

Перестраиваемые полосовые фильтры

Ирина Забегайло, Александр Тюменцев, Андрей Яковлев (info@oniip.ru)

В статье рассмотрены вопросы реализации перестраиваемых полосовых фильтров, обладающих большим коэффициентом перестройки по частоте, представлены результаты измерений характеристик устройства.

Перестраиваемые фильтры находят широкое применение в современной приёмопередающей аппаратуре с перестройкой по частоте. При этом перестройка таких фильтров по частоте может осуществляться посредством коммутации ряда фильтров на фиксированные частоты, либо перестройкой элементов самого фильтра.

Переключение ряда фильтров по входу и выходу с примыкающими амплитудно-частотными характеристиками позволяет обеспечить высокую избирательность и практически неограниченный коэффициент перестройки при сравнительно простой их реализации. Однако перестраиваемые полосовые фильтры (ППФ), выполненные подобным образом, характеризуются большими массогабаритными показателями, особенно при большом количестве узких относительных полос пропускания в широком диапазоне частот.

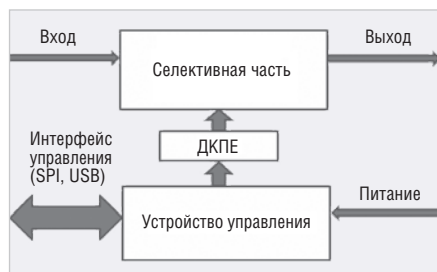


Рис. 1. Структурная схема ППФ, выполненного на основе ДКПЕ

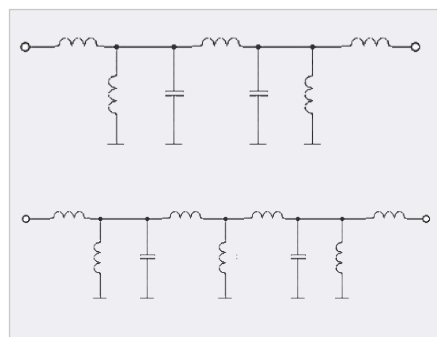


Рис. 2. Схемы ППФ с постоянной относительной полосой пропускания

Поэтому более перспективными являются ППФ, в которых перестройка по частоте осуществляется элементами фильтра, что позволяет обеспечить высокую селективность и одновременно существенно улучшить массогабаритные показатели информационных систем связи, особенно при необходимости реализации большого числа узких относительных полос пропускания в широком диапазоне частот.

В связи с тем что ППФ в значительной мере определяют параметры приёмопередающей аппаратуры, к ним предъявляются высокие требования, которые должны сохраняться при изменении частоты настройки. Вместе с тем изменение частоты настройки ведёт к отклонению характеристик фильтра от заданных из-за изменения характеристического сопротивления фильтра. Причём это отклонение будет тем больше, чем шире диапазон перестройки фильтра. В данной статье рассматриваются возможности реализации ППФ, надёжно обеспечивающих заданные параметры при перестройке в широком диапазоне частот.

При проектировании ППФ, как правило, применяются схемы, содержащие минимальное число элементов перестройки, причём один из их выводов должен быть соединён с общей шиной. В качестве элементов перестройки могут быть использованы переменные индуктивности и конденсаторы. Однако на практике наиболее широкое применение нашли последние. Такие конденсаторы могут выполняться в виде дискретных и нелинейных конденсаторов переменной ёмкости с воздушным зазором.

Для создания аппаратуры, к которой предъявляются высокие требования к динамическому диапазону, в качестве элементов перестройки наиболее приемлемыми являются дискретные конденсаторы переменной ёмкости (ДКПЕ), представляющие собой набор коммутируемых конденсаторов. На рисунке 1 приведена структур-

ная схема ППФ, выполненного с применением ДКПЕ.

Выбор схемы селективной части фильтра во многом определяет не только его основные параметры, но также диапазон и способ перестройки.

В работе [1] было показано, что входное сопротивление симметричного фильтра связано с его характеристическими параметрами следующим образом:

$$W = Z_c \times \frac{Z_c \times \sin \alpha - j \times R_H \times \cos \alpha}{R_H \times \sin \alpha - j \times Z_c \times \cos \alpha},$$

где W – входное сопротивление симметричного фильтра, R_H – сопротивление нагрузки на выходе фильтра, α – характеристическая фаза, Z_c – характеристическое сопротивление.

Выделяя вещественную и мнимую части этого выражения можно получить следующие соотношения:

$$\operatorname{Re}(W) = \frac{Z_c^2 \times R}{R_H^2 \times \sin^2 \alpha + Z_c^2 \times \cos^2 \alpha},$$

$$\operatorname{Im}(W) = \frac{Z_c \times (Z_c^2 - R_H^2) \times \sin 2\alpha}{2 \times (R_H^2 \times \sin^2 \alpha + Z_c^2 \times \cos^2 \alpha)}.$$

При $\alpha = k \times \pi$, ($k=1, 2, \dots, n$), $\operatorname{Re}(W)=R_H$, $\operatorname{Im}(W)=0$.

Таким образом, при изменении частоты настройки перестраиваемого фильтра чётного класса по затуханию входное сопротивление на средней частоте не изменяется и сохраняется согласование, несмотря на изменение характеристического сопротивления. При этом вносимое затухание также будет неизменным. Поэтому селективная часть ППФ чётного класса по затуханию обладает меньшей чувствительностью по коэффициенту передачи на средней частоте при изменении частоты настройки, что делает её более предпочтительной при реализации перестраиваемых фильтров.

На рисунке 2 сверху приведена схема селективной части ППФ чётного класса по затуханию с индуктивной связью, которая позволяет обеспечить постоянную относительную ширину полосы пропускания и меньшую неравномерность коэффициента передачи при более широком диапазоне перестройки. При проектировании узкополосных ППФ элементы такой схемы могут оказаться трудно реализуемыми на практике. Устранить этот недостаток позволяет преобразованная схема, изобра-

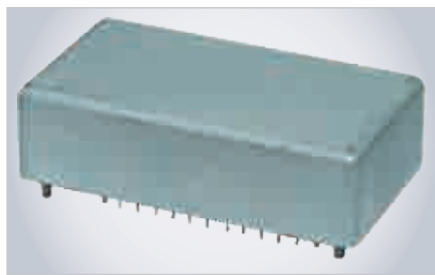


Рис. 3. Внешний вид ППФ на диапазон частот 3...10 МГц

жённая на рисунке 2 внизу, которая больше подходит для создания реальных ППФ. Расчёт элементов этой схемы может быть проведён на основе известных методик [2–7].

Теоретическое значение коэффициента перестройки по частоте ППФ, выполненного подобным образом, может достигать 10. Однако на практике его величина не превышает 3–4, что обусловлено сильной зависимостью добротности катушек индуктивности от частоты и физической реализуемостью ДКПЕ с большим перекрытием по ёмкости.

При настройке перестраиваемого фильтра на верхнюю частоту диапазона $f_{\max}$ ёмкость ДКПЕ минимальна и её величина $C_{\min}$ ограничена значениями паразитной монтажной ёмкости C_M и суммарной ёмкости электронных ключей, когда они разомкнуты, C_K .

$$C_{\min} = C_M + \sum_1^n C_K.$$

Максимальная ёмкость дискретного конденсатора ограничивается допустимой добротностью этой ёмкости Q_c при подключении к ней электронного ключа, сопротивление потерь которого в открытом состоянии равно r_K :

$$Q_c = \frac{1}{\omega \times C_{\max} \times r_K}.$$

Коэффициент перекрытия диапазона рабочих частот определяется отношением:

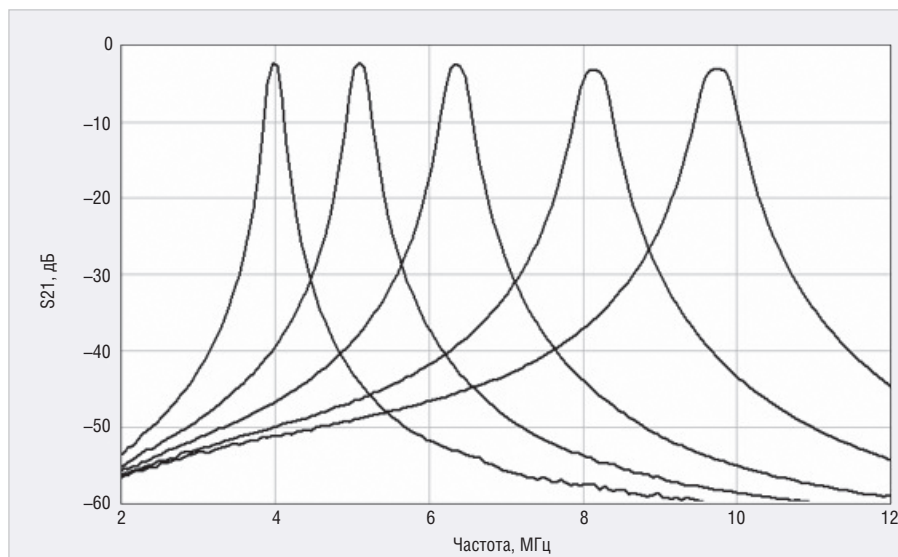


Рис. 4. Измеренная АЧХ ППФ на диапазон частот 3...10 МГц

$$K = \frac{f_{\max}}{f_{\min}} = \left(\frac{C_{\max}}{C_{\min}} \right)^2.$$

Исходя из этого, можно определить максимальную ёмкость конденсатора $C_{\max}$ фильтра с частотой настройки, соответствующей нижней границе диапазона, и ёмкость C_1 , соответствующую средней частоте диапазона перестройки. Число разрядов M определяется по формуле:

$$M = \frac{\lg \left(1 + \frac{C_{\max}}{\Delta C} \right)}{\lg 2},$$

где ΔC – ёмкость первого разряда, определяющая шаг перестройки.

На основе полосового фильтра четного класса по затуханию с индуктивной связью (см. рис. 2 внизу) с использованием 10-разрядного ДКПЕ и приведённых выше расчётов были разработаны и изготовлены ППФ на КВ-диапазон с коэффициентом перестройки по частоте 3...3,5. Общий вид одного из таких фильтров на диапазон частот 3...10 МГц показан на рисунке 3, а его измеренная АЧХ – на рисунке 4. При относительной ширине полосы пропускания порядка

4%, вносимые потери фильтра составили 4...5 дБ (при добротности катушек индуктивности 120), а относительное затухание в полосе задерживания при отстройке $\pm 10\%$ составили 25 дБ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ясинский И.М. Перестраиваемые полосовые фильтры. – Омск: Техника радиосвязи. Вып. 2 (22). 2014. С. 52–60.
2. Аржанов В.А., Ясинский И.М. Электрические фильтры и линии задержки. – Омск, 2000. 370 с.
3. Матей Г.Л., Янг Л., Джонс Е.М.Т. Фильтры СВЧ, согласующие цепи и цепи связи. Т.1 Пер. с англ. под ред. Алексеева Л.В. и Кушнира Ф.В. – М., 1971. 439 с.
4. Знаменский А.Е., Попов Е.С. Перестраиваемые электрические фильтры. – М.: Связь, 1979. 128 с.
5. Ханзел Г. Справочник по расчёту фильтров. Перев. с англ. под ред. Знаменского А.Е. – М., 1974. 288 с.
6. Zverev A.I. Handbook of Filter Synthesis. 1967. 600 p.
7. Randall W. Rhea. HF filter design and computer simulation. 1994. 447 p.



НОВОСТИ МИРА

RENESAS ELECTRONICS И IDT ТЕПЕРЬ ОДНА КОМПАНИЯ

Renesas Electronic завершил поглощение американского производителя аналоговых и смешанных аналого-цифровых продуктов – компании IDT.

Компания Integrated Device Technology была основана в 1980 году в США и на данный момент занимает лидирующие позиции в области разработки и производства высокочастотных решений, систем синхрониза-

ции и высокоточного тактирования, микросхем для построения блоков оперативной памяти, систем для оптической передачи данных, а также решений для беспроводной передачи энергии и различного рода интеллектуальных датчиков.

В марте 2019 года IDT стала частью Renesas Electronics. Сочетание продуктов IDT с MCU/MPU и системами по управлению питанием Renesas позволяют реализовать комплексный подход в разработке электро-

ники и предлагать более широкий спектр решений в различных отраслях производства.

Порфолио IDT составляют: Clocks & Timing, Memory & Logic, Interface & Connectivity, Power Management, RF Products, Sensor Products, Wireless Power и Renesas&IDT winning combination.

MT-Системс, являясь официальным дистрибьютором Renesas, осуществляет поставки всего спектра продукции IDT.

Новостная рассылка MT-System