

Высокоизбирательные перестраиваемые фильтры

Андрей Яковлев, Александр Тюменцев

В работе рассмотрены вопросы реализации высокоизбирательных перестраиваемых полосовых фильтров, предназначенных для использования в качестве преселекторов/постселекторов в приёмопередающей аппаратуре.

Одной из тенденций приёмопередающей аппаратуры связи является дальнейшее улучшение её основных параметров, прежде всего, таких как чувствительность, помехозащищённость, динамический диапазон и т.д. Многие из этих параметров определяются используемыми во входных цепях радиоприёмных устройств и в выходных каскадах возбuditелей характеристиками частотно-избирательных устройств, в качестве которых широкое применение находят полосовые перестраиваемые фильтры.

Как правило, такие фильтры реализуются на основе схем второго порядка, представляющих собой два связанных контура. Однако избирательность подобных фильтров в ряде случаев оказывается недостаточной для их использования в перспективных радиосредствах. Повышение избирательности за счёт увеличения порядка фильтра, или, иными словами, числа резонансных контуров, ведёт к росту потерь в полосе пропускания фильтров и, как следствие, уменьшению чувствительности. Поэтому проектирование перестраиваемых фильтров, обладающих высоким затуханием в полосе задерживания (не менее 50...60 дБ при отстройке от частоты настройки на 10%) и малыми потерями, требует решения ряда взаимоисключающих вопросов и является достаточно сложной технической задачей.

В настоящей работе рассматриваются возможности создания высокоизбирательных полосовых фильтров с низкими потерями в полосе пропускания и малым временем перестройки, кото-

рые могут быть использованы в качестве преселекторов/постселекторов в перспективной приёмопередающей аппаратуре.

Как показывают расчёты, проведённые на основе известных методов [1], для реализации затухания порядка 50...60 дБ при отстройке от частоты настройки на 10% необходим фильтр 4-го порядка. Один из вариантов полосового перестраиваемого фильтра, который нашёл наиболее широкое практическое применение и обеспечивает заданную избирательность, приведён на рис. 1. Процедура синтеза такого фильтра и соотношения для определения значений его элементов приведены в [1...3].

Перестройка фильтра по частоте осуществляется с помощью дискретных конденсаторов переменной ёмкости (ДКПЕ), представляющих собой набор коммутируемых конденсаторов (рис. 2). Для обеспечения малого времени перестройки в качестве элементов коммутации наиболее часто используют рпн-диоды. Сопротивление перехода рпн-диода (r) в открытом состоянии зависит от параметров диода и протекающего постоянного тока (1) и определяет в соответствии с (2) добротность ДКПЕ.

$$r = \frac{W^2}{(\mu_p + \mu_n) \times \tau \times I_0}, \quad (1)$$

$$Q_c = \frac{1}{\omega \times C \times r}. \quad (2)$$

Здесь W – ширина нелегированной i -области диода,

μ_p и μ_n – концентрация электронов и дырок в сильнолегированных областях,

τ – время жизни заряда,
 I_0 – прямой ток смещения.

В свою очередь, сопротивление потерь $a_{\text{пот}}$ в полосе пропускания полосового фильтра, как следует из выражения (3) [4], зависит от относительной ширины полосы пропускания и добротности используемых элементов.

$$a_{\text{пот}} = 4,34 \times \frac{f_0}{\Delta} \times \sum_{i=1}^n \frac{g_i}{Q_i}, \quad (3)$$

где f_0 – центральная частота фильтра,
 Δ – ширина полосы пропускания фильтра,

g_i – параметры прототипа,
 Q_i – добротность i -го элемента.

Поэтому при проектировании высокоизбирательных перестраиваемых полосовых фильтров, обладающих малыми потерями в полосе пропускания, необходимо учитывать потери как в катушках индуктивности, так и в конденсаторах, стремясь минимизировать их. Уменьшение потерь в катушках индуктивности может быть достигнуто при проектировании фильтра за счёт выбора коэффициентов преобразования инверторов полной проводимости [1...3] такими, чтобы расчётные значения катушек индуктивности являлись наиболее оптимальными в части обеспечения максимальной добротности в диапазоне перестройки частот фильтра при заданных габаритных размерах.

Задаваясь добротностью катушек индуктивности и потерями в полосе пропускания, на основании выражения (3) можно определить минимально необходимую добротность ДКПЕ. Далее, исходя из параметров выбранного рпн-диода, заданного тока и используя формулы (1) и (2), необходимо определить максимальное значение коммутируемой ёмкости ДКПЕ и количество его разрядов, исходя из следующих соотношений:

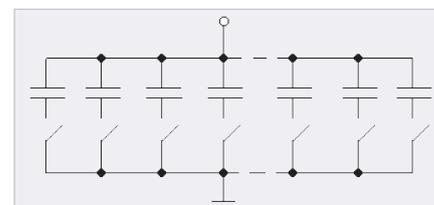


Рис. 2. Схема дискретного конденсатора переменной ёмкости

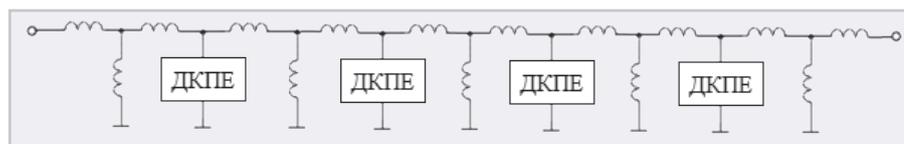


Рис. 1. Схема перестраиваемого полосового фильтра

$$C_{\max} = \frac{1}{\omega \times Q_{\min} \times r},$$

$$C_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n C_i + C_0, \quad (4)$$

$$\frac{f_{\max}}{f_{\min}} = \left(\frac{C_{\Sigma}}{C_1 + C_0} \right)^2,$$

где C_{Σ} – суммарная ёмкость ДКПЕ,
 C_i – ёмкость i -го конденсатора ДКПЕ,
 C_1 – ёмкость первого разряда ДКПЕ, определяющая шаг перестройки,
 C_0 – начальная ёмкость, учитывающая ёмкость монтажа и рпн-диодов.

Принимая во внимание, что добротность катушек индуктивности в КВ-диапазоне, как правило, составляет 150...200, на основе соотношения (3) было установлено, что для обеспечения потерь не более 6 дБ в полосе пропускания фильтра с относительной шириной полосы пропускания 3% добротность

ДКПЕ должна составлять 300...500. Исходя из вышесказанного, были рассчитаны и изготовлены перестраиваемые полосовые фильтры на диапазон частот от 1,5 до 30 МГц с коэффициентом перестройки по частоте 2,5...3,0. На рис. 3 приведена экспериментальная АЧХ одного из таких фильтров на диапазон частот 4...10 МГц. При относительной ширине полосы пропускания порядка 3% вносимые потери фильтров составили 5...6 дБ, затухание в полосе задерживания при отстройке $\pm 10\%$ – 60 дБ.

Литература

1. Ханзел Г. Справочник по расчёту фильтров / пер. с англ. под ред. А.Е. Знаменского. М., 1974. 288 с.
2. Знаменский А.Е., Попов Е.С. Перестраиваемые электрические фильтры. М.: Связь, 1979. 128 с.
3. Алексеев Л.В., Знаменский А.Е., Лоткова Е.Д. Электрические фильтры метрового и дециметрового диапазонов. М.: Связь, 1976. 280 с.
4. Матей Г.Л., Янг Л., Джонс Е.М.Т. Фильтры СВЧ, согласующие цепи и цепи связи. Т. 1 / пер. с англ. под ред. Л.В. Алексеева и Ф.В. Кушнира. М., 1971. 439 с.
5. Microsemi-Watertown. The PIN-diode circuits designers handbook. 1998. 137 p. 

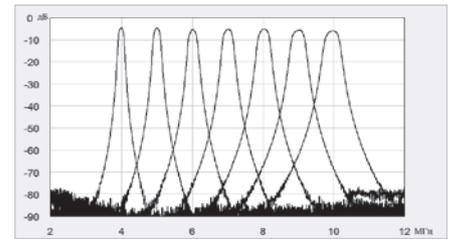
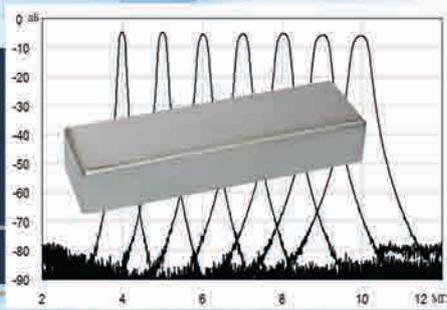


Рис. 2. Схема дискретного конденсатора переменной ёмкости

ОМСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ



АО «ОНИИП» разработало линейку высокоизбирательных перестраиваемых фильтров КВ-УКВ диапазона, предназначенных для использования в качестве преселекторов радиоприемных устройств и селекторов возбuditелей радиопередающих устройств со следующими параметрами:

1. Диапазон частот 1,5...108 МГц.
2. Коэффициент перестройки по частоте 2,5...3,5.
3. Потери в полосе пропускания не более 5...6 дБ.
4. Относительное затухание при отстройке $\pm 10\%$ от частоты настройки не менее 50 дБ – для КВ-диапазона; не менее 40 дБ – для УКВ-диапазона.
5. Уровень блокирования не менее 150 дБмкВ.
6. Время перестройки не более 0,5 мкс.

Россия, Омск, 644009, Масленникова 231, тел. (3812) 514900, факс. (3812) 536673, e-mail: info@oniip.ru, http://www.oniip.ru

НОВОСТИ МИРА

Нokia: к 2030 году наступит эра 6G, а люди перейдут со смартфонов на вживляемые чипы

Генеральный директор занимающейся производством телекоммуникационного оборудования компании Nokia Пекка Лундмарк (Pekka Lundmark) заявил, что коммерческое использование сетей связи шестого поколения (6G) начнётся в 2030 году.

При этом он отметил, что к тому времени, вероятнее всего, многие люди откажутся от использования смартфонов, отдав предпочтение носимой электронике и вживляемым чипам.

Во время выступления на Всемирном экономическом форуме в Давосе Лундмарк сообщил, что ожидает начала коммерческого использования 6G примерно в 2030 году. Он

отметил, что ещё до этого люди, вероятно, откажутся от смартфонов и перейдут на использование смарт-очков и других подобных устройств, которые смогут подключаться к Интернету и взаимодействовать друг с другом. Причём некоторые из таких устройств будут вживляться в тело человека.

«К тому времени смартфон, каким мы его знаем сегодня, определённо перестанет быть самым распространённым интерфейсом. Многие из этих вещей будут встроены непосредственно в наши тела», – заявил Лундмарк.

Он не уточнил, что именно имел в виду, но, вероятно, речь идёт об электронных имплантатах, подобных тем, что разрабатывает компания Илона Маска Neuralink. В более широком смысле речь может идти о чипах, предназначенных

для вживления в пальцы руки или другие части тела.



Лундмарк также заявил, что к 2030 году появится «цифровой двойник всего», что потребует «огромных вычислительных мощностей». По его словам, для передачи данных в метавселенной сети должны быть в 100 или даже 1000 раз быстрее, чем мы имеем сегодня.

www.russianelectronics.ru