

Виктор Беседин (UA9LAQ)

г. Тюмень

E-mail: ua9laq@mail.ru

Полосовой фильтр РЧ

Часто возникает необходимость применения узкополосных LC-фильтров, например, на входе радиоприёмных устройств. Основная трудность, при этом, состоит в обеспечении минимального затухания в полосе пропускания фильтра и максимального – за её границами. В предлагаемом фильтре используется принцип сложения напряжений возбуждённых контуров, катушки которых расположены на одном сердечнике, – ферритовом, имеющем два отверстия (на таких сердечниках намотаны симметрирующие трансформаторы комнатных телевизионных антенн, например, типа “усь”, имеются такие сердечники и на платах в некоторых типах усилителей активных ТВ антенн). Автором испытан фильтр, имеющий катушку связи с антенной и четыре контурных (рис. 1).

Причём, катушка связи намотана в одном отверстии, на внешней стороне сердечника, а контурные катушки, также на внешней стороне, – в другом. Фильтр применялся на входе приёмника для связи через искусственные спутники Земли и имел среднюю частоту 29,450 МГц, полосу пропускания по уровню 0,7 – 550 кГц. На рис. 1 показан вариант фильтра с нагрузкой полевым транзистором, к точкам А, В, С могут быть подключены дополнительные высокоомные нагрузки.

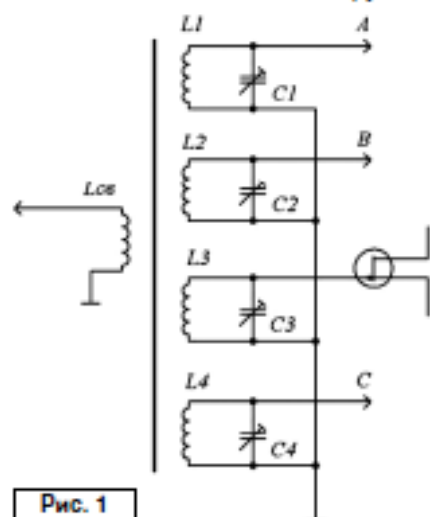


Рис. 1

Катушка связи имеет 2,5 витка (два раза пропустить в отверстие кольца) монтажного провода МГШВ (диаметр внутренней жилы 0,6 мм), контурные катушки наматываются сложением вчетверо и слегка скрученным проводом ПЭЛШО - 0,18 – 3,5 витка (три раза продёргнуть сквозь кольцо). После намотки любой конец катушки связи и одноимённые концы контурных катушек зачищаются от изоляции, скручиваются и припаиваются на корпус, согласно рис. 1. К катушке связи подключается антенна, к контурным – конденсаторы, в данном случае КПК-МП 5...20 пФ, роторы которых соединяются с корпусом пайкой. Один из контуров (любой) включается в цепь затвора полевого транзистора полностью, через разделительный конденсатор, если каскад охвачен АРУ, или непосредственно, если АРУ нет. Следует отметить, что нагрузка фильтра, в данном случае, должна быть высокоомной.

При необходимости подключить фильтр к низкоомной нагрузке (рис. 2), нужно взять два идентичных сердечника и намотать контурные катушки в двух смежных отверстиях, – взаимное положение

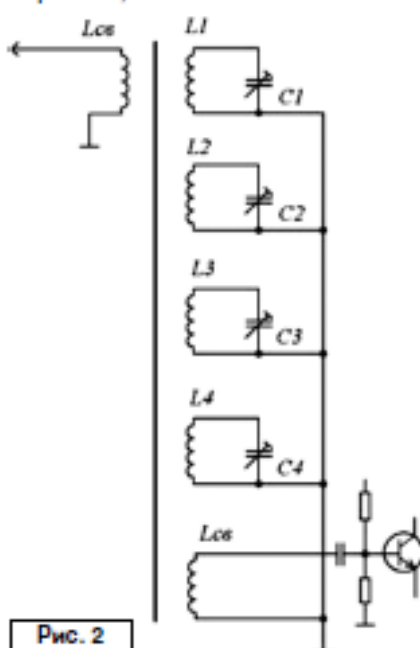


Рис. 2

сердечников может быть любым, а в крайних отверстиях – катушки связи с антенной и входом каскада на биполярном транзисторе. Если между сердечниками оставить фиксированный зазор, то, вводя в него ферритовый сердечник, можно регулировать индуктивность контурных катушек (всех сразу), что позволит, вместо громоздких подстроечных конденсаторов, применить компактные конденсаторы постоянной ёмкости.

Для намотки контурных катушек может быть использован литцендрат, каждую жилку которого, с концов, необходимо облудить, с одной стороны все жилки припаиваются на корпус, с другой – каждая к своему контурному конденсатору, сколько жилок – столько конденсаторов, лишние жилки будут давать паразитные резонансы на частотах много выше рабочей. Конечно же, на частоте в 29 МГц лучше применять более толстый провод, можно использовать и монтажный, например, МГТФ. Следует отметить, что контур, катушка которого намотана в одном отверстии с катушкой связи, очень сильно нагружается входной (выходной) цепью (сильная связь), поэтому применять кольцевые сердечники (с одним отверстием) здесь нецелесообразно, хотя принцип использовать можно. По той же причине, намотка катушек на мостике между отверстиями сердечника (“бинокля”) ухудшает частотную характеристику фильтра.

Селекция сигналов является одной из важнейших задач радиоэлектроники. Для её осуществления применяют различные способы, используют различные устройства: активные и пассивные. Сегодня речь пойдёт о пассивном устройстве выделения полезных сигналов в определённой полосе частот и подавления сигналов за её пределами – полосовом фильтре

(ПФ). Простейшим ПФ является колебательный контур (КК), параллельный КК имеет на частоте резонанса наибольшее характеристическое сопротивление и, благодаря этому, избирательно реагирует на подводимые к нему сигналы, выделяя те, частота которых равна или близка к резонансной частоте контура. Степень выделения последних зависит от ширины полосы пропускания контура, которая определяется добротностью контура, а та, в свою очередь, зависит от многих электрических и конструктивных параметров как катушки, так и конденсатора, входящих в контур, в упрощённом виде: от соотношения индуктивности катушки и ёмкости конденсатора. Уменьшая ёмкость и увеличивая индуктивность в контуре, при условии сохранения неизменной частоты его резонанса, мы сужаем полосу пропускания контура, при этом, в конечном итоге, мы будем вынуждены исключить контурный конденсатор, уменьшая межвитковую ёмкость, вытянем катушку «в струну», такая индуктивность будет иметь очень большую добротность и уже могла бы быть неплохим ПФ, но с таким ПФ очень неудобно работать. Во-первых, в диапазоне КВ катушка такого ПФ будет иметь длину от нескольких до десятков метров, что конструктивно неудобно, во-вторых, такой ПФ потребует тщательной экранировки, так как уже сам будет служить антенной, но, самое главное, – к такому ПФ будет трудно подступиться. Его расстройка относительно резонансной частоты будет ощущаться уже при подходе к ПФ на расстояние порядка десяти метров и более, кроме того, ПФ должен работать в системе, например, в радиоприёмнике, значит, должен иметь цепи

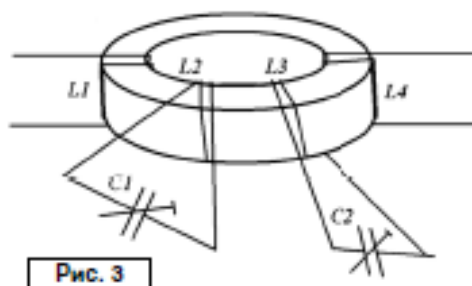


Рис. 3

связи с ним, эти цепи будут вносить затухание в ПФ, уменьшая достоинства одноконтурного фильтра. Чтобы увеличить «нагрузочную способность» ПФ, применяют включение по определённым схемам дополнительных контуров, согласуя их между собой, формируя общую частотную характеристику для группы. Обеспечивая слабую связь в ПФ между контурами, обеспечивают компромиссные условия между получением необходимой полосы пропускания и допустимым затуханием в ПФ полезного сигнала, неравномерность передачи энергии в полосе пропускания ПФ уменьшают увеличением количества контуров в нём, равномерным распределением их настройки в пределах полосы прозрачности ПФ. Уменьшить затухание сигнала в ПФ можно, увеличивая добротность входящих в него элементов, в первую очередь, – катушек, однако, это повлечёт за собой, в зависимости от настройки ПФ, либо сужение полосы его пропускания против нормы, или увеличение неравномерности пропускания частот в полосе его прозрачности. Последнее «лечится» снова увеличением количества контуров в ПФ, что ведёт к проблемам их взаимного согласования, увеличению размеров фильтра, его стоимости...

Среди известных схем встречаются ПФ с ёмкостной и индуктивной связью между их компонентами, хотя есть и комбинированные... Но почему-то всегда применяется последовательная схема, когда звенья ПФ включены друг за другом, сигнал обрабатывается, проходя по ним, последовательно... Почему не использовать параллельную схему, когда контура включаются параллельно?! Ведь такая схема обеспечит существенно меньшее затухание в полосе прозрачности ПФ. Возьмём ферритовое кольцо с проницаемостью,

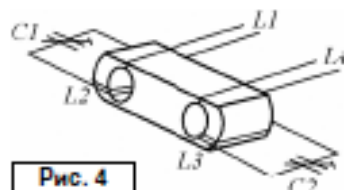


Рис. 4

достаточной для осуществления на нём резонансных систем в требуемой полосе частот, намотаем на нём несколько одинаковых катушек, можно сложенными вместе проводами или литцендратом (рис. 3). Параллельно каждой катушке включаем подстроечный конденсатор, катушки связи, по 1...3 витка, в зависимости от диапазона частот, также наматываем на этом кольце и, нагрузив, подключаем к ИЧХ, вращая роторы подстроечных конденсаторов, последовательно, формируем общую АЧХ ПФ. Без приборов, подключают к катушке связи L1 антенну, а к другой катушке связи L4 – вход приёмника, последовательно, вращая роторы подстроечных конденсаторов, настраиваем ПФ на максимум принимаемого сигнала с эфира или от вспомогательного генератора по S-метру, или, нейтрализовав действие АРУ (отключив её, или обеспечив приём слабых сигналов) – на слух.

При выполнении ПФ на кольце может оказаться, что из-за сильной связи КК между собой получить приемлемую АЧХ не удастся («горбы» АЧХ не сводятся в один), – такая конструкция ПФ пригодна лишь для достаточно широкополосных фильтров. Заменяем сердечник в ПФ на «бинокль» (трансфлюктор) (рис. 4), в каждом отверстии которого разместим по контурной катушке и катушке связи, проверим АЧХ ПФ, оказывается, теперь фильтр может быть более узкополосным.

Видоизменим конструкцию ПФ: перенесём катушку связи L4 в отверстие с L1 и L2, а в отверстие с L3 намотаем ещё ряд катушек, для простоты намотки и идентичности катушек можно для этой цели применить литцендрат. Параллельно каждой из катушек подключим подстроечный конденсатор (рис. 5). Теперь, подстраивая КК, можно

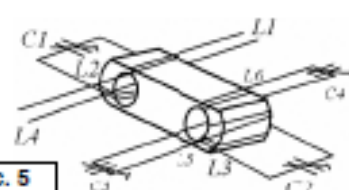


Рис. 5

получить совсем неплохую узкополосную АЧХ ПФ, причём, с гораздо меньшим затуханием, по сравнению с аналогичным по количеству контуров традиционным "последовательным" ПФ.

Автор применял подобный ПФ на входе приёмника для связи через космические ретрансляторы.

Следует отметить, что намотка катушек КК на среднем "крене" сердечника приводит к чрезмерной связи в фильтре и полностью "портит" АЧХ ПФ. Однако, "наверлив" в сердечнике отверстий (ещё лучше, если у каждой катушки КК будет своё отверстие), можно получить после настройки просто прекрасный узкополосный ПФ с малым затуханием в нём. Несмотря на замкнутый сердечник, экранировка ПФ, всё же, желательна, из-за "выступающих" из сердечника частей КК: выводов катушек и конденсаторов. Монтаж ПФ следует выполнять компактно, помня о паразитных емкостях, которые могут создать альтернативные пути прохождения сигнала, минуя ПФ. Для ослабления этого эффекта связь с ПФ выбрана низкоомной индуктивной, однако, КК ПФ имеют высокую добротность и могут служить дополнительными "антеннами", при длинных выводах катушек ПФ. Эффект можно использовать для создания сумматора сигналов нескольких антенн на ферритовом сердечнике.

На рис. 6 и рис. 7 показаны ещё два варианта включения контуров в ПФ. При стыковке сердечников (рис. 6) желательна пришлифовать их друг к другу, материал сердечников при обработке не выбрасывается, а используется в качестве наполнителя в клее, которым скрепляются сердечники между собой. Недостаток, присущий всем катушкам на ферритовых сердечниках, — отсутствие плавной регулировки

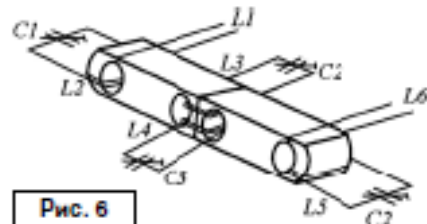


Рис. 6

величины индуктивности, каждый решает по-своему. Я применил подстроечные конденсаторы, можно часть катушки выполнить вне сердечника, подстраивать эту часть с помощью ферритового сердечника, растягивая-сжимая витки или, последовательно подгоняя индуктивность, удалять витки при постоянных конденсаторах в КК ПФ. Можно осуществить снятие фасок в материале сердечника вблизи соответствующих катушек и подстраивать их, приближая и удаляя от фасок ферритовые сердечники. Возможен вариант регулировки индуктивности подмагничиванием постоянным током, для чего придётся намотать отдельную катушку (лучше в своём отверстии в сердечнике и перестраивать АЧХ ПФ полностью). Подавая переменное напряжение звуковой частоты на такую катушку, можно осуществить модуляцию РЧ колебаний, проходящих через ПФ. Импульсное напряжение в такой катушке сможет адаптивно переключать АЧХ ПФ.

Как же работают описываемые ПФ? Возьмём, например, ПФ на рис. 7, где условно в КК показаны конденсаторы постоянной ёмкости. Катушка L1 соединяется с генератором РЧ колебаний, например, с антенной, ГСС. Проходящий по ней переменный ток вызывает в сердечнике соответствующий магнитный поток, причём, как местный, циркулирующий вокруг "своего" отверстия в сердечнике, так и общий, — для всего сердечника в целом. Находящиеся на пути этого потока КК, связанные с ним посредством катушек, будучи настроенными на частоту возбуждения, благодаря резонансным свойствам, возбуждаются и вносят свой вклад в общий магнитный поток

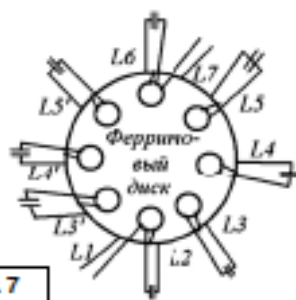


Рис. 7

сердечника, модифицируя его. Скорректированная общая АЧХ ПФ, "подкачанная" резонансными КК, "снимается" через катушку связи L7. Размещая в отверстиях ферритового сердечника катушки последовательных контуров, настроенных на нежелательные частоты, можно ослаблять их действие в полосе прозрачности ПФ или формировать более прямоугольные АЧХ ПФ, настраивая эти контура рядом с полосами пропускания ПФ. Возможен вариант диплексера.

Если в ПФ обеспечить связь только чисто через магнитный поток, устранив паразитные конструктивные ёмкостные связи, то можно, при соответствующем искусственном старении феррита, получать фильтры со стабильными АЧХ, близкими к ЭМФ, причём, в отличие от последних, на более высокие частоты, на которых способны резонансно работать ферриты.

Самостоятельно изготовить трансфлюкторы с приемлемым для радиолюбительской практики качеством можно, притерев друг к другу два одинаковых, расположенных рядом, ферритовых кольца. Средняя (общая) перегородка должна иметь ширину как у одного, отдельно взятого кольца. Опилки феррита, отделённые от абразива магнитом, после обработки колец, используются в качестве наполнителя для клея с целью сохранения однородности материала получившегося трансфлюктора. Отмечу, что наиболее удачные трансфлюкторы получаются из колец с малыми отверстиями (с большой шириной). Другим способом получения трансфлюкторов может быть истирание в порошок ферритовых колец, горшкообразных или стержневых сердечников с необходимой проницаемостью с помощью алмазных абразивных кругов. После истирания отделяют порошок от абразива, как отмечено выше, готовят эпоксидный клей (смешивают смолу с небольшим количеством отвердителя), высыпав ферритовый порошок в клей, тщательно всё перемешивают и выкладывают

в приготовленную форму. Таким способом можно изготавливать детали любой конфигурации. Можно выпилить трансфлюктор из ферритовых сердечников, например, МР-3 (сердечник из карбонильного железа с резьбой для подстройки индуктивности катушек контуров). Материал сердечника – мягкий, легко сверлится вдоль и поперёк, и работает практически во всём диапазоне КВ. Малые трансфлюкторы выпиливают из одного сердечника, большие – притирают два (или более) сердечника друг к другу, располагая их рядом и сверля оба по осевой линии.

Многодырочный трансфлюктор может быть изготовлен из одной чашки от горшкообразного сердечника СБ-1а (СБ-12а), путём сверления ряда отверстий по кругу между внутренним и внешним бортиками. Сверление следует производить с минимальным нажимом на сверло. Очень интересной, в этом случае, будет конфигурация ПФ, когда обе катушки связи продёрнуты в среднее отверстие

чашки, как в кольцо, а остальные (катушки резонансных контуров) намотаны каждая в своём отверстии по периметру чашки. При этом, в одном отверстии с катушками связи можно разместить и по одной резонансной катушке, которые также будут влиять на общую АЧХ. Изготовление многодырочных трансфлюкторов из плоских ферритовых стержней потребует уже сверления их алмазными свёрлами. Характеристику вышеупомянутого фильтра для работы через ИСЗ мне посчастливилось наблюдать, в своё время, на экране измерителя АЧХ Х1-48. Был впечатлён... ПФ удобно использовать при условии, что при этом он подключен к базе (затвору) в союзе, например, с транзисторами, подключая катушки обратной связи, включенные в цепи эмиттеров (источков) или коллекторов (стоков) этих транзисторов, продёргивая провода катушек в отверстия трансфлюкторов и подключая в фазе для осуществления положительной обратной связи для увеличения добротности

ПФ и получения ещё более узких полос пропускания ПФ с малым затуханием сигнала в нём (режим множителя добротности) или осуществления генератора со съёмом генерируемого напряжения через тот же ПФ для фильтрации получаемого напряжения; осуществление отрицательной обратной связи (при смене концов подключаемых катушек связи, продёрнутых в отверстия трансфлюкторов (это может быть всего один виток – в противофазе), стоящих в вышеуказанных цепях транзисторов) может помочь в деле увеличения динамического диапазона УРЧ (ООС).

Надеюсь, что статья позволит конструкторам творчески подойти к проблеме создания полосовых фильтров с малым затуханием, что, в свою очередь, позволит конструировать, например, приёмную аппаратуру с большим соотношением сигнал/шум, а, значит, имеющую большую реальную чувствительность.

Возвращаясь к напечатанному.... Полосовой фильтр

В статьях [1], [2] и [3] шла речь о применении полосового фильтра параллельной конфигурации. Развивая идею, можно применить комбинированную последовательно-параллельную схему ПФ, которая при относительной простоте реализации (фактически, это – аналог двухконтурного ПФ, только каждый контур будет размножен) будет иметь улучшенные параметры. Обратимся к рис. 8.

В ПФ применены два трансфлюктора, в одном отверстии одного из них (предположим, что этот фильтр включен на входе приёмника) размещена катушка связи (слева на рис. 8), в другом – некоторое количество одинаковых катушек резонансных контуров, образованных в союзе с конденсаторами. Один из этих контуров связан с одним из аналогичных резонансных контуров через конденса-

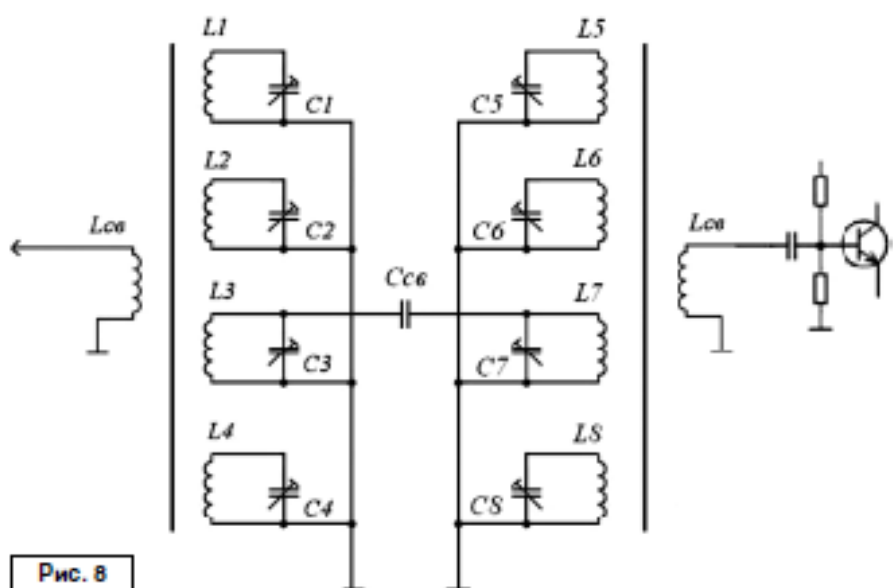
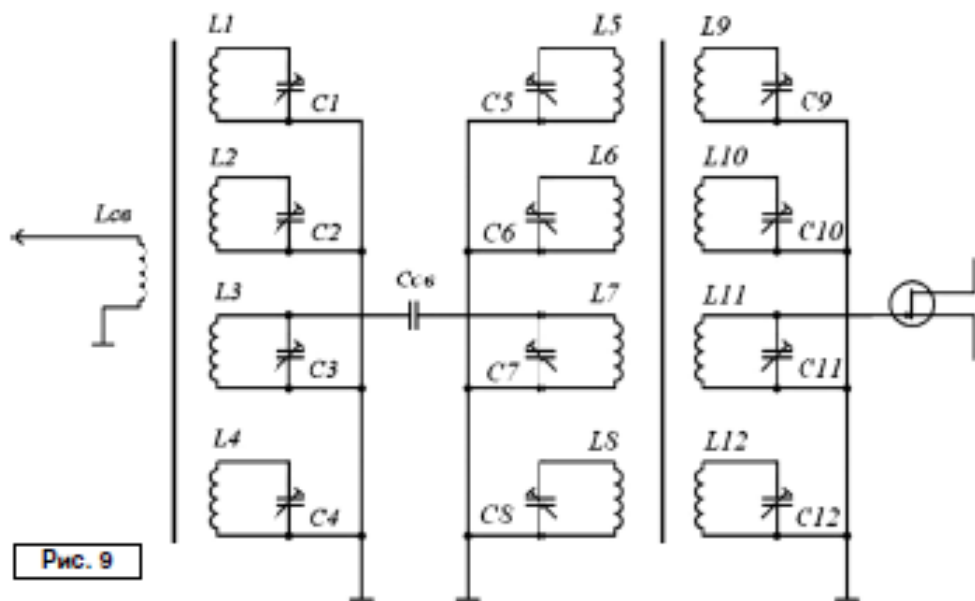


Рис. 8

тор небольшой ёмкости (подбирается как в обычном ПФ), катушки которого размещены в отверстиях на другом трансфлюкторе, а затвор полевого транзистора УРЧ подключен к этому же или другому контуру, в случае применения биполярного транзистора в УРЧ цепь его базы подключается к комбинированному фильтру через катушку связи, размещённую в оставшемся свободном отверстии второго трансфлюктора.

Затухание полезного сигнала в таком комбинированном фильтре будет не выше, чем в последовательном двухконтурном, теоретически – даже меньше. Затухание внеполосных сигналов будет зависеть от количества параллельных контуров, включенных по обе стороны фильтра. Поскольку количество резонансных контуров в фильтре весьма большое, появляется возможность распределения их настроек в рабочем диапазоне, с целью уменьшения неравномерности передачи, а запас по затуханию полезного сигнала может быть использован для расширения полосы пропускания ПФ, если это потребуется.

Рис. 9



При использовании полевых транзисторов в УРЧ, свободное отверстие второго трансфлюкатора также может быть заполнено катушками резонансных контуров, что ещё больше повысит селективность ПФ (рис. 9).

Конфигураций применения предложенного метода включения контуров может быть достаточное множество. Здесь дело за конструктором.

73!

Литература

1. В. Беседин. Узкополосный LC-фильтр. - Радиолюбитель, 1997, №1, стр. 37.
2. В. Беседин. Полосовой фильтр для РЧ. - Радиомир, 2007, №7, стр. 24...25.
3. В. Беседин. Полосовой фильтр. - http://www.cqham.ru/trx85_81.htm
4. А. Никонов. Диапазонные полосовые фильтры. - Радиомир. КВ и УКВ, 2010, №5, стр. 24...26.