работать и в фидерном тракте волновым сопротивлением 75-Ом. А фильтр, рассчитанный для тракта волновым сопротивлением 75-Ом, будет хорошо работать и в тракте волновым сопротивлением 50-Ом.

Еще одно достоинство этого фильтра заключается в том, что он прекрасно справляется с фильтрацией гармоник при работе с нагрузкой (антенной) с входным сопротивлением не равным характеристическому сопротивлению фильтра, то есть, работающей с высоким значением КСВ. Это подтверждает расчет на программе RFSimm99, и мой практический опыт эксплуатации этого фильтра в течение длительного времени.

Практическая конструкция открытого фильтра

Из приведенных выше описаний особенностей простого фильтра нижних частот, становится понятно, почему этот фильтр стал популярным среди радиолюбителей сразу после появления его схемы в Л.4. Позже радиолюбителями были разработаны открытые конструкции этого фильтра, описания которых появились в конце 80 начале 90 годов в радиолюбительской литературе разных стран Европы. В доступной отечественной литературе первое описание открытой конструкции простого фильтра нижних частот, вероятнее всего, было приведено сначала в Л.5, а затем и в Л.6. Ниже рассмотрим особенности открытой конструкции фильтра нижних частот, описанной в Л.6. На мой взгляд, эта конструкция открытого фильтра является наиболее простой в настройке и легко повторяемой в радиолюбительских условиях.



* В скобках указаны размеры для фильтра с характеристическим сопротивлением 50 Ом

** Размеры даны в миллиметрах

Рис. 18 А

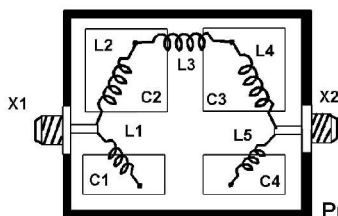


Рис. 18 Б

Фильтр нижних частот выполнен на одной плате из двухстороннего фольгированного стеклотекстолита толщиной 1,5 мм. Конденсаторы фильтра образованы медной фольгой печатной платы. На рис. 18 показана топология печатной платы (рис. 18а) и конструкция открытого фильтра (рис. 18б) в соответствии с Л.6. Размеры без скобок приведены для фильтра нижних частот для работы в тракте 75-Ом, а размеры в скобках приведены для работы в тракте 50-Ом.

Однако, для того, что бы открытый фильтр нижних частот, выполненный согласно рис. 18, сохранил свои основные теоретически рассчитанные параметры, необходимо, чтобы конденсаторы фильтра, образованные на стеклотекстолите, имели емкость, указанную в табл. 3. Для этого после выполнения печатной платы, необходимо при помощи измерителя емкости проверить емкости получившихся конденсаторов. В случае отклонения емкости «печатных» конденсаторов от теоретического значения, необходимо произвести коррекцию. Для уменьшения емкости конденсатора часть фольги, образующей конденсатор, можно срезать, а для увеличения емкости можно

параллельно «печатным» конденсаторам подпаять дискретные конденсаторы.

Фильтр нижних частот, собранный на печатной плате, можно установить непосредственно в трансивер или усилитель мощности. Размещать этот фильтр желательно в экранированном отсеке. Если фильтр предполагается эксплуатировать отдельно от трансивера, то с боков фильтра припаивают полосы из фольгированного стеклотекстолита, на этих полосах устанавливаются высокочастотные разъемы, имеющие волновое сопротивление соответствующее волновому сопротивлению линии передачи. Затем фильтр сверху закрывается куском фольгированного стеклотекстолита, который запаивается к этим полосам.

Как было указано в Л.6, открытый фильтр нижних частот, выполненный на куске стеклотекстолита толщиной 1,5 мм согласно рис. 18, остается работоспособным при проходящей через него мощности более 200 ватт.

Отражающие фильтры нижних частот на выходе передатчика

Фильтры, схемы которых приведены на рис. 4 и рис. 14, как было сказано ранее, являются фильтрами отражательного типа. То, что эти фильтры отражают от себя на выход передатчика гармоники, любой радиолюбитель может сам легко убедиться практически. Для этого следует только измерить КСВ фильтра на частотах его подавления. Теоретическое значение КСВ фильтра в этом случае огромно, 100:1, однако, практическая регистрация больших значений КСВ при помощи КСВ-метров, как любительских, так и профессиональных, затруднена, поэтому, вероятнее всего будет получено значение 10:1...20:1.

Ниже рассмотрим более подробно работу фидерного тракта передатчика с включенным туда отражательным фильтром нижних частот и без него.

Работа фидерного тракта передатчика без отражающего фильтра нижних частот

При работе системы «передатчик - линия передачи - антенна», как показано это на рис. 19, значение КСВ, производимое сигналами высших гармоник в линии передачи, редко бывает большим.

Это происходит, во-первых, вследствие того, что сама антенна коротковолнового диапазона обычно достаточно эффективно излучает эти высокочастотные гармоники, то есть, имеет небольшое значение КСВ по этим гармоникам. Во-вторых, коаксиальный кабель, используемый на коротковолновом диапазоне, часто имеет значительные потери на высших частотах гармоник. Значит, частоты высших гармоник терпят затухание при прохождении через коаксиальный кабель в прямом направлении от передатчика к антенне. Отраженные от антенны гармоники тоже терпят затухание при прохождении по коаксиальному кабелю от антенны к передатчику. Это приводит к еще большему уменьшению значения КСВ для частот высших гармоник измеренного непосредственно на выходе передатчика. По этим причинам, подключение на выход передатчика реальной антенны с коаксиальным кабелем обычно не вызывают появления новых гармоник в выходном каскаде передатчика, и не нарушают режима работы этого выходного каскада.

Работа передатчика с отражающим фильтром нижних частот

Отражательный фильтр, установленные на выходе передатчика, «отражает» от себя сигналы гармоник передатчика назад на его выходной каскад. Часть энергии отраженных гармоник рассеивается на элементах выходного каскада передатчика, а другая часть вновь отражается от элементов выходного каскада в антенно - фидерный тракт, на фильтр нижних частот, и далее этот процесс снова повторяется. Это приводит к тому, что в фидерном тракте на пути от выходного каскада передатчика до фильтра нижних частот установится режим стоячих волн высших гармоник передатчика.

В зависимости от его схемы, отражательный фильтр нижних частот может представлять собой или короткое замыкание для токов высших гармоник, или иметь бесконечное сопротивление. Это приведет к тому, что на входе фильтра будет распределение или максимума тока или максимума напряжения высокочастотных гармо-

Рис.19

Распределение напряжения высших гармоник в фидерном тракте. КСВ гармоник при отсутствии ФНЧ мал.

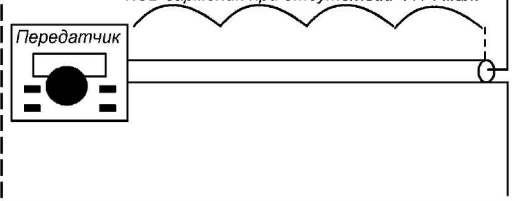
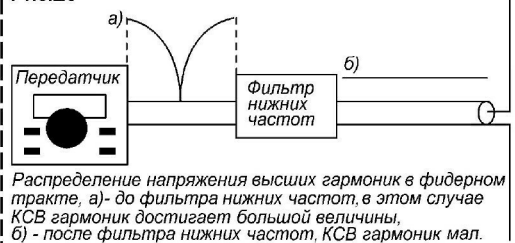


Рис.20



ник. **Рис. 20** иллюстрирует ситуацию, когда фильтр нижних частот представляет собой бесконечное сопротивление для токов высших гармоник. В зависимости от длины коаксиального кабеля, соединяющего фильтр нижних частот с передатчиком, эти максимумы могут быть перенесены на выход передатчика. Для лампового выходного каскада передатчика такой режим стоячих волн высших гармоник, может быть в общем случае не слишком опасен. Однако, для транзисторного усилителя мощности режим стоячих волн высших гармоник может иметь катастрофические последствия. Высшие гармоники, отраженные от фильтра нижних частот, могут пройти через проходную емкость выходного транзистора на предшествующие усилительные транзисторные каскады, что может нарушить их режим работы. Например, в результате этого возможно появление новых по частоте гармоник, причем частоты этих гармоник могут лежать в полосе прозрачности используемого с передатчиком фильтра нижних частот, иметь значительную мощность и эффективно излучаемые коротковолновой антенной в эфир.

Итак, на практике это выражается в следующем. Включаем на выход передатчика фильтр нижних частот, и передатчик начинает возбуждаться, или производить новые как высшие так и низшие гармоники,

причем низкочастотные гармоники могут лежать в полосе прозрачности фильтра. В результате этого, после такого неудачного включения фильтра нижних частот, передатчик начинает работать хуже, чем он работал ранее без фильтра. Ухудшается качество его основного сигнала, появляются продукты преобразования, лежащие в полосе пропускания фильтра.

Ликвидировать это неприятное явление можно несколькими способами. Фильтр нижних частот можно установить непосредственно на антенне. В этом случае, если длина коаксиального кабеля от антенны до передатчика будет достаточно большая, и этот коаксиальный кабель будет иметь значительное затухание на частотах гармоник, то КСВ на частотах высших гармоник на выходе передатчика может иметь не опасное для работы выходного каскада передатчика значение. В Л.1 разобран случай использования в фидерном тракте реального коаксиального кабеля с потерями. Например, при затухании в коаксиальном кабеле -4 дБ, что вполне возможно на частотах высших гармоник, при значении КСВ, измеренного непосредственно на антенне, равного $10:1$, значение КСВ, измеренное непосредственно на вы-

ходе передатчика будет равно $2:1$. Прямая и обратная волна от высокочастотных гармоник превратятся в тепло в коаксиальном кабеле, и не причинят вреда выходному каскаду передатчика.

Другой способ заключается в том, что подбирают длину отрезка коаксиального кабеля, соединяющего фильтр нижних частот с передатчиком. Часто удается найти кусок кабеля такой длины, при котором передатчик работает нормально.

Но самый радикальный способ заключается в установке на выходе передатчика фильтра нижних частот, значение КСВ которого на частотах высших гармоник, которые являются частотами задерживания этого фильтра, будет равно $1:1$.

Григорьев И. Н.

Литература :

4. Бунин С.Г., Яйленко Л.П. *Справочник радиолюбителя-коротковолновика.* – К.: Техника, 1978.
5. Радион Г. *Фильтр верхних частот.* ж.Радиолюбитель, №7, 1993, стр. 32.
6. А. Ронжин. *Телевизионный фильтр.* ж.Радиолюбитель, №6, 1994, стр. 4.

ПРОДОЛЖЕНИЕ В "РК-12-2004".

ВЫХОДНЫЕ ФИЛЬТРЫ

(начало в "РК-07-08-09-10-2004")

Работа поглощающего фильтра

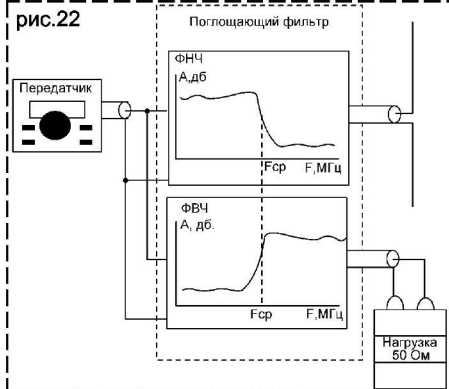
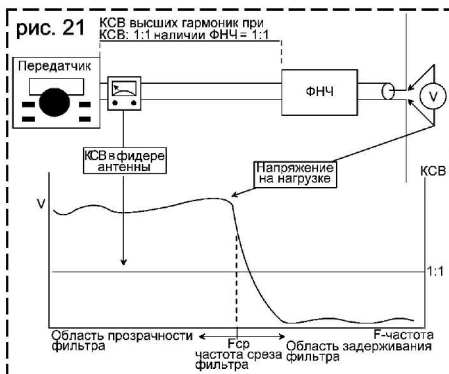
Что же это может быть за такой фильтр, значение КСВ которого как в полосе пропускания, так и в полосе задерживания равно 1:1? Можно сказать, что, если фильтр нижних частот во всем диапазоне работы имеет по своему входу значение КСВ равный 1:1, и, в то же время, это устройство в некотором участке частот не пропускает через себя высокочастотную энергию, то, следовательно, оно поглощает эту входящую в него высокочастотную энергию.

Фильтры, которые поглощают энергию спектра частот полосы задерживания, называются **поглощающими фильтрами**. Такие фильтры оптимальны для работы с полупроводниковыми усилителями мощности и могут быть установлены в любом месте после передатчика без нарушения режима работы его выходного каскада. Как видно из рисунка 21, значение КСВ высших гармоник в фидере при наличии поглощающего фильтра нижних частот равно 1:1.

Устройство поглощающего фильтра

Блок схема типичного поглощающего фильтра нижних частот показана на **рис. 22**. Такой фильтр представляет собой два включенных параллельно фильтра, один из них является ФВЧ, а другой – ФНЧ. На частотах прозрачности ФНЧ имеет характеристическое сопротивление, равное характеристическому сопротивлению линии передачи, в которую включается поглощающий фильтр. На частотах задерживания ФНЧ имеет входное сопротивление в несколько раз выше своего характеристического. Следовательно, на входе фильтра будет присутствовать максимум высокочастотного напряжения гармоник передатчика. Физически ФНЧ на частотах задерживания отключает линию передачи от передатчика.

На частотах прозрачности (которые для ФНЧ являются частотами задерживания) ФВЧ имеет характеристическое сопротивление, равное волновому сопротивлению фидера. Выход ФВЧ подключен к нагрузке, имеющей активное сопротивление, равное



волновому сопротивлению используемой линии передачи. Следовательно, на частотах задерживания ФНЧ высокочастотные гармоники поступают через ФВЧ на активную нагрузку, где рассеиваются в тепло. ФВЧ на своих частотах задерживания (которые для ФНЧ являются частотами прозрачности) имеет входное сопротивление, значительно превышающее характеристическое сопротивление ФНЧ. Следовательно, на этих частотах он не шунтирует линию передачи и не оказывает влияния на работу передатчика.

Итак, при установке на выходе передатчика поглощающего фильтра, сигналы с частотами, на которых работает передатчик, поступают в антенну, а энергия высокочастотных гармоник рассеивается на сопротивлении нагрузки в тепло.

Читатель может указать на некоторые неточности работы этой модели, одна из которых заключается в том, что на частотах высших гармоник выходное сопротивление

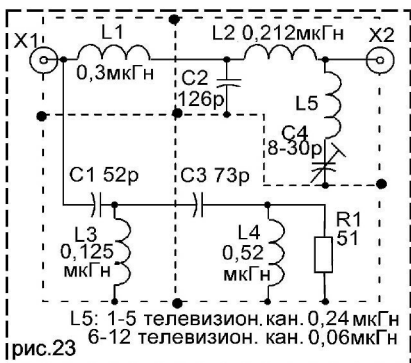


рис.23

передатчика не равно характеристическому сопротивлению фильтра.

Поглощающий фильтр (рис. 22) не является обратимым фильтром, то есть нельзя поменять местами подключение его входа и выхода. Однако, есть конструкции обратимых поглощающих фильтров, допускающих смену подключения входа и выхода.

Таблица 4

Параметр	L1	L2	L3	L4	L5 (1-5)	L6 (6-12)
Индуктивность, мкГн	0,3	0,212	0,125	0,52	0,24	0,06
Диаметр, мм	10	10	10	10	10	10
Длина намотки, мм	15	18	15	15	12	12
К-во витков	8	7	5	10	6	3

Практическая конструкция поглощающего фильтра

Практическая схема простого поглощающего фильтра, предназначенного для работы в фидерном тракте волновым сопротивлением 50-Ом, приведена на рис. 23, конструктивные данные катушек фильтра (рассчитаны и проверены мной в нескольких конструкциях поглощающего фильтра) приведены в табл. 4. Схема этого фильтра впервые была опубликована во втором издании «Справочника коротковолновика» (Л.7). являющегося на протяжении многих лет настольной книгой для радиолюбителей.

На этой схеме сверху расположен ФНЧ, а внизу ФВЧ. Частота среза обоих фильтров, составляет 40 мегагерц. Сигналы с частотами



рис.24

тами ниже этой частоты через ФНЧ свободно проходят в антенну, а сигналы с частотами выше этой частоты через ФВЧ поступают на резистор R1, где рассеиваются в тепло. В L4 рекомендуется использовать балластный резистор мощностью не менее 10 процентов, от мощности передатчика. Контур L5C4 настраивают на подавление наиболее сильной «телевизионной» или «радиовещательной» гармоники. Последовательный резонанс этого контура лежит в диапазоне частот от 115-МГц (емкость конденсатора C4 равна 8-пф) до 59-МГц (емкость конденсатора C4 равна 30-пф). Следовательно, можно подавить помехи телевизионному приему на 2 - 5 канале и FM- вещанию в диапазоне 88 –110-МГц. Для подавления помех, производимых передатчиком на 1 телевизионном канале параллельно переменному конденсатору C4 подпаивают постоянный конденсатор емкостью 15-пф. Для подавления помех, производимых передатчиком на более высокочастотных каналах, индуктивность катушки L5 должна быть уменьшена. При использовании катушки индуктивностью 0,06мкГн этот контур работает в диапазоне частот 118 – 230-МГц, то есть, обеспечивает подавление помех телевизионному приему на 6 - 12 канале, и в участке частот 120 –160-МГц, отведенного для работы кабельного телевидения.

Поглощающий фильтр желательно собрать в металлическом, или выполненном из фольгированного стеклотекстолита, корпусе, разбитом на ячейки согласно схеме, приведенной на рис. 23.

Параметры поглощающего фильтра

Параметры поглощающего фильтра были рассчитаны при помощи программы

RFSimm99. АЧХ и коэффициент отражения фильтра приведены на **рис. 24**. Как видно из этого рисунка, полоса среза поглощающего фильтра по уровню минус 3-дБ равна 40,5-МГц. В полосе задерживания поглощающий фильтр обеспечивает меньшее подавление, чем выше описанные в этой статье отражательные фильтры. Выше частоты 70-МГц теоретический уровень подавления составляет чуть более минус 30-дБ. На практике, уровень подавления сигналов в полосе задерживания, практически измеренный мной при помощи схемы, приведенной на **рис. 12**, составлял не более минус 26-дБ. Крутизна спада частотной характеристики тоже гораздо меньше, чем у выше описанных в этой статье отражательных фильтров. При проверке графика АЧХ поглощающего фильтра при помощи ИЧХ согласно методике показанной на **рис. 12**, было получено хорошее соответствие экспериментального и теоретического графика.

Однако, коэффициент отражения поглощающего фильтра больше минус 30-дБ практически во всей области частот работы фильтра. То есть, теоретическое значение КСВ фильтра в области частот выше 1МГц составляет только чуть выше 1:1, что и было подтверждено при практических экспериментах с этим фильтром. Следовательно, поглощающий фильтр можно включать на выход любого передатчика без опасения, что включение фильтра нижних частот приведет к появлению новых гармоник или к возбуждению передатчика. Особенно этот фильтр можно рекомендовать для работы с самодельными и коммерческими транзисторными передатчиками с широкополосными выходными каскадами. Если же уровень фильтрации гармоник, обеспечиваемый этим фильтром, будет недостаточен, то вслед за поглощающим фильтром можно включить любой из описанных выше отражательных ФНЧ. Проблема с подавлением гармоник передатчика без нарушения его режима работы в этом случае будет решена.

Практические испытания этого фильтра показали отличную работу, несмотря на то, что он имел, в общем - то, небольшое подавление гармоник. Была испытана работа поглощающего фильтра совместно с четырехзвенным фильтром, схема которого показана на **рис. 4**. При включении поглощающего фильтра на выход трансивера, помехи телевизионному приему

полностью исчезали. А при его замене на четырехзвенный фильтр, помехи телевизионному приему полностью «убить» не удавалось. Это еще раз подтверждает заключение о том, что отраженные от входа фильтра помехи не исчезают бесследно в передатчике, они пытаются вырваться наружу через вентиляционные щели передатчика (в этом случае корпус передатчика эффективно излучает эти гармоники), попадают в сетевые провода электропитания и распространяются по ним в соседние квартиры. В поглощающем фильтре энергию гармоник удается «перехитрить», гармоники свободно проходят на балластный резистор, в котором рассеиваются в тепло без причинения вреда другой радиоаппаратуре.

Описанный выше поглощающий фильтр нижних частот весьма нетребователен к разбросу номиналов используемых в нем деталей. Это было выявлено на практике, а также проверено теоретически при помощи программы RFSimm99. При использовании деталей с отклонением номиналов на 10% больше от теоретического значения, полоса среза ФНЧ уменьшалась до 37-МГц. При отклонении номиналов деталей на 10% меньше от теоретического значения полоса среза ФНЧ увеличивалась до 45-МГц. Аналогичные отклонения происходили и с частотой среза ФВЧ. Из этого можно сделать вывод, что этот поглощающий фильтр малочувствителен к разбросу используемых в нем деталей.

Мощность высокочастотных гармоник поглощаемых балластным резистором

Программа RFSimm99 позволила сделать расчет мощности высокочастотных гармоник, рассеиваемой в балластном резисторе поглощающего фильтра. **Рис. 25** показывает этот график. На частоте среза ФВЧ (для поглощающего фильтра, выполненного из деталей имеющих теоретически рассчитанный номинал, она составляет 46-МГц), через который энергия высокочастотных гармоник поступает в резистор нагрузки, половина мощности гармоник рассеивается на нагрузке фильтра. Однако, уже выше частоты 50-МГц, практически вся энергия гармоник передатчика полностью рассеиваются на балластном сопротивлении фильтра.

На основании этого выбирают мощность рассеяния балластного сопротивления

Десятичный логарифм отношения мощности, поступающей на фильтр, к мощ. рассеиваемой на балластном резисторе

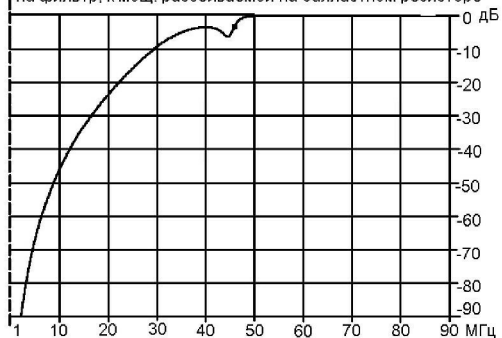


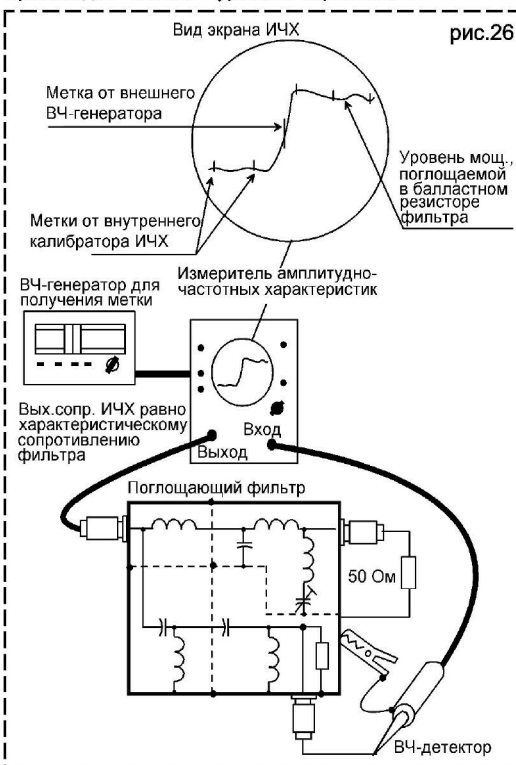
рис.25

фильтра. Как уже отмечалось выше, в Л.7 рекомендуется, чтобы мощность этого резистора составляла не менее 10% от мощности передатчика. Однако, если выходной каскад передатчика хорошо отлажен, и производит малый уровень гармоник, то

мощность этого резистора может быть ниже рекомендуемой. И наоборот, при плохо отлаженном выходном каскаде может быть придется увеличить мощность рассеяния балластного резистора. Можно пользоваться простым способом проверки достаточности мощности рассеивания для балластного резистора. Для этого включают передатчик в режим передачи, и примерно через пять минут его работы контролируют температуру балластного резистора. Если перегрев резистора отсутствует, значит, его мощность рассеивания для работы с конкретным передатчиком выбрана правильно.

Практическое определение мощности высокочастотных гармоник поглощаемых балластным резистором

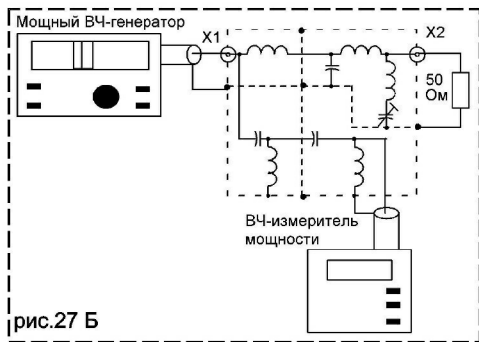
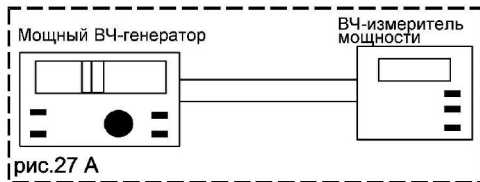
рис.26



Было проведено экспериментальное определение мощности высокочастотных гармоник рассеиваемых балластным резистором (рис. 26). Для этого вход ИЧХ был подключен к балластному резистору, в то время, как выход фильтра был нагружен на сопротивление 50-Ом.

Проверка поглощаемой мощности балластным резистором фильтра при помощи измерителя частотных характеристик очень проста и в тоже время наглядна. Однако, если в распоряжении радиолюбителя нет ИЧХ, то проконтролировать уровень поглощаемой мощности в балластном резисторе можно при помощи стандартного измерителя мощности и мощного высокочастотного генератора (рис.27). Рассмотрим ее более подробно.

Первоначально к мощному ВЧ-генератору, имеющему выход 50-Ом, был подключен измеритель мощности, как это показано на рис. 27а, и снят график выходной мощности этого генератора. Затем была собрана схема измерения, показанная на рис.27б. К выходу высокочастотного генератора был подключен поглощающий фильтр. Выход фильтра, предназначенный для подключения коротковолновой



рителя мощности, который имел входное сопротивление 50-Ом.

При испытаниях этого фильтра оказалось, что на частотах от 50 до 100 мегагерц на балластном резисторе рассеивается не менее 85% высокочастотной мощности поступающей на фильтр от высокочастотного генератора. На частотах выше 100-МГц на балластном резисторе рассеивается не менее 95% высокочастотной мощности поступающей на фильтр от высокочастотного генератора. Отличие теоретически рассчитанной поглощаемой мощности балластным резистором от практически измеренной поглощаемой мощности, можно списать за счет погрешностей, неизбежных в процессе измерений.

Григоров И.Н.

ОКОНЧАНИЕ В "РК-01-2005".

антенны, был нагружен на резистор сопротивлением 50-Ом, а вместо балластного резистора был использован вход изме-

Литература : 7. Бунин С.Г., Яйленко Л.П. Справочник радиолюбителя-коротковолновика. К.: Техніка, 1984.

ВЫХОДНЫЕ ФИЛЬТРЫ

(начало в "РК-07-08-09-10-11-12-2004")

Фильтр G8NDL

Схема очень интересного и легкого в повторении отражательного фильтра нижних частот конструкции английского радиолюбителя G8NDL была приведена в Л.8, а в этом параграфе показана на **рис. 28**. Этот фильтр предназначен для работы в фидере волновым сопротивлением 50-Ом. Его частота среза лежит около 110-МГц, частоту «бесконечного» подавления, фильтра можно выставить при помощи конденсаторов C1 и C4 в диапазоне 140 – 160-МГц, то есть, устранить помеху от любительского передатчика на этих частотах.

Фильтр предназначен для радиолюбителей, работающих в диапазоне 50-МГц, поскольку он пропускает сигналы диапазона 50-МГц, и в тоже время эффективно давит самую неприятную, третью гармонику передатчика, частота которой лежит в диапазоне 150-МГц. Эта гармоника создает помехи кабельному телевидению и служебным радиостанциям, работающих в диапазоне 148-МГц, достается также и любительским радиостанциям, работающим на диапазоне 145-МГц. Фильтр G8NDL можно включать не только на выходе передатчиков, но и на входе приемников. Что может быть необходимо, если требуется убрать помехи от мощных УКВ вещательных или ведомственных радиостанций.

Фильтр G8NDL был выполнен в коробке из фольгированного стеклотекстолита, его конструкция показана на **рис. 29**. Данные для изготовления катушек фильтра приведены на этом же рисунке. Было собрано и испытано несколько вариантов этого фильтра, имеющих небольшие конструктивные различия, обусловленные применением разных типов переменных конденсаторов и высокочастотных разъемов. Поэтому размеры корпусов фильтров тоже отличались друг от друга. Однако, при практических испытаниях разных конструкций фильтра, все они показали почти одинаковые параметры. Для контроля частотной характеристики фильтра был использован измеритель частотных характеристик. Параметры фильтра были проверены на стенде, собранном согласно **рис. 12**. На **рис. 30** показана экспериментально снятая частотная характеристика одной из конструкций фильтра G8NDL. Как видно из этой характеристики, вполне реально подавить частоты диапазона 150-МГц на 60 децибел по сравнению с исходным сигналом.

При помощи программы RFSimm99 были

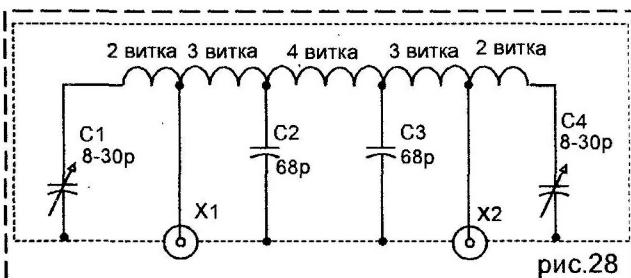


рис.28

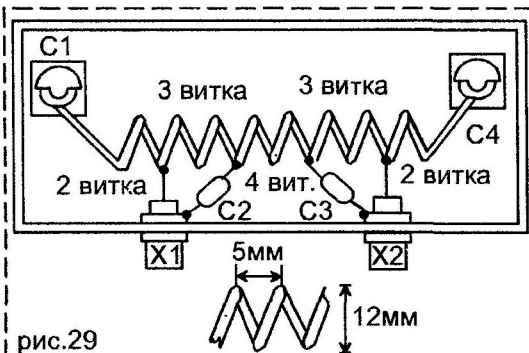


рис.29

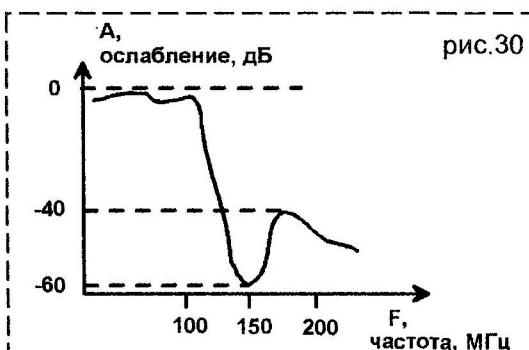


рис.30

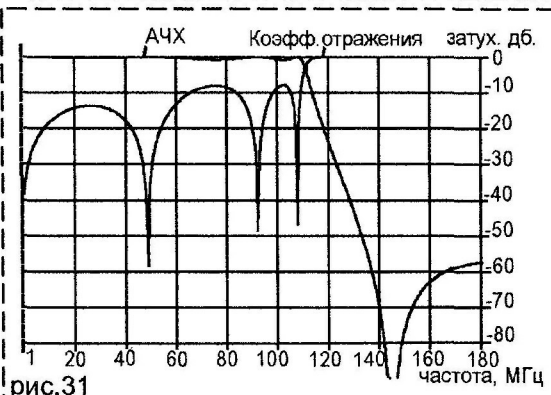


рис.31

проверены параметры этого фильтра. **Рис. 31** показывает АЧХ фильтра и его коэффициент отражения. Как видно из этого рисунка, теоретическая частота среза фильтра по уровню затухания сигнала минус 3-дБ равна 111-МГц, что почти соответствует полученной практически. Программа RFSimm99 показала, что

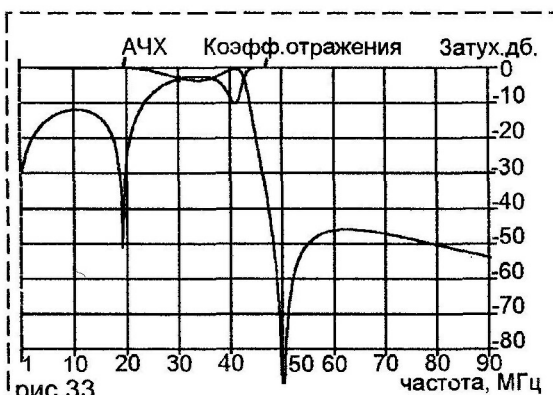
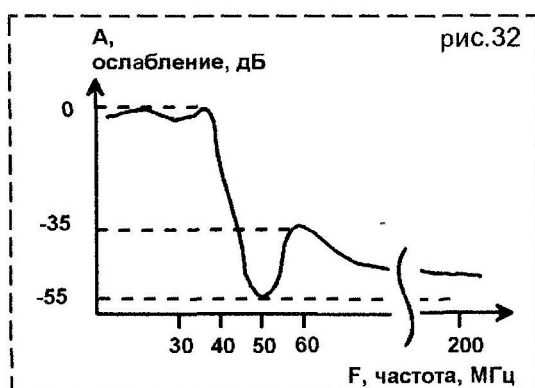
теоретическая частота «бесконечного» подавления фильтра при помощи конденсаторов С1 и С4 действительно может варьировать в диапазоне частот 140 – 160-МГц. То, что фильтр G8NDL является фильтром отражательного типа, тоже хорошо видно на **рис. 31**. На частотах, выше его частоты среза, практически вся мощность, идущая на вход фильтра, отражается им обратно. То есть, значение KCB на частотах, выше его частоты среза будет стремиться к бесконечности. Как было сказано выше, фильтр G8NDL предназначен для включения в линию передачи с волновым сопротивлением 50-Ом, однако, как показали эксперименты, он вполне удовлетворительно работает и в 75-омном тракте. Программа RFSimm99 также подтверждает это.

Фильтр G8NDL требует настройки, поэтому, если в распоряжении радиолюбителя нет ИЧХ, или других приборов для настройки необходимой АЧХ фильтра, то браться за его изготовление не стоит.

Фильтр G8NDL для работы на коротких волнах.

Были проведены эксперименты по перестройке частоты среза фильтра G8NDL с 110-МГц до 35-МГц. Это дало возможность использовать фильтр на коротковолновом диапазоне. В этом случае диаметр катушки фильтра был равен 22 миллиметра, расстояние между витками – 5 мм., в ее средней части было не 4, а 5 витков, крайние катушки содержали по 3 витка вместо двух. Емкость постоянных конденсаторов С2 и С3 была увеличена до 200-пФ. В качестве переменных конденсаторов С1 и С4 использовались воздушные конденсаторы типа КПВ с емкостью 8-100-пФ. В этом случае частота бесконечного подавления фильтра могла быть выставлена в диапазоне частот от 40 до 150-МГц. Однако, фильтр G8NDL, предназначенный для работы в диапазоне коротких волн, тоже требует тщательной настройки при помощи ИЧХ.

Настройка фильтра несложная, она заключается в сжатии растяжении витков катушек по достижению желаемого вида общей АЧХ, и в регулировке емкости переменных конденсаторов С1 и С4 по выставлению необходимой частоты «бесконечного» подавления. Если при помощи только изменения параметров катушки фильтра добиться необходимого вида АЧХ фильтра не удастся, то придется немного изменить емкости постоянных конденсаторов С2 и С3, изменение емкости которых производят симметрично у обоих конденсаторов. Практически снятая частотная характеристика одного из экземпляров фильтра G8NDL, с выставленной конденсаторами С1 и С4 частотой «бесконечного» подавления 50-МГц, показана на **рис. 32**.



При помощи программы RFSimm99 была рассчитана теоретическая АЧХ фильтра G8NDL для работы на коротких волнах и имеющего частоты «бесконечного» подавления 50 и 145-МГц. **Рис. 33** показывает АЧХ фильтра с частотой бесконечного подавления 50-МГц, **рис. 34** показывает АЧХ фильтра с частотой бесконечного подавления 145-МГц. Частота среза обоих этих фильтров по уровню минус 3-дБ лежит в диапазоне частот 30 – 31-МГц. При практической настройке фильтра его частота среза может быть смещена как вверх так и вниз по частоте.

Фильтр G8NDL диапазона коротких волн может работать в фидерном тракте с волновым сопротивлением как 50 так и 75-Ом. Программа RFSimm99 и практика работы с этим фильтром подтверждают это.

Фильтр G8NDL является очень простым в изготовлении и нетребовательным к разбросу применяемых в нем деталей фильтром. Единственный «недостаток», который ограничивает широкое использование этих фильтров в радиолюбительской практике, заключается в необходимости его настройки при помощи соответствующего оборудования.

Фильтр G8NDL не является обратимым фильтром в полном смысле этого слова. При настройке этого фильтра в реальном фидерном тракте и с реальной антенной, при его реверсировании, частота бесконечного подавления изменялась.

Результаты испытаний фильтров

Практическое сравнение работы вышеописанных фильтров показало, что фильтры, собранные по схемам, показанным на **рис. 4**, обеспечили наилучшее подавление гармоник передатчика. Однако, для того, что бы АЧХ этих фильтров имела вид близкий к ее теоретическому, необходимо для изготовления этих фильтров использовать конденсаторы, имеющие минимальное отклонение от теоретически рассчитанного номинала. Фильтр должен быть изготовлен в металлическом закрытом корпусе. Это самый сложный в изготовлении фильтр из описанных в этой статье. При аккуратном изготовлении эти фильтры можно использовать без настройки.

Открытый фильтр, схема которого приведена на **рис. 14**, показал себя достаточно эффективным в работе. К его достоинствам можно отнести то, что его легко можно выполнить для работы в фидерном тракте волновым сопротивлением 50 и 75-Ом, для его изготовления не нужны конденсаторы, нужен только стеклотекстолит и медный провод. Этот фильтр легко может быть выполнен даже начинающим радиолюбителем, однако, необходимо иметь измеритель емкости для того, чтобы проверить значение емкости печатных конденсаторов. Недостатком открытого фильтра является недостаточное подавление гармоник передатчика лежащих в диапазоне частот 30 – 40-МГц, но с этим во многих случаях можно примириться. Открытый фильтр может быть установлен во внутрь передатчика.

Поглощающий Фильтр, схема которого приведена на **рис. 23**, рекомендуется использовать тогда, когда при включении отражательных фильтров наблюдается возбуждение передатчика или нет ожидаемого подавления гармоник, то есть, гармоники, отраженные от входа

отражательного фильтра, излучаются через корпус передатчика или провода питания. Поглощающий фильтр эффективен в фидерном тракте, работающем с высоким значением КСВ. Если подавление гармоник передатчика поглощающим фильтром все же недостаточно, то вслед за ним можно включить любой другой фильтр отражательного типа, имеющий высокое значение затухания в его полосе задерживания. Для этой цели вполне подойдут фильтры, описанные в этой статье. К достоинствам этого фильтра можно отнести то, что в нем можно использовать конденсаторы стандартных номиналов, можно при помощи последовательного контура выставить частоту бесконечного подавления конкретной гармоники передатчика.

К достоинствам фильтра G8NDL можно отнести то, что он дает возможность в своей полосе задерживания глубоко подавить конкретную гармонику передатчика, для изготовления фильтра используются стандартные номиналы конденсаторов. Фильтр G8NDL может быть выполнен для работы как на коротких волнах, так и на УКВ. Это один из самых простых фильтров, описанных в этой статье. Однако, для его настройки необходимы специальные приборы, что накладывает некоторые ограничения на доступность его изготовления.

Конечно, нельзя рассчитывать на то, что с помощью фильтров удастся полностью избавиться от помехи телевизионной и радиоприемной аппаратуре. Но даже простой фильтр нижних частот установленный на выходе передатчика может существенно снизить уровень внеполосных излучений передатчика, тем самым разрешив проблему работы на любительской радиостанции в часы активного просмотра телевизионных программ.

Паразитные резонансы фильтров

При экспериментах с различными типами фильтров на реальной передающей аппаратуре обнаружилось, что с некоторыми их конструкциями на высокочастотных диапазонах 15, 12, 11 и 10 метров выходной каскад трансивера потреблял слишком большой ток, и защита отключала его. Это явление особенно часто наблюдалось при работе фильтра совместно с самодельными передатчиками, на выходе которых не использовались согласующие цепи, а стоял только один широкополосный трансформатор.

Детальное исследование при помощи осциллографа работы фильтра подключенного к трансиверу показало, что первая катушка фильтра совместно с выходными цепями трансивера образует последовательный контур, настроенный на частоту близкую к рабочей

частоте трансивера. Этот последовательный контур шунтирует выход трансивера, и выходной каскад работает в режиме короткого замыкания, который является наиболее опасным для транзисторных усилителей мощности.

Устранить паразитный резонанс фильтра можно изменением количества витков выходной обмотки широкополосного трансформатора выходного каскада. Обычно увеличение или уменьшение количества витков этой обмотки на 1-2 витка сдвигает совместный

резонанс обмотки трансформатора и фильтра в сторону от любительского диапазона.

Изменение индуктивности катушек выходного П – контура (если таковой используется) усилителя мощности тоже может устранить паразитный резонанс фильтра.

Григорьев И.Н.

Литература : 8. Ginn G8NDL K. E. A Four and Six Filter. Practical Wireless, June, 1995.

.....