

Фильтры для "магического"...

Виктор Беседин (UA9LAQ)

г. Тюмень

E-mail: ua9laq@mail.ru

Диапазон 50 МГц (6 м) недаром называют "магическим": ему присущи признаки как коротковолнового, так и ультракоротковолнового распространения радиоволн, причём, смена условий прохождения радиоволн происходит спорадически – непредсказуемо. Пожалуй, другого такого диапазона, к которому у радиолюбителей повышен интерес, не найти. Этот же диапазон самым "магическим" способом ускользает от радиолюбителей России, ситуация с выделением этого участка электромагнитного спектра до сих пор не выяснена окончательно, в это же время зарубежные (включая бывшие союзные республики СССР) радиолюбители давно и успешно там работают, подсмеиваясь над нами ...

Ситуация, наконец, должна проясниться, и возникнет вопрос: на чём работать на "магическом". Как на чём? - спросите Вы, - на трансивере, который был приобретён заранее, или изготовлен собственными руками, хотя, в это самое наше время, охоту к конструированию сильно отбили как отсутствием в свободном доступе необходимых специальных компонентов приёмопередающей аппаратуры, их дороговизной и резким уменьшением свободного времени (досуга), которое практически полностью уходит на добывание средств к существованию... Сильно подкосили радиолюбительское движение и такие средства связи как сотовый телефон и Интернет, лишив "прилива молодой горячей крови", и, порой удивляешься, когда ученик выпускного класса школы, узнав, что в основе сотовой телефонии лежит радиосвязь, долго не может закрыть рот и расширенные от удивления глаза – он думал, что телефон это что-то отдельное... Зачем ему радио...

Итак, получив разрешение на работу в "магическом", включаем передатчик и даём общий вызов, что же на этот вызов первыми откликаются не радиолюбители, а соседи – ситуация – старая, когда-то также они реагировали на помехи приёму аналогового телевидения, которое недавно исчезло с федеральной территории России. В чём же дело? А дело в том, что вторая гармоника сигналов с "магического", "аккурат" приходится на радиовещательный УКВ FM диапазон (участок выше 100 МГц). Требования к радиолюбительской аппаратуре шестиметрового диапазона предъявляются весьма жёсткие: подавление второй гармоники должно быть очень высоким (практически до нуля). Чтобы исключить нежелательные излучения, передатчик не только должен быть в корпусе-экране, заземлённом отдельным качественным заземлением (кратчайшим путём, с использованием проводов с низким удельным сопротивлением), развязанным с питающей сетью сетевыми фильтрами, излучать сигнал через

согласованную резонансную антенну с экранированным (кабельным) фидером, но обязательно иметь в цепи передачи сигнала в эфир фильтры, обеспечивающие подавление гармоник, в частности, – второй. Фильтры бывают разные, каждый из них обладает определёнными характеристиками, имеет свой уровень сложности по исполнению. Схема достаточно простого и эффективного фильтра приведена на рис. 1. РЧ мощность проходит от розетки соединителя XW1 в сторону розетки XW2 (от выхода передатчика трансивера, через фильтр, ко входу усилителя мощности или в антенну). Поскольку фильтр симметричен, возможно и подключение в противоположном направлении, что нужно учесть при настройке фильтра. На пути прохождения РЧ токов установлены последовательно две одинаковые катушки (L1 и L2), которые должны пропускать РЧ мощность рабочих частот с минимальным ослаблением, но максимально задерживать составляющие гармоник, в частности, – второй. На входе, выходе фильтра и между катушками установлены последовательные контуры L3C1, L5C3 и L4C2, соответственно, которые с помощью подстроечных конденсаторов C1...C3 настраиваются на частоту второй гармоники сигнала шестиметрового диапазона (чуть выше 100 МГц), замыкая РЧ токи с частотой гармоники на общий провод. Итак, катушки L1, L2 выделяют (высокое сопротивление), последовательные контуры L3C1, L4C2, L5C3 замыкают РЧ токи гармоник накоротко (низкое сопротивление). На токи рабочих частот, при правильно настроенном фильтре, влияние оказывается минимальное. Для приёмных трактов и QRP-передатчиков допустимо в качестве C1...C3 в фильтре использовать керамические подстроечные конденсаторы, в остальных случаях – конденсаторы с воздушным диэлектриком с максимальной ёмкостью 30...40 пФ. Фильтр помещается в глухую коробку из меди, латуни или фольгированного стеклотекстолита с одним или двумя экранами. Все катушки внутри каждого отсека нужно расположить осями взаимно перпендикулярно. Настройку фильтра лучше всего вести по ИЧХ, например, X1-48, визуальную наблюдая реакцию на изменение параметров каждого компонента фильтра и приближаясь к идеальной его АЧХ

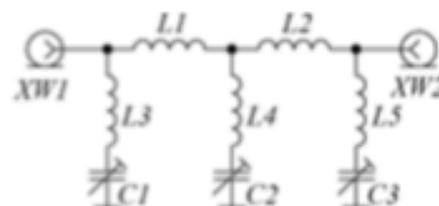


Рис. 1. Фильтр гармоник диапазона 50 МГц.
Схема принципиальная электрическая

(минимальное затухание на рабочих частотах 50,080...50,350 МГц или шире, если предполагается универсальное применение фильтра на приём и передачу – 50,0...50,500 МГц и максимальное подавление второй гармоники). Любительский диапазон в разных странах имеет разную ширину, в пределе: 50,0...54,0 МГц, но большинство стран довольствуются участками: 50,0...52,0; 50,0...51,0 или ещё уже... Естественно, что любой фильтр имеет какую-то свою полосу пропускания (не одна частота), где фильтр определяет свою функцию (в некотором диапазоне частот пропускание или задерживание колебаний сохраняется на регламентируемом уровне (например, ± 3 дБ)), поэтому настройку фильтра нужно проводить на средней частоте диапазона или поддиапазона (например, по виду излучения CW, SSB или ЧМ, PSK-31, FT8 – "цифра"). Катушки L1 и L2 вместе с междувитковыми емкостями представляют собой высокодобротные параллельные контуры и настраиваются на максимальное выделение (задерживание) второй гармоники сигнала 6-метрового диапазона, в совокупности представляют собой своего рода двухзвенный П-контур, вместе с конденсаторами, однако, для эффективности фильтрации, с конденсаторами последовательно включены катушки, образованные последовательные контуры настраиваются (здесь) на вторую гармонику 6-ти метрового диапазона и приводят мощность этих составляющих, действуя тройцей, практически к нулю.

Похожие фильтры можно изготовить и с использованием отрезков кабелей. Обратимся к рис. 2. Здесь также катушки L1 и L2, в качестве высокодобротных контуров с включенными параллельно междувитковыми емкостями, выделяют колебания второй гармоники, минимально ослабляя первую. Вместо последовательных контуров с рис. 1 включены четвертьволновые отрезки коаксиального кабеля, разомкнутые на конце. Такие отрезки на резонансной частоте представляют собой очень малое сопротивление, происходит режекция (удаление из спектра) составляющих, здесь – второй гармоники, на которую их просто нужно правильно рассчитать и настроить. При расчёте, сначала находят электрическую длину четвертьволнового отрезка, например, для частоты 50,1 МГц (в CW-участке) по второй гармонике: $L = 300 / 100,2 = 2,994$ м, четвертьволновой отрезок будет в 4 раза короче $L_{\text{физ}} = 2,994 / 4 = 0,7485$ м. Физическую длину $\lambda/4$ отрезка кабеля нужно найти, умножив электрическую длину на коэффициент укорочения кабеля – K. Для кабелей с

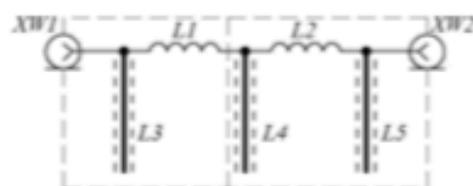


Рис. 2. Фильтр четных гармоник на основе четвертьволновых отрезков коаксиальных линий. Схема принципиальная электрическая

полиэтиленовой изоляцией $K = 0,66$. $L_{\text{ф}} = K \cdot L_{\text{эл}} = 0,494$ м, – такие отрезки кабеля будут надёжно защищать выход Вашего передатчика от выдачи в эфир гармонических составляющих. Следует отметить, что даже одинаковый кабель, но из разных партий, отличается коэффициентом укорочения, так что нужен при настройке обязательный инструментальный (ИЧХ) контроль.

Отрезки кабелей, будучи настроенными на подавление второй гармоники полезного сигнала, "дают" и составляющие всех четных гармоник: 2, 4, 6, 8 и т.д. Отрезки кабелей часто выводят наружу из корпусов фильтров и подключают их с помощью стандартных соединителей, но лучше встроить их (отрезки кабелей) в фильтр, припаяв непосредственно в нужные точки, свернув отрезок в бухточку и расположив на удалении от других частей (катушек и других отрезков, в своих отсеках корпуса фильтра, внешний торец отрезка кабеля не должен соединяться с общим проводом аппаратуры и находиться на некотором расстоянии от общего провода). Центральная жила кабеля должна быть изолирована от оплётки, конструкция кабеля не должна быть повреждённой (кабель не смят, оплётка плотно облегает полиэтиленовый изолятор, не сдвинута с завода).

На рис. 3 приведена ещё одна модификация фильтра с использованием отрезков линий, в данном случае – полуволновых. Какой фильтр лучше, выбирать Вам, линии у этого фильтра в два раза длиннее, но, зато, центральная жила коаксиального кабеля фидера оказывается "усаженной" гальванически на (заземлённый) корпус радиостанции, что во многих случаях оказывается предпочтительным. Естественно, считать длины отрезков кабелей (здесь: уже полуволновых!) нужно относительно частоты второй гармоники основного сигнала (100,2 МГц). Дальние от фидера концы полуволновых линий (центральный проводник и оплётка) спаиваются вместе, лучше впаиванием медной шайбы между ними, не нарушая структуру кабеля, изолируются от общего провода системы. Отрезки кабелей крепятся в отсеках корпуса фильтра способом, исключающим их перемещение. Если внутри отсека корпуса фильтра несколько линий, то их разносят на максимально возможное расстояние, бухточки

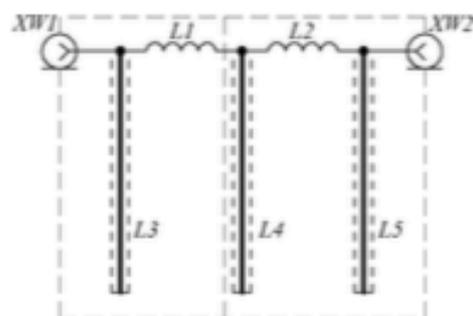


Рис. 3. Фильтр четных гармоник на основе полуволновых отрезков коаксиальных линий. Схема принципиальная электрическая

стараятся не располагать параллельно друг другу и удаляют от катушек, насколько позволяет конструкция корпуса (отсека) фильтра. Этот фильтр, также как и фильтр с рис. 2, подавляет колебания всех чётных гармоник основного сигнала, будучи настроенным на вторую гармонику.

Подключение правильно нарезанных по длине под гармоники линий к фидеру не должно сказываться ни на приём, ни на передачу на рабочей частоте. Линии могут быть нарезаны под подавление не только одной, но и других гармоник и нежелательных частот, причём линии для подавления колебаний разных частот можно подключать параллельно – последнее относится к четвертьволновым отрезкам линий (не замкнутым по постоянному току). Настраивать подавление второй гармоники можно непосредственно принимая сигнал этой второй гармоники на приёмнике УКВ FM диапазона: взяв длину линии с избытком по расчёту, постепенно уменьшаем его длину, откусывая кабель, сначала сигнал будет заметно давить шум, затем, по мере настройки, уровень шума должен возрасти, и, при полном подавлении гармоники, сигнал

станет невозможно обнаружить. Конечно, это – в идеале, при соблюдении всех мер по электронной совместимости, реально нужно так настроить отрезки кабеля, чтобы уровень подавления шума сигналом второй гармоники диапазона 6 метров был минимальным. Настройка с использованием ИЧХ, конечно же, более точна и наглядна, поэтому нужно применять инструментальный при работе с фильтрами, которые любят точность.

Эффективность действия фильтров можно ещё повысить, применив разумное их каскадирование, например, через кабельные вставки длиной в половину длины волны с учётом коэффициента укорочения. Эффективно применение этих фильтров и между выходом передатчика и входом усилителя мощности (УМ), такой же фильтр (но рассчитанный на пропускание большей мощности) включается между выходом УМ и антенным фидером, он уничтожает результат не подавленного усиленного УМ остатка колебаний второй гармоники передатчика и генерацию второй гармоники из-за недостаточной линейности УМ. Вариант включения фильтра между фидером и антенной возможен, но неудобен.

