

## ПОЛОСНО-ЗАГРАЖДАЮЩИЙ СВЧ ФИЛЬТР ДЕЦИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

Мосейчук Р.С.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Копылов А.Ф.

*Сибирский федеральный университет*

В настоящее время в системе бытового телевизионного вещания (ТВ) есть задача фильтрации тех или иных каналов из общей сетки частот без нарушения режима работы остальных каналов. Это связано с коммерческим использованием ряда частотных каналов ТВ-диапазона (так называемое «кабельное телевидение»), при котором оператор желает отделить свои коммерческие платные каналы от общих бесплатных. Наиболее простой путь решения этой проблемы – установка специально изготовленных фильтров, «вырезающих» некоторую полосу частот, соответствующую тем каналам, которые необходимо скрыть от общего доступа, в уже имеющихся ТВ-сетях общего пользования. Решение этой задачи, несмотря на кажущуюся простоту, вызывает определенные сложности.

Первая проблема обусловлена тем, что реально задействованный для приёма и передачи информации диапазон частот в настоящее время простирается, без малого, от 50 МГц до 1200 МГц, в котором следует «вырезать» полосу частот от 450 до 470 МГц. Соответствующий фильтр должен пропускать все указанные частоты без заметного ухудшения качества (то есть, с минимальными потерями) и вносить существенное затухание (40-50 дБ и более) в режектурируемой полосе частот. Такое перекрытие по частотам соответствует 4,5 октавам – а это устройство соответствует классу сверхширокополосных и захватывает верх метрового (МВ) и почти весь дециметровый (ДМВ) диапазоны. Реализация каких-бы то ни было устройств с таким перекрытием диапазонов всегда задача непростая.

Вторая проблема реализации режекторного фильтра на полосу частот 450-470 МГц также связанная с существующей сеткой частот ТВ-вещания и состоит в том, что расстояние по частотам между каналами этого вещания (защитные частотные интервалы), весьма малы (около 5 МГц). То есть, реализуемый фильтр должен обладать очень высокой крутизной скатов характеристики задерживания (заграждения), не менее 30 дБ / 2.5 МГц. При реализации профессиональных приёмо-передающих устройств ТВ-диапазона, реализующих работу станций ТВ-вещания, эта задача (выполнение этих требований) решается с помощью использования мощнейших фильтрующих устройств и систем на выходе передатчиков. Эти выходные фильтры передающих станций не ограничены ни в габаритах, ни в стоимости, так как, пусть выходной фильтр такого передатчика даже получается очень дорогой и громоздкий, но он один на всех потребителей информации этого канала (его цена делится на всех), и установлен в одном месте (отдельном помещении передающей станции), а не в каждом телевизионном приёмнике, и даже не в каждой точке коллективного пользования (подъезде многоквартирного дома). Реализовать же ПЗФ с указанными требованиями в миниатюрном (100-200 куб. см.) исполнении, стоимостью не более 500-1000 руб. весьма проблематично, если вообще возможно.

Кроме всего прочего, при разработке и реализации интересующего нас ПЗФ (режекторного фильтра) существует проблема номер три: обеспечение очень высокого значения коэффициента прямоугольности амплитудно-частотной характеристики

(АЧХ) разрабатываемого ПЗФ. Эта проблема, как оказывается при ближайшем рассмотрении, оказывается принципиальной. Дело в том, что при реализации интересующего нас ПЗФ, появляются требования, очень редко предъявляемые в практике реализации фильтров. Поясним возникшую проблему на примере. На рис.1 показаны АЧХ полосно-пропускающего ППФ (рис. 1 а)) и полосно-заграждающего ПЗФ (рис. 1 б)) фильтров, обладающих одной и той же АЧХ. Пунктирной линией с двоеточием на этих рисунках обозначены рабочие области частот, в которых к фильтрам предъявляются те или иные требования.

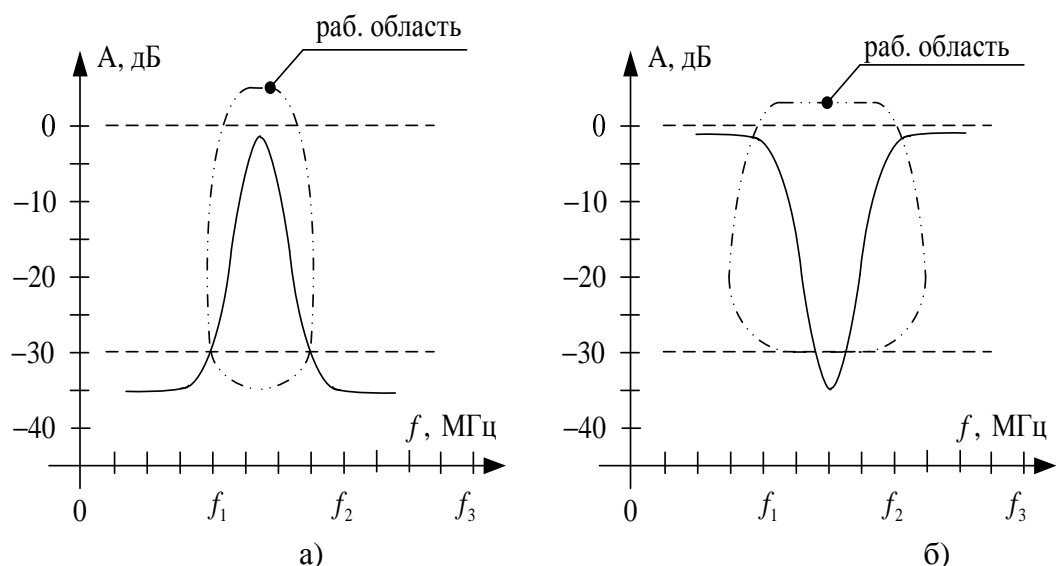


Рис. 1 Рабочие области частот: а) ППФ: б) ПЗФ

Сравнительный анализ этих АЧХ приводит к парадоксальному, на первый взгляд, выводу о том, что две абсолютно идентичных АЧХ (для примера рис. 1 они получены отражением одной и той же кривой) оказываются совершенно разными с точки зрения выполнения требований, предъявляемых к фильтрам ППФ типа и ПЗФ типа. Типовая резонансная кривая для ППФ, показанная на рис. 1 а), полностью удовлетворяет потребителя: потери в полосе пропускания приемлемы, глубина затухания составляет более 30 дБ, крутизна изменения АЧХ в рабочем диапазоне частот также неплохая. Совсем иная картина наблюдается на рис. 1 б), на котором показана та же самая АЧХ, но уже являющаяся резонансной кривой для ПЗФ: прямоугольность характеристики в начальных по скату АЧХ частотах плохая, крутизна скатов резонансной кривой не очень хороша (по той же причине – из-за начальных участков затухания АЧХ), пик резонансной кривой вообще никого не волнует, глубина затухания приемлема. Таким образом, реализуя одну и ту же АЧХ для ППФ и для ПЗФ, мы в одном случае (для ППФ) удовлетворяем требования заказчика, а в другом (для ПЗФ) – не удовлетворяем. Именно такая ситуация имеет место в нашем случае, когда мы должны реализовать ПЗФ, минимально влияющий на соседние ТВ-каналы, расположенные рядом с вырезаемыми, и, в то же время, обеспечивающий минимальные потери в 4,5 октавной полосе рабочих частот диапазона МВ-ДМВ.

Нами была предпринята попытка реализации режекторного фильтра на диапазон 450-470 МГц при одновременном обеспечении минимального затухания в диапазоне 50-450 МГц и 470-1200 МГц. Фильтра был выполнен в виде трехзвенного колебательного контура, реализованного на полусосредоточенных элементах. Конструктивной основой фильтра являлась подложка из материала ФАФ с

относительной диэлектрической проницаемостью 2,2 толщиной 2 мм, на которой путем вырезания были выполнены входной и выходной 50-ти Омные отрезки МПЛ шириной около 4 мм. К ним со входа и выхода конструкции подключались 50-ти Омные разъемы типа «Пихта», закрепленные вместе с диэлектрической подложкой на общем основании из листа дуралюминия. На подложке были также сформированы контактные площадки для пайки на них элементов фильтра – последовательно включенных между собой индуктивности и емкости последовательного контура (второе звено фильтра), а также параллельно включенных между собой индуктивностей и емкостей, образующих параллельные колебательные контуры (первое и третье звенья фильтра). Последовательный колебательный контур представляет собой емкость типа КТК номиналом 4,7 пФ, последовательно с которой включена индуктивность из отрезка медного провода ПЭЛ-1 величиной 0,5 витка диаметра 5мм. Таким образом удалось реализовать сверхширокополосный ПЗФ, широкополосность которого относится не к полосе задерживаемых (заграждаемых) частот, а к полосе частот, которые этот фильтр пропускает с минимумом затухания.

На рис. 2 приведена АЧХ модуля коэффициента передачи трехзвенного ПЗФ в диапазоне частот 0-1200 МГц. Как видно из рис. 2, реализованный ПЗФ обеспечивает хорошее заграждение в рабочей полосе 450-470 МГц (около 30 дБ), хорошие характеристики пропускания в диапазоне 0-1200 МГц (потери на верхних частотах диапазона 1000-1200 МГц не более 3 дБ). Однако, этот фильтр обладает совершенно неудовлетворительными характеристиками для решения поставленной нами задачи в областях частот, соответствующих началу и концу заграждающей полосы. На каналах, начиная с SK-20 (303,25 МГц) и до канала SK-32 (399,25 МГц) затухание, вносимое однозвенным ПЗФ составляет от 2 дБ до 4 дБ. Последняя цифра, на наш взгляд, является недопустимо большой, поскольку уровень принимаемого ТВ-сигнала на верхних частотах ТВ-диапазона (700-1200 МГц) и так существенно меньше, чем на нижних частотах ТВ-диапазона (50-300 МГц).

Экспериментальный опыт работы с ПЗФ, выполненных на основе контуров с полусосредоточенными элементами показывает, что эти фильтры способны обеспечить решение двух из трёх основных проблем создания фильтров такого типа: во-первых, удовлетворить условию сверхширокополосности по полосе пропускания, и, во-вторых, удовлетворить требуемой величине затухания в полосе задерживания и крутизны в полосе задерживания. Важным достоинством такого построения ПЗФ является отсутствие у них кратных полос пропускания. Однако, разрешение проблемы обеспечения требуемой прямоугельности в начале полосы задерживания этим фильтрам, вероятно, не под силу. Мы полагаем, что этот недостаток фильтров на реактивных элементах является их неотъемлемым свойством (для существенного изменения затухания у таких фильтров необходимо существенное изменение частоты, что требует большого числа звеньев фильтра и их высокой добротности), что несовместимо с требованием малогабаритности и дешевизны таких устройств.

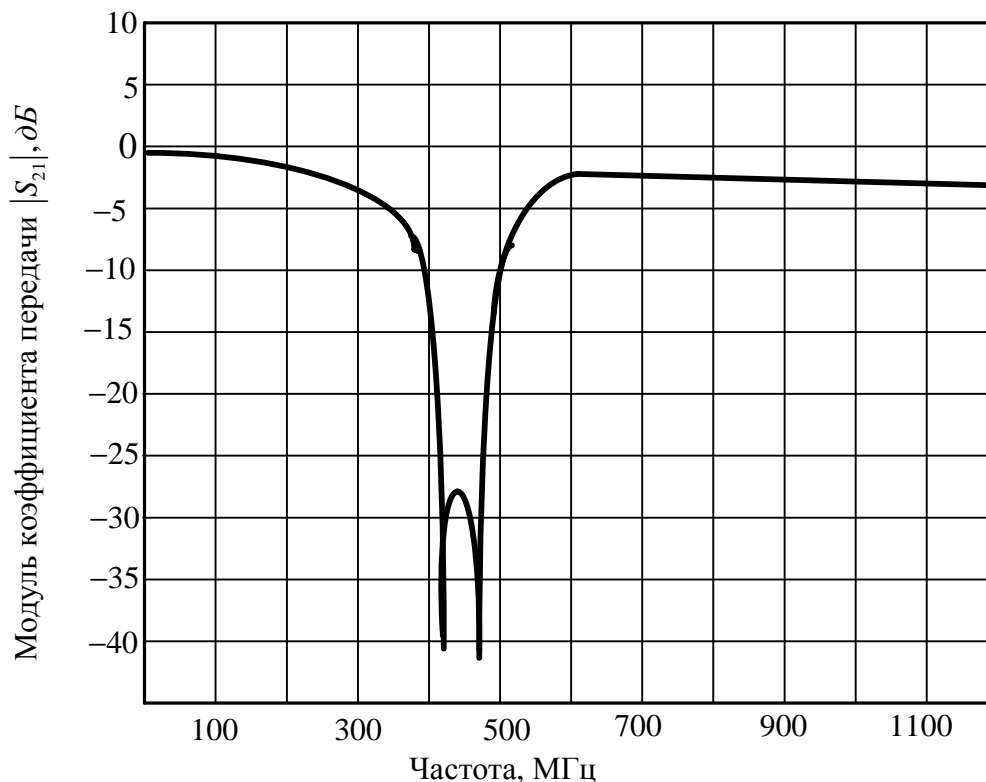


Рис. 2 АЧХ трёхзвенного ПЗФ на полусосредоточенных элементах в диапазоне частот 0-1200 МГц

Нам представляется, что для реализации одновременно всех требований, предъявляемых к ПЗФ типа «фильтр-пробка со сверхширокой полосой пропускания» требуется использование иных, чем использованные в настоящей работе, принципов построения фильтров. Такими принципами могут быть:

- построение фильтров на диэлектрических резонаторах;
- построение фильтров на подложках с высокими значениями относительной диэлектрической проницаемости;
- использование комбинированных схем, содержащих сложные включения полосно-пропускающих фильтров, обеспечивающих высокую крутизну АЧХ (прямоугольность) в начале и конце полосы задерживания;
- создание активных фильтров для ТВ-диапазона;
- использования фильтров на поверхностных акустических волнах (ПАВ);
- использование фильтров на сферах железо-иттриевого граната (ЖИГ-сферах).

Однако, реализация фильтров по любому из перечисленных сценариев, потребует резкого повышения требований к технологии выполнения фильтров и соответственно увеличит их стоимость. Вероятно, наиболее радикальным способом решения поставленной задачи является переход к системам цифрового ТВ-вещания, что одновременно существенно улучшит его качество.