

## Полуволновый резонатор

Работая в современной эфире, осознаёшь необходимость защиты аппаратуры от различного рода помех: локальных широкополосных, внеполосных, создающих интермодуляционные (комбинационные) нежелательные сигналы, помех, проникающих через питающую сеть и т.д. Методы борьбы с различными видами помех – различные (есть и универсальные, например, выключение приёмника (Hi!), но не об этом речь). Локальные широкополосные помехи устраняются фазокомпенсационными методами, помехи, приходящие через питающую сеть, подавляются сетевыми фильтрами, интермодуляционные – уменьшаются устранением нелинейности приёмных устройств, переходом на цифровые смесители и применением узкополосных фильтров на входе РПУ (радиоприёмных устройств). Конечно, многих внеполосных (по отношению к полосе пропускания фильтра основной селекции (ФОС)) помех удалось бы избежать, если бы по входу РПУ применялись устройства, позволяющие полностью подавлять сигналы с частотами, находящимися за пределами полосы пропускания ФОС, – это означало бы, что ФОС установлен на входе РПУ, но здесь имеются определённые технические трудности: во-первых, необходима перестройка по диапазону (диапазонам) этого входного ФОС, во-вторых, необходимо обеспечить стабильность АЧХ этого ФОС на всех рабочих частотах РПУ, такие задачи частично выполняются системами цифровой обработки сигналов (DSP), но, к сожалению, только частично и только на относительно низких рабочих частотах: ЗЧ и ПЧ, из-за ограниченного (пока) быстродействия цифровых микросхем. DSP по входу КВ приёмника (а, тем более, – УКВ) остаётся пока мечтой. Но, например, в ДВ диапазоне (137 кГц) и, при таком узком участке отведённых для любительской связи частот, DSP попробовать можно, думаю, результат будет, несомненно, положительным, если удастся избежать побочных нелинейных эффектов, обусловленных применением полупроводников в ИМС, имеющих обыкновение пропускать мощные сигналы напрямую (паразитные ёмкости и прямое детектирование).

Существует способ улучшения конечной картины, связанной с интермодуляцией: коль нельзя от неё избавиться полностью (пока ещё конечным) расширением динамического диапазона РПУ и повышением линейности УРЧ (а аналоговый смеситель по своей сути – устройство нелинейное), применением цифровых (ключевых) смесителей, так можно и нужно просто "не пущать" посторонние сигналы на вход РПУ, устанавливая фильтры на входе приёмника, подавляющие мешающие сигналы в максимально возможной степени.

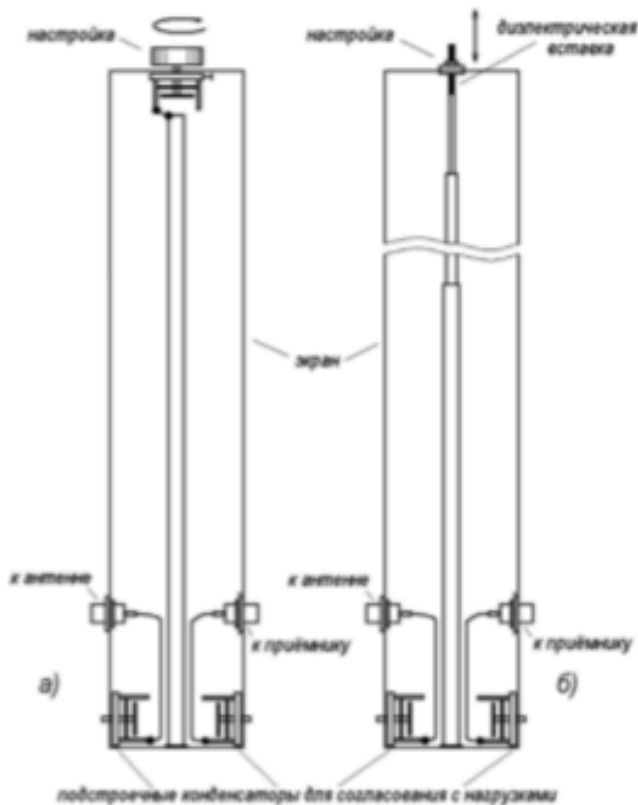
Поскольку добротность фильтров, а, значит, и полоса пропускаемых частот напрямую зависит от добротности контуров, входящих в вышеупомянутый фильтр, следует вспомнить, от чего же зависит добротность резонансных контуров. А она зависит, в первую очередь, от соотношения "индуктивность – ёмкость": чем меньше ёмкость, например, в параллельном колебательном резонансном контуре, тем выше его добротность, следовательно, для повышения добротности, а, значит, и уменьшения полосы пропускания контура, есть смысл совсем убрать конденсаторы из контура, а катушку для устранения межвитковой паразитной ёмкости вытянуть в прямую линию. Несомненно, добротность такого контура получится высокой, но такой контур трудно осуществить на практике, так как он будет иметь значительные размеры и быть более похожим на антенну на частотах ДВ, СВ и, включая КВ. Осуществить такой контур реально на УКВ, причём, для устранения "антенного" эффекта, контур необходимо экранировать. Произведя такие действия, получаем коаксиальный резонатор – высокодобротный контур, полоса пропускания которого (как и добротность), в свою очередь, зависит от многих факторов: например, от материала, из которого этот резонатор изготовлен, от чистоты обработки поверхностей проводников, по которым "гуляют" токи ВЧ, от длины резонансной коаксиальной линии, частью которой и является коаксиальный резонатор. Последнее рассмотрим подробнее: возьмём четвертьволновый коаксиальный резонатор, длина его должна составить, исходя из расчёта для частоты 144 МГц, примерно, 52 см:  $\lambda/4$ ,  $m = (300 : F, \text{МГц}) : 4 = (300 : 144) : 4 = 0,52 \text{ м}$ .

Такую реальную длину для вышеупомянутой частоты линия иметь не может, существует коэффициент укорочения, обусловленный распределённой ёмкостью в линии и наличием материала изолятора между центральным проводником и экраном коаксиальной линии (резонатора), кроме того, для осуществления точной подстройки на резонансную частоту будет необходимо включить настроечный элемент с сосредоточенными параметрами – конденсатор, который приведёт как к укорочению коаксиальной линии (резонатора), так и подложит "ложку дёгтя" в "бочонок с мёдом" – уменьшит добротность линии, увеличив, соответственно, полосу её пропускания как контура. Порой, на практике, мирятся с таким положением вещей, оставляя вопрос избирательности по входу РПУ решать усложнённым многоконтурным фильтрам с малой связью между контурами, здесь вступает в силу вопрос допустимого затухания полезного сигнала в таких

фильтрах, что приводит к увеличению шумов РПУ – к потере ими реальной чувствительности. Влияют на фильтр и условия согласования его с нагрузками, с одной стороны – антенной, с другой – последующими цепями РПУ. Как же выйти из положения и, несмотря на паразитные эффекты, обеспечить достойную избирательность коаксиальному контуру (резонатору)?

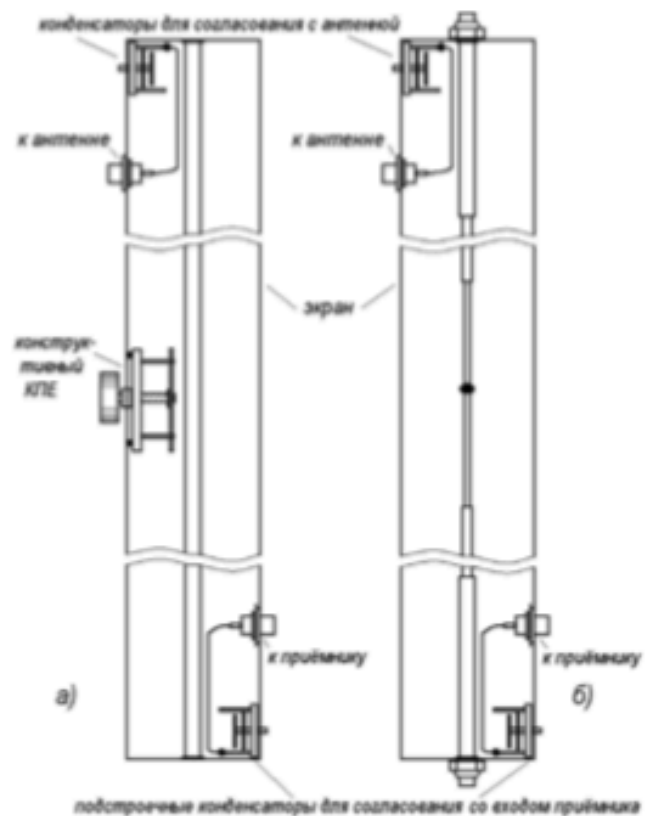
Это можно сделать за счёт упрощения настроечного конденсатора, подстройку размеров индуктивности в резонаторе следует производить, вытягивая или вдвигая колено телескопической конструкции внутреннего проводника резонатора, выполненного, например, из телескопической антенны от переносного радиоприёмника или из полудиполя ТВ антенны (типа "усы"). Поскольку на свободном конце центрального проводника коаксиального  $\lambda/4$ -резонатора (рис. 1) имеется максимум напряжения, регулировочный поводок должен быть выполнен из весьма хорошего ВЧ диэлектрика: стекла, оргстекла, ВЧ-керамики, фторопласта, стеклотекстолита. Размеры резонатора (длина) без конденсатора, естественно, увеличатся, приближаясь к тем расчётным 52 см. Катушки связи, со стороны антенны и со стороны приёмника (передатчика), расположены внизу центрального проводника резонатора, где напряжение имеет не такую большую величину, даже при значительной мощности

передатчика. Они могут быть расположены на небольшом расстоянии от центрального проводника, и согласование производится с помощью подстроечных конденсаторов, включаемых в "холодный" конец катушек связи. Для дальнейшего сужения полосы пропускания, при сохранении приемлемых шумовых характеристик РПУ, следует вместо четвертьволнового резонатора, применить полуволновый. Как видно из рис. 2б, такой резонатор представляет собой трубу, заглушенную с обоих торцов, с центральным проводником (вibratorом). Длина трубы вдвое больше, чем у четвертьволнового резонатора, подстройка производится также вдвиганием или выдвиганием телескопических колен, при этом двигаются самые толстые колена телескопических антенн (с двух сторон резонатора), причём, изоляторов тут не нужно: с обеих сторон – минимумы напряжения, после настройки следует обязательно хорошо зажать концы телескопических колен, здесь нужны очень хорошие контакты, так как здесь – максимумы тока. Для фиксации можно применить втулки, подобные таковым от подстроечных резисторов типа СП с накладными стопорными гайками. Конструктивно, в этом резонаторе соединены две телескопические антенны: вершинами вместе в центре резонатора.



**Рис. 1.** Эскиз четвертьволнового коаксиального резонатора с индуктивными связями с нагрузками:

- а) с ёмкостной перестройкой по частоте;  
б) с перестройкой по частоте изменением индуктивности



**Рис. 2.** Эскиз полуволнового резонатора с индуктивными связями с нагрузками:

- а) с ёмкостной перестройкой по частоте;  
б) с перестройкой по частоте изменением индуктивности

Практически, полуволновый резонатор эквивалентен двум четвертьволновым, согласованным между собой, поэтому подавление сигналов за полосой пропускания получается более значительным, сужается и полоса пропускания, в первую очередь, за счёт уменьшения нагрузки резонатора (нагрузки распределены: антенна нагружает одну часть резонатора, вход приёмника – другую). Более правильным (рис. 2а) было бы установить на полуволновом резонаторе с настройкой ёмкостью два КПЕ, однако, при полной конструктивной симметрии резонатора и нахождении точек максимумов напряжения в одном месте ( $\lambda/4$ -вибраторы соединены), допустимо использовать один общий КПЕ, который представляет собой медную или латунную пластинку (или часть трубки, вырезанную по длине неё), соединённую с общим проводом (экраном) резонатора, которая при настройке удаляется от вибратора или приближается к нему с помощью резьбового механизма с фиксацией. Резонаторы можно выполнить и из толстого коаксиального кабеля с центральной жилой диаметром 4...6 и более миллиметров, такие кабели применяются обычно на передающих центрах и ретрансляционных станциях, правда, в последнем случае, придётся "повозиться", подбирая размеры резонатора, сверля необходимые отверстия в экранирующей оплётке, "выбирая" диэлектрик и "конопая", после работы, получившиеся отверстия, запаивая их в экране линии (резонатора).

Лучшим материалом для создания коаксиальных резонаторов является чистая медь и некоторые её сплавы с другими металлами, причём сплавы, такие как латунь и бронза, лучше идут под серебрение. Медь, при неимении серебра, полируется до зеркального блеска и покрывается бесцветным электроизоляционным лаком (от окисления) на всём протяжении поверхностей резонатора, после пайки и эти места следует покрыть лаком по той же причине. Пайку (и, возможно, лужение) можно произвести и серебродержащим припоем (с последующей полировкой), следует, однако, заметить, что такой припой тугоплавок и "не любит" перепаек. Применение алюминиевых сплавов при изготовлении резонаторов тоже возможно, с ухудшением конечного результата (по сравнению с медью), здесь следует заметить, что пайка алюминия хоть и возможна, при применении соответствующих флюсов, но ненадёжна во времени, лучше подойдёт сварка аргоном, а разъёмные соединения следует хорошо подгонять друг к другу и прожимать с помощью винтов из нержавеющей стали, стыки герметизировать сверху (покраска, герметик).

Связь коаксиального резонатора как с антенной, так и со входом приёмника (выходом передатчика) может быть не только индуктивной трансформаторной, но и автотрансформаторной (рис. 3), правда, место отвода на центральном проводнике (вибраторе) резонатора потребует тщательно подобрать под сопротивление нагрузок: антенну и вход РПУ.

Для обеспечения большей селективности или обеспечения большей равномерности передачи в диапазоне частот с крутыми скатами АЧХ, обычно, применяют параллельное соединение коаксиальных резонаторов, через которые последовательно проходит спектр входных принимаемых сигналов, освобождаясь от помех. Такая схема обеспечивает фильтрацию, но приводит также к увеличению затухания и полезного сигнала.

Фильтры на отрезках коаксиальных линий, примерами коих являются и четвертьволновой и полуволновый резонаторы, также имеют затухание, будучи соединёнными непосредственно друг с другом, но гораздо меньшее, обусловленное, в основном, лишь потерями на активном сопротивлении в проводниках линии, скин-эффектом (здесь вступает в силу чистота обработки поверхности проводников) и потерями в диэлектрике.

Вполне очевидно, что полуволновый резонатор, выполненный на основе отрезка коаксиальной линии, составлен из двух четвертьволновых, количество таких составляющих можно увеличивать, однако, на практике удобнее использовать резонаторы кратные полуволне рабочей частоты:  $0,5\lambda$ ,  $1,0\lambda$ ;  $1,5\lambda$ ;  $2,0\lambda$  и т.д., с учётом коэффициента укорочения, например, коаксиального кабеля, из которого выполнен этот резонатор. Применение коаксиальных резонаторов на основе отрезков коаксиальных линий полезно и естественно

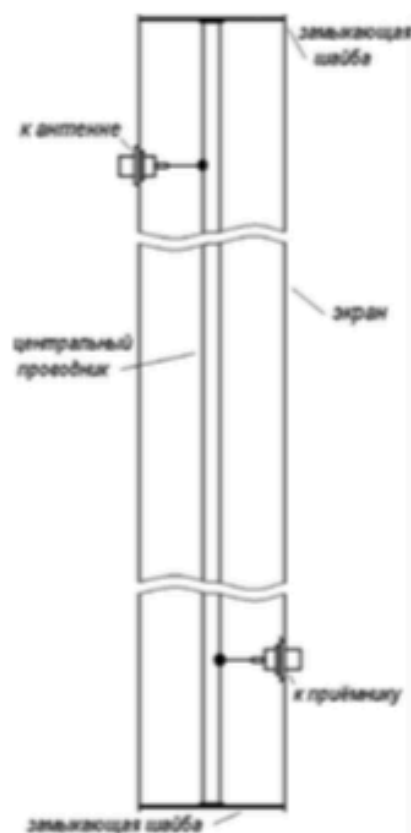


Рис. 3. Эскиз полуволнового резонатора с автотрансформаторным включением нагрузок

там, где размеры не имеют решающего значения. Так, например, полуволновый резонатор на диапазон 2 метра будет иметь физическую длину уже около метра и диаметр 50...200 мм.

Размер резонатора может быть увеличен, вплоть до полной замены им фидера антенны, т.е., от приёмопередатчика до антенны. Возможно, таким образом, помимо фильтрации, удастся снизить и потери по передаче ВЧ энергии, как будет вести себя резонатор, в этом случае, при передаче большой РЧ мощности – нужно провести исследование.

Бесспорно, применение коаксиального кабеля малого диаметра снизит уровень достижимого результата, но идею можно проверить и на нём. Сначала нужно вычислить или найти опытным путём на развёрнутом кабеле точки максимумов или минимумов РЧ напряжения для нужной частоты, например, 144050 кГц – международной частоты для проведения дальних связей телеграфом в диапазоне 2 метра. Затем отрезать с припуском по полуволнам кабель, с таким расчётом, чтобы его хватило от приёмопередатчика до антенны. Далее, концы фидера (теперь резонатора) необходимо «заглушить», впаяв шайбы из меди, латуни между центральной жилой кабеля и оплёткой. Затем в оплётке кабеля, отступив от заглушенных концов 50 мм, сверлом диаметром до 5 мм сверлится ряд отверстий по одной линии до 150 мм от заглушенных концов, перегородки между отверстиями удаляются, и вычищается диэлектрик кабеля до центральной жилы (весь диэлектрик вычищать не нужно, важно лишь обеспечить доступ к центральной жиле кабеля для настройки). Следует избегать повреждения центральной жилы кабеля. Затем, в центре образовавшейся «траншеи», к центральной жиле короткими проводами припаивают центральные выводы РЧ розеток, а корпуса их припаиваются к шайбам - заглушкам, по торцам резонатора, или к оплётке кабеля.

С обоих концов фидера-резонатора можно имплантировать и катушки связи, изготовив этот резонатор подобно рис. 26, но удобнее, в данном случае, применить конструкцию резонатора, указанную на рис. 3. Следует отметить, что такая конструкция фидера-резонатора будет весьма узкополосной, его можно применять для работы на фиксированных частотах или с допусками – в узком диапазоне частот, например, 144050 кГц  $\pm$  25...50 кГц, или в начале диапазона, где проводятся EME-QSO. Защита от QRM со стороны не только внедиапазонных (не любительских), но и от сигналов любительских станций, работающих выше по частоте (SSB, ЧМ и CW – связь через ИСЗ) может быть

весьма значительной. Собственно, фидер-резонатор будет иметь и другие резонансы (выше и ниже по частоте), кратные рабочей частоте, но на этих частотах: во-первых, резонатор не согласован с антенной и приёмопередатчиком, во-вторых, резонансная антенна и входные/выходные цепи приёмопередатчика эффективно подавляют нежелательные частоты. Для пропускания большой мощности через такой фидер-резонатор, кабель фидера должен иметь значительный диаметр, иначе возможны пробои и выгорания кабеля в точках максимумов напряжения и плавления тонкого центрального проводника коаксиального кабеля в точках максимумов тока. С помощью кабеля-резонатора можно производить согласование с антенной, передвигая отвод (рис. 3), применение симметрирующих элементов у антенны желательно, но не обязательно.

За счёт уменьшения распределённой ёмкости кабеля (с увеличением его толщины) добротность резонатора получается выше с толстым кабелем  $\rho = 75$  Ом, нежели с тонким –  $\rho = 50$  Ом. Полезно посмотреть АЧХ кабеля-резонатора для рабочей частоты (участка диапазона частот) на измерителе частотных характеристик, чтобы оценить, правильно ли была выбрана длина кабеля и скорректировать её (нужная частота должна находиться по центру АЧХ), также по ИЧХ можно оценить влияние нагрузок (антенны и приёмопередатчика) на АЧХ резонатора. Согласование резонатора с антенной и приёмопередатчиком осуществляется обычным методом с использованием антенного анализатора, КСВ-метра, ИЧХ, ГИРа или, в крайнем случае, методом генератора - вольтметра и сводится к поиску точки пайки отвода (отводов) к центральному проводнику (кабеля-резонатора) при автотрансформаторном включении (рис. 3) или путём изменения ёмкости подстроечных конденсаторов, связанных с катушками связи (рис. 26).

Точные размеры резонаторов устанавливаются лишь практически, когда учтены все паразитные ёмкости и составляют: для четвертьволнового резонатора, укороченного ёмкостью, порядка 35...45 см, с изменением индуктивности – порядка 45...50 см. Соответственно, для полуволновых резонаторов – вдвое больше. Чем ближе длина резонатора к расчётной электрической, тем выше его добротность и уже полоса пропускания, выше его защитное действие и меньше конечный уровень шумов РПУ. Диаметр экранов, для уменьшения влияния на добротность резонатора, следует выбирать как можно **большим**, то же можно сказать и о коаксиальных кабелях, хотя эксперименты можно ставить и на тонких.