РАЗДЕЛ X. РАДИОТЕХНИКА

Баталова Е.А.¹, Губарев Д.Е.², Зикий А.Н.¹

QER-фильтр

¹Южный Федеральный Университет

²АО «Таганрогский научно-исследовательский институт связи»
(Россия, Таганрог)

doi:10.18411/sciencepublic-12-05-2020-16

idsp: sciencepublic-12-05-2020-16

Аннотация

Проведено моделирование и экспериментальное исследование QER-фильтра на 8 кварцевых резонаторах. Показано достижение следующих параметров:

- центральная частота 11,059 МГц;
- ширина полосы пропускания на уровне минус 5 дБ от максимума $3,75 \pm 1,25$ кГц;
- потери в полосе пропускания на нагрузке 700 Ом не более 6 дБ;
- потери в полосе заграждения при отстройке от центральной частоты ± 10 кГц не менее 70 дБ.

Преимущество данного типа фильтра – одинаковые кварцевые резонаторы (без отбора), одинаковые конденсаторы, малая неравномерность амплитудно-частотной характеристики.

Ключевые слова: кварцевый фильтр; моделирование; эксперимент; амплитудно-частотная характеристика; неравномерность АЧХ, QER-Quasi-Equiripple.

Схема QER-фильтра известна около 40 лет [1], однако она не нашла должного отражения в научной и учебной литературе.

QER-фильтр имеет некоторые преимущества по сравнению с традиционной схемой цепочечного фильтра Кона, а именно [2-10]:

- меньше неравномерность АЧХ в полосе пропускания фильтра;
- все конденсаторы имеют одинаковую ёмкость.

Целью работы является получение амплитудно-частотных характеристик фильтра на модели и макете.

К фильтру предъявляются следующие требования:

- центральная частота 11,059 МГц;
- ширина полосы пропускания на уровне минус 5 дБ от максимума $3,75 \pm 1,25$ кГц;
- потери в полосе пропускания на нагрузке 700 Ом не более 6 дБ;
- потери в полосе заграждения при отстройке от центральной частоты ± 10 кГц не менее 70 дБ;
- число резонаторов 8.

Схема и конструкция

На рисунке 1 приведена схема QER-фильтра. На рисунке 2 помещено фото макета фильтра. Из рисунка 2 видно, что применено 8 резонаторов на частоту 11,0592 МГц, пять трубчатых конденсаторов. Для подключения фильтра в измерительный тракт он содержит два гнезда типа SMA. Фильтр собран на универсальной печатной плате размером $30 \times 70 \times 1$ мм.

Рисунок 1 – Принципиальная схема QER-фильтра

Рисунок 2 – Фото QER-фильтра

Моделирование

Моделирование фильтра проводилось в пакете прикладных программ Microwave Office [11]. Модель фильтра из MWO показана на рисунке 3. Все пять ёмкостей в фильтре одинаковые и равны 30 пФ. Это значение было получено при моделировании путём минимизации потерь и неравномерности АЧХ в полосе пропускания фильтра.

На рисунке 4 изображена АЧХ фильтра в полосе анализа 20 кГц. Рисунок 5 позволяет видеть АЧХ фильтра в полосе 100 кГц.

Рисунок 3 – Модель QER-фильтра в программе Microwave Office

Рисунок 4 – АЧХ QER-фильтра в полосе 20 кГц

Рисунок 5 – АЧХ QER-фильтра в полосе 100 кГц

Эксперимент

Эксперимент проводился на установке, содержащей векторный анализатор цепей «Обзор-103», ноутбук, набор кабелей и переходов. Для согласования выхода фильтра с 50-омным детектором в состав фильтра включён резистор с номинальным сопротивлением 680 Ом. На рисунке 6 показана амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) фильтра в полосе 40 кГц. На рисунке 7 можно видеть АЧХ фильтра в полосе 100 кГц. Рисунки 6 и 7 позволяют сформулировать количественные выводы.

При создании фильтра использованы резонаторы из одной партии. Подбор резонаторов не применялся.

Рисунок 6 – АЧХ фильтра МГц в полосе 40 кГц

Рисунок 7 – АЧХ фильтра 11 МГц в полосе 100 кГц

Выводы

Ниже в таблицу 1 сведены заданные и достигнутые параметры фильтра при моделировании и эксперименте.

Таблица 1.

Основные параметры фильтра

Наименование параметра, размерность	Задано	Моделирование	Эксперимент
Центральная частота, МГц	11,059	11,0605	11,058
Ширина полосы пропускания на уровне минус 5 дБ от максимума, кГц	3,75±1,25	2,5	5
Потери в полосе пропускания на нагрузке 700 Ом	6	6	-
Потери в полосе пропускания с резистором 680 Ом, дБ	20	-	20
Потери в полосе заграждения при отстройке от центральной частоты ±10 кГц, дБ	70	>80	>70
Потери в полосе заграждения при отстройке от центральной частоты ±100 кГц, дБ	80	>100	83
Характеристическое сопротивление, Ом	700	700	700
Число резонаторов	8	8	8

Из этой таблицы видно, что фильтр удовлетворяет заданным параметрам.

1. Personal amateur radio site. Кварцевый SSB QER фильтр. 16.02.2020.
2. Ред, Э. Справочное пособие по высокочастотной схемотехнике
3. [Текст] – М.: Мир, 1990. – 256 с.: ил. – ISBN 5-03-001098-X.
4. Мостяев, В.А. Российская пьезо-акусто-электроника : история развития и современное состояние [Текст] / В.А. Мостяев, П.Г. Поздняков; под ред. Акад. Ю.В. Гуляева. – М.: Радиотехника, 2008. – 322 с.: ил. – Библиогр.: с. 316-320, - 300 экз. – ISBN 978-5-88070-185-8
5. Дмитриев, В.В. Интегральные пьезоэлектрические устройства фильтрации и обработки сигналов [Текст] : справочное пособие / В. В. Дмитриев, В. Б. Акпамбетов, Е. Г. Бронникова; под ред. Б. Ф. Высоцкого, В. В. Дмитриева. – М.: Радио и связь, 1985. – 176 с.
6. Кандыба, П.Е. Пьезоэлектрические резонаторы [Текст] : справочное пособие; под ред. П.Е. Кандыбы, П.Г. Позднякова. – М.: Радио и связь, 1992. – 392 с. – ISBN 5-256-00634-7
7. Ладик, Л.И. Изделия электронной техники. Пьезоэлектрические и электромеханические приборы [Текст] : справочник / А. И. Ладик, А. И. Сташкевич. – М.: Радио и связь, 1993. – 104 с. – ISBN 5-256-01145-6
8. Кварцевые генераторы, фильтры, резонаторы, кристаллические элементы [Текст] – СПб.: ОАО «Морион», 2001. -72 с. : ил.
9. Великин, Я. И. Пьезоэлектрические фильтры [Текст] : научное издание / Я. И. Великин, З. Я. Гельмонт, Э. В. Зелях. – М.: Связь, 1966. -395 с. : ил.
10. Кантор, В. М. Монолитные пьезоэлектрические фильтры [Текст] – М.: Связь, 1977. – 151 с. : ил.;
11. Михайлов, В. А. Научно-исследовательский институт “Вектор”-старейшее радиотехническое предприятие России 1908-2008 [Текст] / В. А. Михайлов, В. Б. Гончаров. – 2-е изд., испр. и доп. – СПб. : Бранко, 2008. -235 с.: ил. – ISBN 978-5-903521-05-0
12. Разевиг В. Д., Потапов Ю.В., Курушин А.А. Проектирование СВЧ устройств с помощью Microwave Office. – Москва, Солон-Пресс, 2003. -496 с.