

УДК 621.372.543

М.Е. Ильченко, А.П. Живков

Национальный технический университет Украины “КПИ”, Киев, Украина

ОБОБЩЕННЫЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ И ПРОЕКТИРОВАНИЮ ПОЛОСОВЫХ ФИЛЬТРОВ СВЧ НА ВЗАИМНО РАССТРОЕННЫХ РЕЗОНАТОРАХ

Background. Microwave bandpass mutually detuned resonator filters in the parallel channels are fundamentally different from traditional filters cascaded resonator tuned to the same frequency – the connection between the resonators in them is essentially absent because of both the parallel mutual position relative to the direction of propagation, and the mutual detuning frequency. Therefore, the traditional methods of analysis and design using the ladder diagrams of low-frequency counterparts cannot be applied.

Objective. Creating models of microwave bandpass mutually detuned resonator filters in the parallel channels based on the low-frequency counterparts.

Methods. Analysis of all known publications devoted to the microwave bandpass mutually detuned resonator filters in parallel channels allowed to reveal inherent patterns (types of oscillations in parallel channels, the location of the poles of attenuation above or below the bandwidth), manifested regardless of the types of resonators.

Results. The analogy between the characteristics of the microwave bandpass mutually detuned resonator filters in parallel channels and low frequency of prototypes based on bridging bandpass filters is established.

Conclusions. To simulate microwave bandpass mutually detuned resonator filters in parallel channels, low-frequency prototypes based on bridging bandpass filters can be used, design techniques of which are well specified.

Keywords: bandpass filters; microwave.

Вступление

В устройствах сверхвысоких частот (СВЧ) широко и повсеместно применяются не только традиционные фильтры на связанных резонаторах различного типа (микророскопических, волноводных, диэлектрических, гиромангнитных и т.д.), но и фильтры с дополнительными параллельными связями между несоседними резонаторами [1]. Широко используются двухмодовые резонаторы различного типа (объемные, диэлектрические, микророскопические и т.д.), в которых возбуждаются ортогональные вырожденные колебания. Такие устройства относятся к классу так называемых фильтров с эллиптическими характеристиками. Их особенностью является настройка резонаторов на одинаковые (вырожденные) частоты, вырождение снимается при организации связи между ними. Для повышения избирательности на частотах, близких к полосе пропускания, применяются также комбинации каскадно включенных полосовых и режекторных фильтров, резонансные частоты которых незначительно отличаются.

В предлагаемой работе рассматривается новый класс СВЧ-фильтров, в котором резонаторы (или разные типы колебаний одного и того же резонатора) расположены не каскадно, а параллельно по отношению к прохождению сигнала, резонаторы возбуждаются на разных типах колебаний, не связаны между со-

бой и имеют принципиально разные резонансные частоты. Авторами опубликовано несколько работ [2–9] и получено 4 авторских свидетельства [10–13] на фильтры подобного рода. Цель данной публикации – не только представить уникальные возможности рассматриваемых фильтров и подходы к их проектированию, но и возобновить интерес к подобным конструкциям, которые, впрочем, по-прежнему исследуются и модернизируются научными сотрудниками НТУУ “КПИ” [14]. Тщательный анализ публикаций на эту тему, проведенный как авторами, так и их коллегами, к сожалению, не позволил выявить другие работы.

Постановка задачи

Полосовые фильтры СВЧ рассматриваемого типа могут быть реализованы на различного типа резонаторах – диэлектрических [3], волноводно-щелевых [4, 5], микророскопических [12] и др. Задача состоит в том, чтобы разработать единые подходы к их проектированию как на основе методик, ранее использовавшихся авторами для полосовых СВЧ фильтров, так и на основе низкочастотных прототипов.

Фильтры на диэлектрических резонаторах

Анализ обобщенного восьмиполосника. В статье [3] рассмотрен 8-полосник (рис. 1), об-

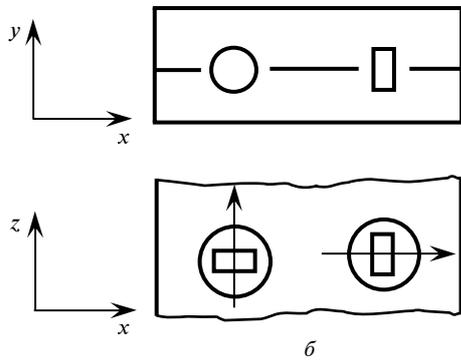


Рис. 1. 8-полюсник, образованный двумя соединенными по широкой стенке прямоугольными волноводами. В отверстиях, выполненных в стенке между волноводами, расположены диэлектрические резонаторы: *a* – вид с торца; *б* – вид сверху

разованный двумя связанными линиями передачи (например, волноводами), в которых может распространяться волна с эллиптической поляризацией. Волноводы связаны по широкой стенке, в отверстиях между ними в сечении, перпендикулярном распространению электромагнитной волны, расположены диэлектрические резонаторы (ДР), один из которых возбуждается поперечной составляющей магнитного поля h_x , второй – продольной составляющей h_z . Комплексные амплитуды полей, переизлучаемых резонаторами в двух волноводах в различных направлениях, рассчитываются исходя из соотношения

$$C_i^{\pm} = j\omega m h_i^{\pm} / 2, \quad (1)$$

где m – магнитный момент, обусловленный возбуждением соответствующего ДР, ω – круговая частота СВЧ поля. В [3] показано, что

$$C_1^+ = K_{x1} / (1 + K_{x1} + K_{x2}) + K_{z1} / (1 + K_{z1} - K_{z2}); \quad (2)$$

$$C_1^- = K_{z1} / (1 + K_{z1} + K_{z2}) - K_{x1} / (1 + K_{x1} + K_{x2}); \quad (3)$$

$$C_2^+ = \sqrt{[K_{x1} K_{x2}] / (1 + K_{x1} + K_{x2})} + \sqrt{[K_{z1} K_{z2}] / (1 + K_{z1} + K_{z2})}; \quad (4)$$

$$C_2^- = \sqrt{[K_{z1} K_{z2}] / (1 + K_{z1} + K_{z2})} - \sqrt{[K_{x1} K_{x2}] / (1 + K_{x1} + K_{x2})}, \quad (5)$$

где $K_{qi} = j\omega M_q h_{qi}^{\pm} h_{qi}^{\mp} / 2$, M_q – параметр, определяемый типом колебаний ДР. Зная ком-

плексные амплитуды полей излучения резонаторов (2)–(4), определяем коэффициенты прохождения и отражения в виде

$$T_{12} = 1 + C_1^+; T_{13} = C_2^+; T_{14} = C_2^-; \Gamma_{11} = C_1^-. \quad (6)$$

Рассматриваемый восьмиполюсник является взаимным, поэтому коэффициенты прохождения и отражения при подключении генератора к другим плечам определяются выражениями, аналогичными (6).

Полосовой фильтр. Конструкция (рис. 2) может быть получена из рассматриваемого четырехполюсника путем закорачивания 2 и 3-го входов и расположения входов 1 и 4 на одной оси. Используется диэлектрический резонатор, возбуждаемый одновременно на двух независимых типах колебаний H_{11} и E_{11} – соответственно “магнитный” и “электрический” типы колебаний.

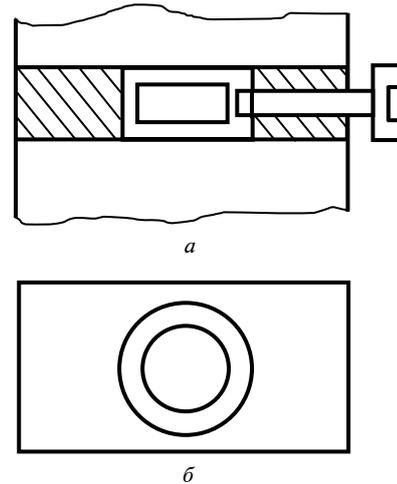


Рис. 2. Диэлектрический резонатор в запердельной диафрагме: *a* – вид сверху; *б* – вид с торца

Конструктивно фильтр представляет собой отрезок запердельного волновода между двумя регулярными волноводами, посреди запердельного волновода расположен цилиндрический диэлектрический резонатор. Если соотношение между высотой цилиндра и его диаметром близко к 0,4, то возбуждаемые в нем колебания упомянутых выше типов близки по частоте и при этом ортогональны. Изображенный на рисунке винт служит, однако, не для организации связи между возбуждаемыми колебаниями, а для подстройки их резонансных частот, или, что то же самое, регулирования частотной расстройки между колебаниями. Применяя рассмотренную выше методику анализа, получим следующие выражения для коэффициентов пе-

редачи T и отражения Γ фильтра (в предположении, что резонатор расположен посреди за-предельного волновода и одинаково связан со входом и выходом фильтра):

$$T = C_1^+; \Gamma = 1 + C_1^-;$$

$$T = K_2(1 + K_2) - K_1/(1 + K_1); \quad (7)$$

$$\Gamma = 1 - K_1/(1 + K_1) - K_2/(1 + K_2), \quad (8)$$

где K_1, K_2 – соответственно коэффициенты связи “магнитного” и “электрического” типа колебаний с линиями передачи (в данном случае – регулярными волноводами).

На практике используются, как правило, полосовые фильтры с симметричными относительно центральной частоты амплитудно-частотными характеристиками ($K_1 = K_2 = K$). Как отмечалось выше, резонансные частоты колебаний не совпадают, тогда зависимость коэффициентов передачи и отражения от частоты можно представить в виде

$$T = j2Ka / [(1 + K + j\xi)^2 + a^2]; \quad (9)$$

$$\Gamma = [(1 + j\xi)^2 - K^2 + a^2] / [(1 + K + j\xi)^2 + a^2], \quad (10)$$

где ξ – обобщенная текущая расстройка частоты относительно f_0 – центральной частоты фильтра, a – обобщенная расстройка частот “магнитного” f_m и “электрического” f_s колебаний относительно f_0 , $f_0 = (f_m + f_s)/2$.

Следует отметить, что полученные в терминах коэффициентов связи об обобщенных расстройках выражения (9) и (10) справедливы не только для диэлектрических резонаторов (и возбуждаемых в них различных типов колебаний). Они пригодны для анализа различных типов резонаторов (и их колебаний) – микрополосковых, волноводно-щелевых и т.п., что будет продемонстрировано ниже на примере реальных конструкций фильтров.

Анализ выражений коэффициентов передачи и отражения двухрезонаторного фильтра на взаимно расстроенных резонаторах (колебаниях) показал, что они полностью аналогичны подобным выражениям для традиционных двухрезонаторных фильтров на каскадно включенных, связанных между собою резонаторах. Роль обобщенного коэффициента связи между резонаторами (применяемого при анализе каскад-

ного включения связанных резонаторов) играет относительная расстройка a между их резонансными частотами.

Отсюда вытекает одно из существеннейших отличий и преимуществ фильтров на взаимно расстроенных резонаторах (колебаниях) – возможность управления полосой пропускания фильтра изменением не связи между резонаторами, а их резонансных частот. На рис. 3 представлен микрополосковый фильтр [12], в котором резонансная частота одного из резонаторов изменяется при изменении управляющего напряжения, подаваемого на подключенные к нему варикапы.

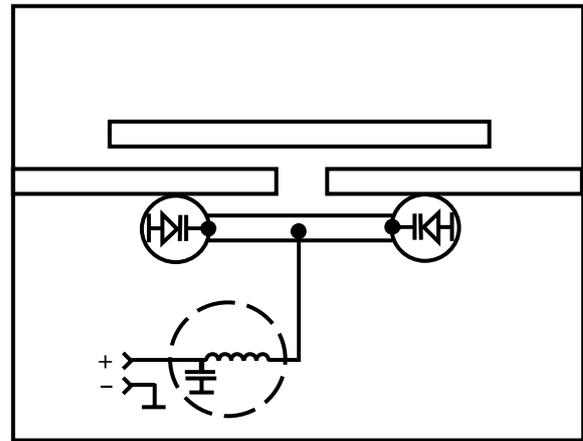


Рис. 3. Двухрезонаторный микрополосковый фильтр с изменяемой полосой пропускания

Полосой пропускания фильтра рис. 2, использующего два независимых колебания диэлектрического резонатора, можно управлять с помощью настроечного винта, изображенного на рисунке.

Несмотря на то, что коэффициенты передачи и отражения фильтров на связанных колебаниях и колебаниях, взаимно расстроенных по частоте (для двухрезонаторных фильтров это выражения (9) и (10), однако можно показать, что и для n -резонаторных фильтров коэффициенты передачи и отражения также будут аналогичны), одинаковы, низкочастотные прототипы этих фильтров различны. Для фильтров на связанных резонаторах в качестве прототипов используются лестничные схемы [15–17], а для фильтров на взаимно расстроенных резонаторах (колебаниях) такие прототипы не совсем корректны – они не отображают всех особенностей подобных фильтров.

Поэтому авторы данной статьи предлагают в качестве низкочастотных прототипов исполь-

зовать так называемые мостиковые схемы замещения (рис. 4) [15, 16]. Причины тому следующие:

- как в мостиковых фильтрах-прототипах, так и в фильтрах на взаимно расстроенных резонаторах передача энергии осуществляется по двум независимым каналам;
- резонаторы в мостиковых фильтрах-прототипах (для полосовых фильтров) также расстроены по частоте, иначе сигналы в нагрузке “вычтутся”, компенсируют друг друга, то есть никакой передачи сигнала с входа на выход не будет;
- при определенном соотношении реактивностей в плечах фильтров (как и при правильном выборе порядка чередования (следования) “магнитных” и “электрических” колебаний в фильтрах с взаимно расстроенными резонаторами) возможна реализация “полюсов затухания” (рис. 5), в противном случае “полюсов затухания” не будет.

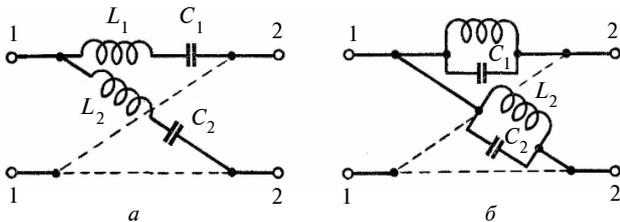


Рис. 4. Эквивалентные схемы мостиковых полосовых фильтров: а – последовательные колебательные контуры; б – параллельные колебательные контуры

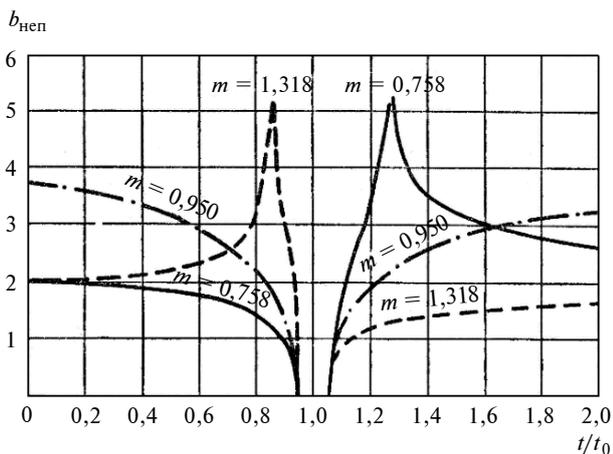


Рис. 5. Характеристики затухания полосовых фильтров рис. 4

Сказанное свидетельствует о глубокой аналогии между мостиковыми фильтрами и фильтрами СВЧ на взаимно расстроенных резонаторах.

Рассматриваемые фильтры на колебаниях, возбуждаемых в параллельных каналах, расстроенных по частоте и не связанных между собой, могут быть построены на самых разных типах СВЧ-резонаторов – микрополосковых, диэлектрических, волноводно-щелевых.

Фильтр на диэлектрических резонаторах (рис. 6) состоит из прямоугольного регулярного волновода 1, стенки запердельного волновода 2, участков запердельного волновода 3 и диэлектрических резонаторов 4 и 5. Резонатор 4 имеет большие размеры и возбуждается на “электрическом” типе колебаний H_{11}^{δ} , а резонатор 5 – на “магнитном” типе H_{01}^{δ} . В этом фильтре основная (низшая) резонансная частота резонатора 4 совпадает с паразитной (второй) резонансной частотой резонатора 5 (частный случай нулевой расстройки). Как следует из (9), а также из эквивалентных схем (см. рис. 4) мостиковых полосовых фильтров, при одинаковых амплитудах колебаний, возбуждаемых каждым из резонаторов, они взаимно “гасятся” на нагрузке. При этом повышается избирательность фильтра, работающего на частоте колебаний H_{11}^{δ} резонатора 4.

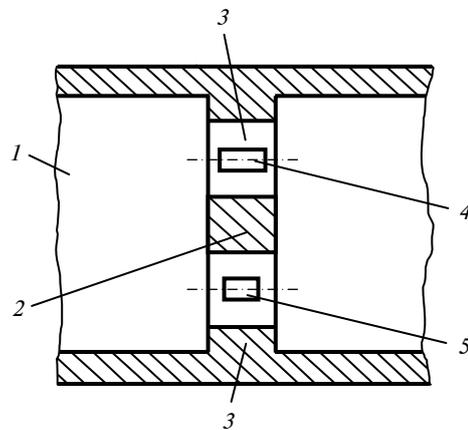


Рис. 6. Диэлектрические резонаторы в параллельно расположенных запердельных диафрагмах

Волноводно-щелевой фильтр (рис. 7) работает практически аналогично фильтру рис. 2 (его также можно “моделировать” мостиковыми фильтрами), с той лишь разницей, что в меньшем резонаторе 3 возбуждается колебание, соответствующее половине длины волны (длина щели), а в резонаторе 4 – колебание, соответствующее длине волны (колебание резонатора 5 должно быть чуть более высокочастотным, чтобы между резонаторами была ненулевая расстройка a (формула (9)).

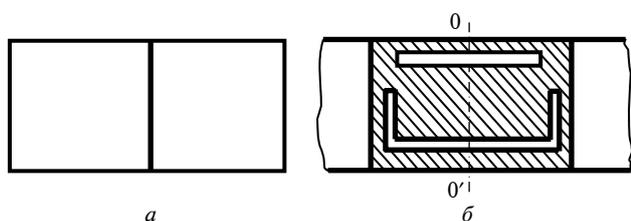


Рис. 7. Волноводно-щелевой фильтр с параллельным включением резонаторов: *a* – вид с торца; *б* – вид сбоку

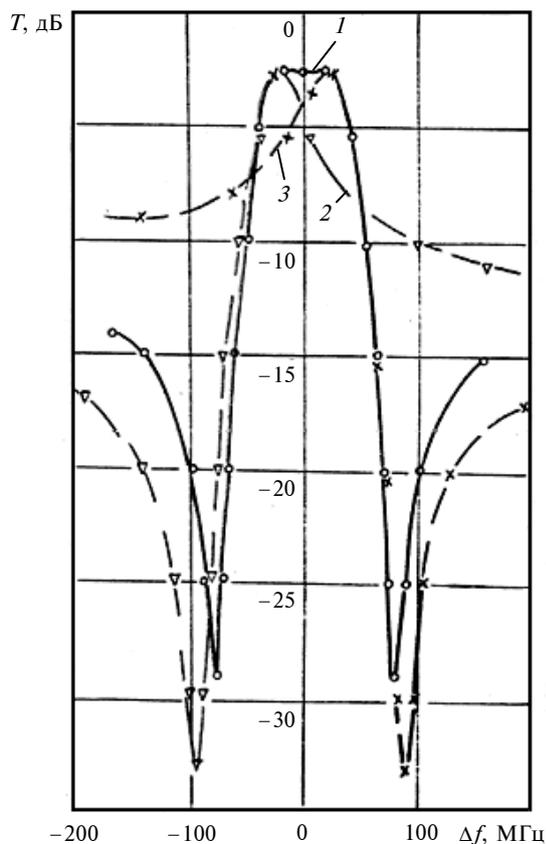


Рис. 8. Амплитудно-частотная характеристика двухканального фильтра на взаимно расстроенных колебаниях

На рис. 8 представлена амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) двухканального фильтра на расстроенных колебаниях (сплошная линия 1, она практически аналогична для фильтров на микрополосковых, диэлектрических и волноводно-щелевых резонаторах при правильном выборе порядка следования частот). Пунктирными линиями 2 и 3 обозначены колебания каждого из резонаторов в отдельности, видно, как они “формируют” суммарную характеристику. Наличие полюсов затухания в таком фильтре связано с нерезонансным прохождением энергии через запредельный волно-

вод и описано в работах [2, 3]. Интересно отметить, что характеристики мостиковых фильтров также могут иметь полюса затухания (рис. 9) при определенном соотношении реактивностей плеч [15].

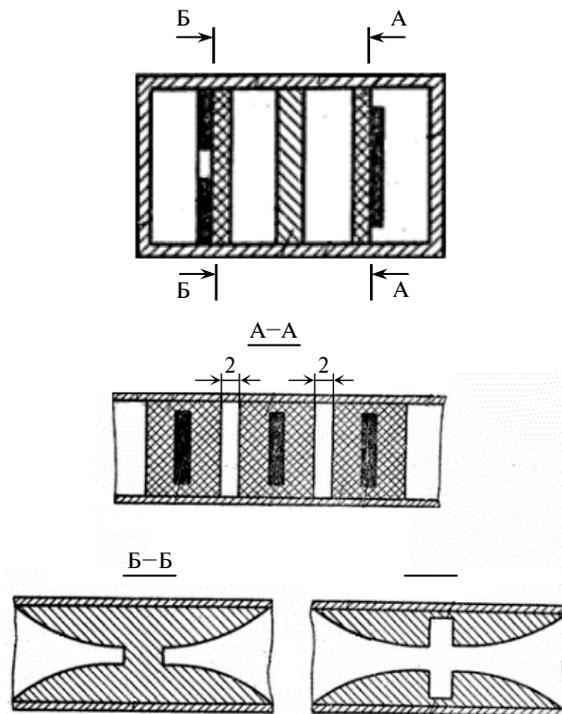


Рис. 9. Конструкции фильтров с волноводно-щелевыми резонаторами в параллельных каналах

Также, как в мостиковых фильтрах, плечи (каналы прохождения энергии) могут содержать не только отдельные резонаторы, но и многорезонаторные фильтры. Такого рода фильтры (рис. 9) на волноводно-щелевых резонаторах рассмотрены в [13], а их проектирование может быть построено на основе методик низкочастотных мостиковых прототипов [15].

Важно отметить следующее: приемлемая форма АЧХ фильтра с малыми пульсациями в полосе пропускания и крутыми склонами за ее пределами реализуется только в случае чередования по частоте “магнитных” и “электрических” (синфазных и противофазных в терминологии [9]) колебаний. Если это чередование нарушается, то взаимодействуют “склоны” расстроенных по частоте колебаний одного типа, что приводит к недопустимым искажениям АЧХ в полосе пропускания фильтра (достаточно глубокие провалы с большой крутизной скатов).

Выводы

Рассмотренные в работе полосовые фильтры на взаимно расстроенных резонаторах (колебаниях) обладают целым рядом конструктивно-технологических преимуществ, обуславливающих перспективность их применения в устройствах СВЧ. Установленная и впервые опубликованная авторами в этой статье аналогия между такими фильтрами и низкочастотными мостиковыми прототипами позволяет

воспользоваться удобными и хорошо проработанными методиками анализа и проектирования мостиковых фильтров. Представление расположенных параллельно по отношению к прохождению электромагнитной волны резонаторов как “электрического” и “магнитного” диполей (излучателей) позволяет распространить предлагаемую методику анализа и проектирования фильтров на частоты вплоть до оптических.

Список літератури

1. Бергер М.Н. Фильтры СВЧ с дополнительными параллельными связями // Зарубежная радиоэлектроника. – 1985. – № 5. – С. 34–51.
2. Ильченко М.Е., Живков А.П. Полоса затухания в полосовых фильтрах на диэлектрических резонаторах // Изв. высш. учеб. заведений. Радиоэлектроника. – 1987. – 30, № 10. – С. 41–44.
3. Ильченко М.Е., Живков А.П. СВЧ устройства с использованием нескольких типов колебаний диэлектрических резонаторов // Изв. высш. учеб. заведений. Радиоэлектроника. – 1989. – 32, № 5. – С. 56–59.
4. Ильченко М.Е., Живков А.П., Шеламоу Г.Н. Фильтры СВЧ на взаимно расстроенных резонаторах в параллельных каналах // Изв. высш. учеб. заведений. Радиоэлектроника. – 1990. – 33, № 5. – С. 92–94.
5. Ильченко М.Е., Живков А.П. Полосовые фильтры на диэлектрических резонаторах // IV Нац. конф. по микроволновой технике с зарубежным участием “Митеко-87”. – ЧССР, Братислава, 1987. – 2. – С. 131–132.
6. Живков А.П., Пятчанин С.В., Молчанов В.И. Фильтры на диэлектрических резонаторах с частотно-перестраиваемыми характеристиками // Изв. высш. учеб. заведений. Радиоэлектроника. – 1990. – 33, № 5. – С. 77–79.
7. Ильченко М.Е., Живков А.П. Микроволновые фильтры повышенной избирательности на диэлектрических резонаторах // VIII Краевая микроволновая конф. “Микон-88”, 3–7 октября 1988. – ПНР, Гданьск, 1988. – С. 162–166.
8. Ильченко М.Е., Живков А.П., Старков М.А. Новые принципы построения фильтров с использованием нескольких типов колебаний диэлектрических резонаторов // Всесоюзная научно-техн. конф. “Проектирование радиоэлектронных устройств на диэлектрических волноводах и резонаторах”, 25–27 октября 1988 г., Тбилиси. – Тбилиси, 1988. – С. 20–23.
9. Ильченко М.Е., Живков А.П. Взаимодействие колебаний в фильтрах СВЧ // Всесоюзная научно-техн. конф. “Современные проблемы радиоэлектроники”, 21–23 ноября 1988 г., Москва. – М., 1988. – С. 219–220.
10. СВЧ-фильтр: А.с. 1569920 СССР, МКИ Н 01 Р1/207 / М.Е. Ильченко, А.П. Живков, О.Ф. Крылач. – Оpubл. 07.06.1990, Бюл. № 21.
11. СВЧ-фильтр: А.с. 1529322 СССР, МКИ Н 01 Р1/207 / М.Е. Ильченко, А.П. Живков, О.Ф. Крылач, Г.Н. Шеламоу. – Оpubл. 15.12.1989, Бюл. № 46.
12. Микрополосковый фильтр: А.с. 1518837 СССР, МКИ Н 01 Р1/203 / М.Е. Ильченко, А.П. Живков, А.Г. Витюк. – Оpubл. 30.10.1989, Бюл. № 40.
13. Сверхвысокочастотный фильтр: А.с. 1467614 СССР, МКИ Н 01 Р1/208 / А.П. Живков, В.В. Жук, А.М. Лерер, Г.Н. Шеламоу. – Оpubл. 23.03.1989, Бюл. № 11.
14. Працюк Б.Б., Прокопенко Ю.В., Поплавоу Ю.М. Метод компенсации расстройки перестраивающегося фильтра на диэлектрических резонаторах // Электроника и связь. Тем. вып. Электроника и нанотехнологии. – 2009. – Ч. 2. – С. 19–22.
15. Босый Н.Д. Электрические фильтры. – К.: Гос. изд-во техн. лит-ры УССР, 1959.
16. Современная теория фильтров и их проектирование / Под. ред. Т. Темеша и С. Митра. – М.: Мир, 1977. – 560 с.
17. Ильченко М.Е. Характеристики твердотельных многорезонаторных полосовых фильтров // Электронная техника. Сер. Электроника СВЧ. – 1984. – Вып. 4. – С. 20–26.

References

1. M.N. Berger, “Microwave filters with additional parallel connections”, *Zarubezhnaja Radioelektronika*, no. 5, pp. 34–51, 1985 (in Russian).

2. M.E. Ilchenko and A.P. Zhivkov, "Stop-band of dielectric resonator bandpass filters", *Izvestija Vysshih Uchebnyh Zavedenij. Radioelektronika*, vol. 30, no. 10, pp. 41–44, 1987 (in Russian).
3. M.E. Ilchenko and A.P. Zhivkov, "Microwave devices with multiple types of vibrations of dielectric resonators", *Izvestija Vysshih Uchebnyh Zavedenij. Radioelektronika*, vol. 32, no. 5, pp. 56–59, 1989 (in Russian).
4. M.E. Ilchenko *et al.*, "Mutually detuned resonator microwave filters in the parallel channels", *Izvestija Vysshih Uchebnyh Zavedenij. Radioelektronika*, vol. 33, no. 5, pp. 92–94, 1990 (in Russian).
5. M.E. Ilchenko and A.P. Zhivkov, "Dielectric resonator bandpass filters", in *Proc. Miteko-87*, Bratislava, 1987, vol. 2, pp. 131–132 (in Russian).
6. A.P. Zhivkov *et al.*, "Dielectric resonator filters with frequency-tunable characteristics", *Izvestija Vysshih Uchebnyh Zavedenij. Radioelektronika*, vol. 33, no. 5, pp. 77–79, 1990 (in Russian).
7. M.E. Ilchenko and A.P. Zhivkov, "Dielectric resonator microwave filters of increased selectivity", in *Proc. Mikon-88*, Gdańsk, 1988, pp. 162–166 (in Russian).
8. M.E. Ilchenko *et al.*, "New principles for filters design using multiple types of dielectric resonator vibrations", in *Proc. Dielectric Waveguide and Resonator Radioelectronic Devices Design*, Tbilisi, 1988, pp. 20–23 (in Russian).
9. M.E. Ilchenko and A.P. Zhivkov, "Interaction of oscillations in the microwave filters", in *Proc. Current Problems of Radio Electronics*, Moscow, 1988, pp. 219–220 (in Russian).
10. M.E. Ilchenko *et al.*, "Microwave filter", USSR Inventor's Certificate 1569920, June 7, 1990 (in Russian).
11. M.E. Ilchenko *et al.*, "Microwave filter", USSR Inventor's Certificate 1529322, Dec. 15, 1989 (in Russian).
12. M.E. Ilchenko *et al.*, "Microstrip filter", USSR Inventor's Certificate 1518837, Oct. 30, 1989 (in Russian).
13. A.P. Zhivkov *et al.*, "Super high frequency filter", USSR Inventor's Certificate 1467614, March 23, 1989 (in Russian).
14. B.B. Pracjuk *et al.*, "Differential method of detuning of renovating dielectric resonator filter", *Jelektronika i Svjaz'. Tem. Vyp. Jelektronika i Nanotehnologii*, part 2, pp. 19–22, 2009 (in Russian).
15. N.D. Bosyj, *Electric Filters*. Kyiv, USSR: Gos. Izd-vo Tehn. Lit-ry USSR, 1959 (in Russian).
16. *The Modern Theory of Filters and Their Design*, T. Temesh and S. Mitr, Eds. Moscow, USSR: Mir, 1977, 560 p. (in Russian).
17. M.E. Ilchenko, "Features of solid-state multiresonator bandpass filters", *Jelektronnaja Tehnika. Ser. Jelektronika SVCh*, is. 4, pp. 20–26, 1984 (in Russian).

М.Е. Ильченко, О.П. Живков

УЗАГАЛЬНЕНИЙ ПІДХІД ДО АНАЛІЗУ І ПРОЕКТУВАННЯ СМУГОВИХ ФІЛЬТРІВ НВЧ НА ВЗАЄМНО РОЗСТРОЄНИХ РЕЗОНАТОРАХ

Проблематика. Смугові фільтри НВЧ на взаємно розстроєних резонаторах у паралельних каналах принципово відрізняються від традиційних фільтрів на каскадно включених резонаторах, настроєних на одну частоту: зв'язок між резонаторами в них принципово відсутній унаслідок як паралельного взаємного розміщення відносно напрямку поширення сигналу, так і взаємного розладу за частотою. Тому до них не можна застосувати традиційні методи аналізу і проектування за допомогою схожих схем низькочастотних прототипів.

Мета досліджень. Створення моделей смугових фільтрів НВЧ на взаємно розстроєних резонаторах у паралельних каналах на базі низькочастотних прототипів.

Методика реалізації. Аналіз усіх відомих публікацій, присвячених смуговим фільтрам СВЧ на взаємно розстроєних резонаторах у паралельних каналах, дав змогу виявити властиві їм закономірності (типи коливань у паралельних каналах, розміщення полюсів загасання вище або нижче смуги пропускання), які проявляються незалежно від використовуваних типів резонаторів.

Результати досліджень. Встановлено аналогію між характеристиками смугових фільтрів НВЧ на взаємно розстроєних резонаторах у паралельних каналах і низькочастотних прототипів на основі місткових смугових фільтрів.

Висновки. Для моделювання смугових фільтрів НВЧ на взаємно розстроєних резонаторах у паралельних каналах можуть бути використані низькочастотні прототипи на основі місткових смугових фільтрів, методики проектування яких добре опрацьовані.

Ключові слова: смугові фільтри; НВЧ.

М.Е. Ильченко, А.П. Живков

ОБОБЩЕННЫЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ И ПРОЕКТИРОВАНИЮ ПОЛОСОВЫХ ФИЛЬТРОВ СВЧ НА ВЗАИМНО РАССТРОЕННЫХ РЕЗОНАТОРАХ

Проблематика. Полосовые фильтры СВЧ на взаимно расстроенных резонаторах в параллельных каналах принципиально отличаются от традиционных фильтров на каскадно включенных резонаторах, настроенных на одну частоту: связь между резонаторами в них принципиально отсутствует как из-за параллельного взаимного расположения относительно направления распространения сигнала, так и из-за взаимной расстройки по частоте. Поэтому к ним неприменимы традиционные методы анализа и проектирования с помощью лестничных схем низкочастотных прототипов.

Цель исследований. Создание моделей полосовых фильтров СВЧ на взаимно расстроенных резонаторах в параллельных каналах на базе низкочастотных прототипов.

Методика реализации. Анализ всех известных публикаций, посвященных полосовым фильтрам СВЧ на взаимно расстроенных резонаторах в параллельных каналах, позволил выявить присущие им закономерности (типы колебаний в параллельных каналах, расположение полюсов затухания выше или ниже полосы пропускания), проявляющиеся независимо от используемых типов резонаторов.

Результаты исследований. Установлена аналогия между характеристиками полосовых фильтров СВЧ на взаимно расстроенных резонаторах в параллельных каналах и низкочастотных прототипов на основе мостиковых полосовых фильтров.

Выводы. Для моделирования полосовых фильтров СВЧ на взаимно расстроенных резонаторах в параллельных каналах могут быть использованы низкочастотные прототипы на основе мостиковых полосовых фильтров, методики проектирования которых хорошо проработаны.

Ключевые слова: полосовые фильтры; НВЧ.

Рекомендована Радою
Інституту телекомукаційних систем
НТУУ "КПІ"

Надійшла до редакції
29 липня 2015 року