

---

# РАДИОЭЛЕКТРОНИКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

## РАДИОЭЛЕКТРОНИКА ТА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

### RADIO ELECTRONICS AND TELECOMMUNICATIONS

---

УДК 621.372.852.001.11

Петрова Е. В.<sup>1</sup>, Фурманова Н. И.<sup>2</sup>, Фарафонов А. Ю.<sup>3</sup><sup>1</sup>Магистр Запорожского национального технического университета<sup>2</sup>Ассистент, аспирант Запорожского национального технического университета<sup>3</sup>Канд. техн. наук, доцент Запорожского национального технического университета

---

## РАЗРАБОТКА УПРОЩЕННОГО АЛГОРИТМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ МИКРОПОЛОСКОВЫХ ППФ НА ШПИЛЕЧНЫХ РЕЗОНАТОРАХ С ОТВЕРСТИЯМИ В ЭКРАНИРУЮЩЕМ СЛОЕ НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА В ПРОГРАММЕ ANSOFT HFSS

---

Проведен анализ микрополосковых полоснопропускающих фильтров (ППФ) на шпилечных резонаторах меандровой формы со щелью в экранирующем слое. Проведены расчеты геометрических параметров ППФ на шпилечных резонаторах на основе фильтров-прототипов нижних частот. Построена модель шпилечного ППФ с отверстиями в экранирующем слое и проведена ее оптимизация. В ходе исследования разработан упрощенный алгоритм проектирования конструкции данного типа фильтров.

**Ключевые слова:** полоснопропускающий фильтр, связанная линия, щель в экранирующем слое, шпилечные резонаторы, центральная частота.

Развитие систем радиолокации, радионавигации и телекоммуникаций требует создания сверхвысокочастотных (СВЧ) устройств в короткие сроки и с постоянным увеличением требований к их характеристикам. В данных устройствах часто используются традиционные фильтры на параллельных связанных микрополосковых линиях, которые имеют ряд недостатков. Данные фильтры имеют паразитную полосу пропускания на частоте  $2f_0$  и из-за больших габаритных размеров конструкции фильтра становится невозможным рациональное использование площади подложки. В случаях, когда имеются ограничения по размерам фильтра, целесообразнее использовать конструкцию фильтров на шпилечных резонаторах. Существует множество конструкций шпилечных фильтров.

Современными исследователями были предложены следующие конструкции фильтров, позволяющие получить желательные характеристики фильтра: повышенную селективность фильтра на шпилечных резонаторах с помощью введения дополнительной емкостной связи [1]; широкую полосу пропускания (до 1 ГГц) с помощью из-

менения угла наклона между плечами звеньев классического фильтра на шпилечных резонаторах на  $75^\circ$  [2]; миниатюризацию телекоммуникационных устройств приема-передачи и создание изоляции между соседними проводниками фильтров посредством использования многослойной конструкции микрополосковых шпилечных фильтров [3]; уменьшение габаритных размеров фильтра и увеличение ширины микрополосковых линий в конструкции микрополоскового узкополосного шпилечного фильтра с использованием заземления в виде сквозных отверстий [4]. В работе [5] приведено сравнение фильтров на основе шпилечных резонаторов с перекрестными связями в виде каскада из четырех элементов. Рассмотренные фильтры имеют одну или две щели в экранирующем слое с различными видами связей между звеньями шпильки. В работе [6] был исследован микрополосковый фильтр на шпилечных резонаторах, а в статье [7] предлагается конструкция микрополоскового фильтра на связанных линиях с отверстиями в экранирующем слое.

В данной работе предлагается новая конструкция микрополоскового шпилечного фильтра с отверстиями в экранирующем слое. Данный тип конструкции фильтра имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными шпилечными фильтрами. Во-первых, отверстие в экранирующем слое способствует подавлению паразитной полосы пропускания и увеличению затухания в полосе заграждения, а также увеличению ширины полосы пропускания. Во-вторых, такая конструкция позволяет установить скоростное соответствие мод. В-третьих, использование шпилечных фильтров с отверстиями в экранирующем слое позволяет усилить электрическую связь между соседними резонаторами. В-четвертых, увеличивается ширина микрополосковых линий и расстояние между ними, что упрощает технологию изготовления и снижает требования к допускам. Основной проблемой при проектировании фильтров с отверстием в экранирующем слое является то, что не существует алгоритма пересчета его из традиционного фильтра.

Целью данной работы является создание упрощенного алгоритма для проектирования конструкции микрополосковых фильтров на шпилечных резонаторах со щелью в экранирующем слое на основе электромагнитного анализа фильтра, проведенного в системе Ansoft High Frequency Structure Simulator (HFSS).

**1. РАСЧЕТЫ И МОДЕЛИРОВАНИЕ**

В данной работе для расчета параметров полоснопропускающего фильтра на шпилечных резонаторах используется метод проектирования фильтров на связанных линиях на основе фильтров-прототипов нижних частот по методикам, предложенным в [8, 9, 10].

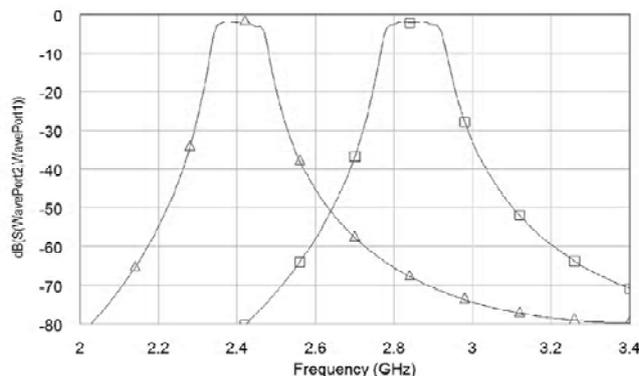
Геометрические параметры шпилечного ППФ, полученные на основе расчета фильтра-прототипа нижних частот, представлены в табл. 1.

**Таблица 1.** Геометрические параметры ППФ на шпилечных резонаторах

Параметры	Номер связанной линии		
	1 и 5	2 и 4	3
Ширина участка связанных линий $W_i$ , мм	0,4	0,49	0,5
Расстояние между участками связанных линий $S_i$ , мм	0,3	0,89	0,97
Длина участка связанных линий, $L_i$ , мм	10,33	10,23	10,22

**Таблица 2.** Параметры микрополоскового шпилечного ППФ с отверстиями в экранирующем слое

Параметры	Номер связанной линии		
	1 и 5	2 и 4	3
Волновое сопротивление парных полуволн $Z_{oe}$ , Ом	67,31	52,65	51,46
Волновое сопротивление непарных полуволн $Z_{oo}$ , Ом	40,87	44,10	43,54
Ширина участка связанных линий $W_i$ , мм	0,608	0,793	0,806
Расстояние между участками связанных линий $S_1$ , мм	0,410	1,810	1,818
Ширина отверстия в экранирующем слое $S_2$ , мм	1,17	2,52	2,40



**Рис. 1.** АЧХ микрополоскового ППФ на шпилечных резонаторах:

—△— АЧХ схемы с исходными размерами; —□— АЧХ модифицированной схемы

Фильтр реализуется на подложке из поликора марки ВК-100 с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon=9,6$ , толщиной  $h=0,5$  мм и слоем металлизации толщиной  $t=5$  мкм. Данный фильтр предназначен для работы на центральной частоте 2,85 ГГц, ширина полосы пропускания 122 МГц.

Для получения амплитудно-частотной характеристики микрополоскового ППФ на шпилечных резонаторах была спроектирована электрическая схема фильтра с помощью группы схмотехнических модулей Schematics в системе Microwave Office от Applied Wave Research (AWR MWO). Из полученной АЧХ (рис. 1) видно, что центральная частота смещена по сравнению с центральной частотой исходной структуры, предложенной в [6], на 440 МГц и составляет 2,41 ГГц. Для смещения центральной частоты до необходимого значения была уменьшена длина участка связанных линий до 8,33 мм с помощью функции Tune системы AWR MWO.

Перерасчет геометрических размеров топологии традиционного микрополоскового шпилечного ППФ для конструкции с отверстиями в экранирующем слое был проведен с помощью программы MaxFCT, которая является собственной разработкой кафедры КТПР Запорожского национального технического университета. Данная программа базируется на квазистатическом анализе поперечного сечения микрополосковой топологии и генетическом алгоритме поиска решений. Результаты расчетов представлены в табл. 2.

Для проведения электромагнитного анализа, была построена модель микрополоскового шпилечного ППФ с отверстиями в экранирующем слое, с использованием системы Ansoft HFSS (рис. 2). Длина щелей в экранирующем слое равна длине участков связанных линий.

Из полученной АЧХ (рис. 3) видно, что введение щели в экранирующий слой привело к изменению центральной частоты полосы пропускания, которая составляет 2,967 ГГц, поэтому необходимо провести ее корректировку.

Для получения необходимого значения центральной частоты, была проведена оптимизация конструкции данного фильтра с использованием метода генетического алгоритма, с помощью программы Optimetrics, которая

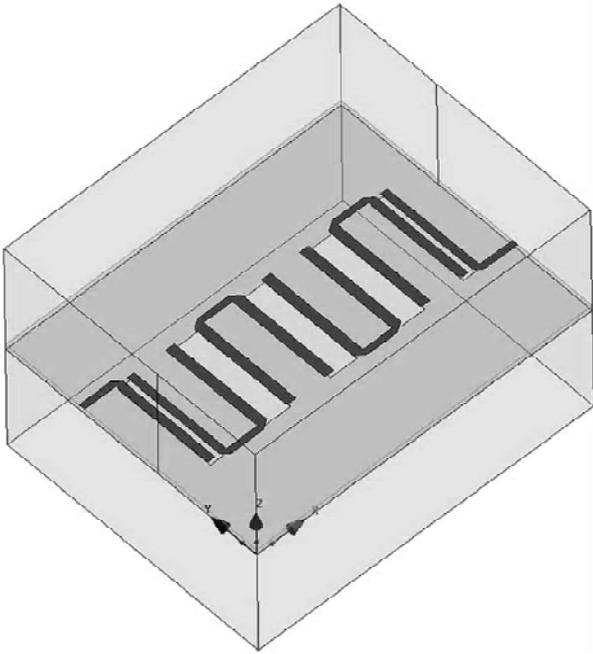


Рис. 2. Модель микрополоскового шпилечного фильтра с отверстиями в экранирующем слое

входит в состав системы HFSS. В данной работе переменной для оптимизации была выбрана длина участков связанных линий и длина отверстий в экранирующем слое  $L$ .

Установление изменяемой переменной осуществлялось путем замены значения длины участков связанных линий и длины отверстий в экранирующем слое на  $L$ . Для того, чтобы уменьшить диапазон принимаемых значений переменной и, тем самым, сократить время проведения процесса оптимизации, предварительно был проведен параметрический анализ. Также, для решения параметрических задач была создана целевая функция, которая описывает расположение частотных точек при построении АЧХ. После проведения параметрического анализа был запущен процесс оптимизации. Из полученного графика значений целевой функции относительно номера итерации было получено оптимальное значение длины участков связанных линий и щелей в экранирующем слое. Минимальному значению целевой функции соответствовало оптимальное значение  $L = 8,83$  мм, которое было получено на второй итерации из проведенных шестидесяти шести. Исходя из полученных результатов оптимизации, была перестроена модель исследуемого фильтра (изменена длина участков связанных линий) и проведен перерасчет частотной характеристики (рис. 4).

Из полученной АЧХ видно, что центральная частота составила 2,85 ГГц, что соответствует исходным данным. Также видно, что при введении щели в экранирующий слой увеличилась ширина полосы пропускания исследуемого фильтра, которая составляет 160 МГц.

## 2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для упрощения проектирования микрополосковых ППФ на шпилечных резонаторах с отверстиями в экранирующем слое, которые базируются на основе традиционных микрополосковых фильтров, предложен следующий алгоритм:

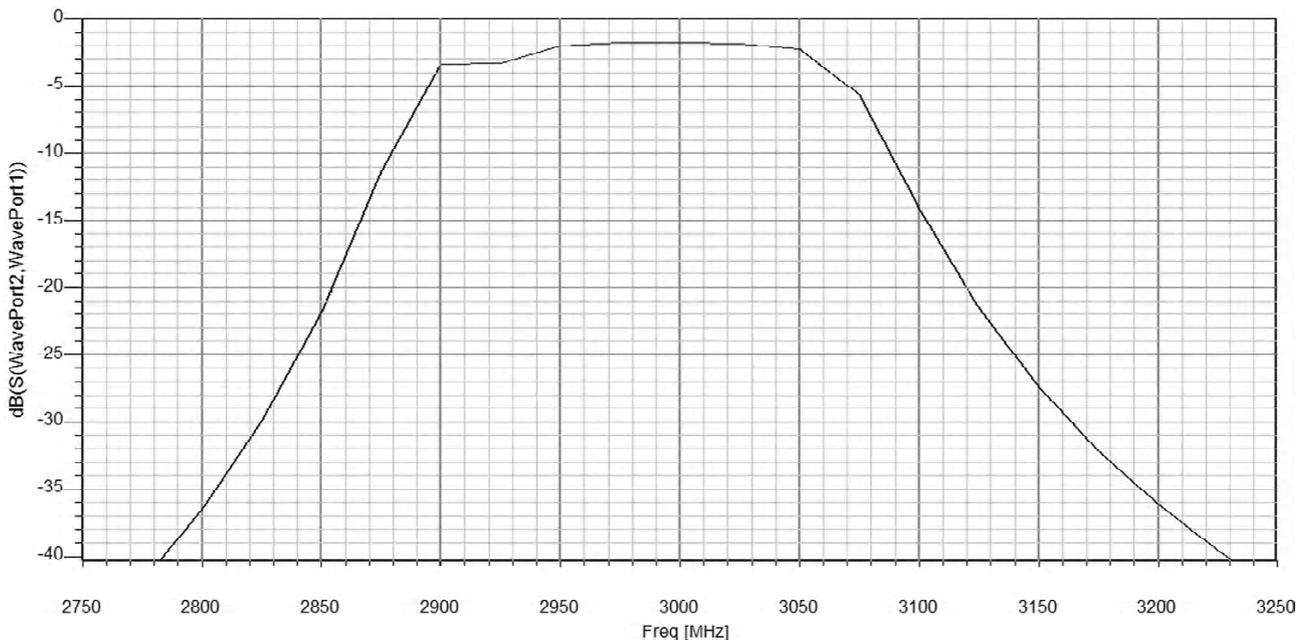


Рис. 3. АЧХ микрополоскового шпилечного фильтра с отверстиями в экранирующем слое

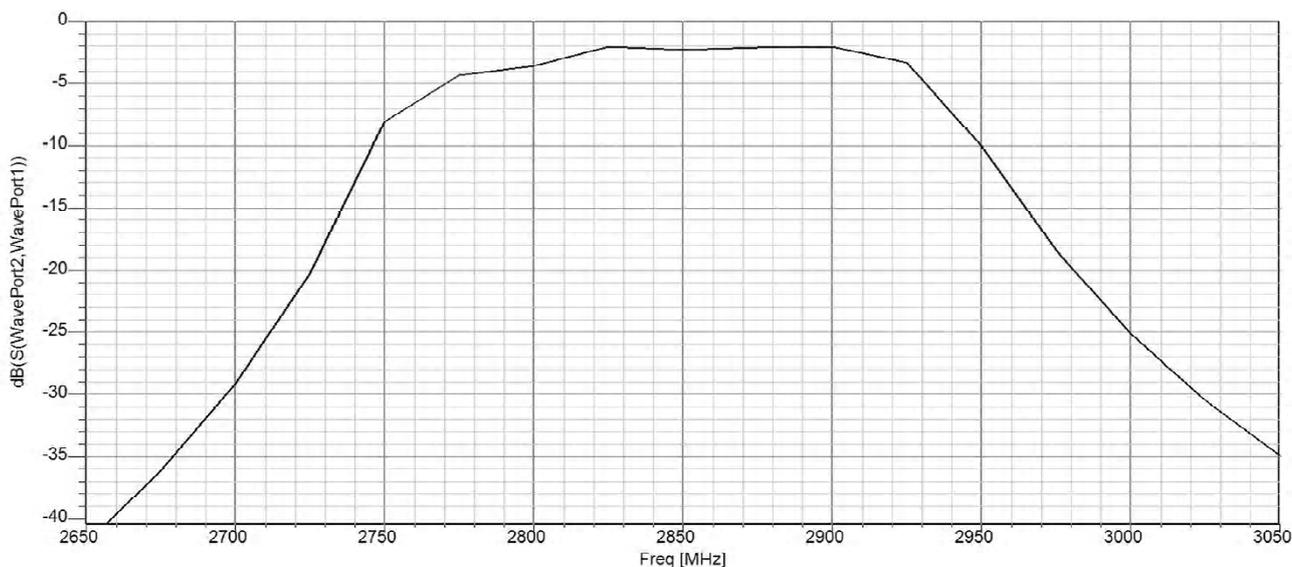


Рис. 4. АЧХ оптимизированного микрополоскового шпилечного фильтра с отверстиями в экранирующем слое

1. Расчет геометрических размеров топологии фильтров на связанных полуволновых резонаторах на основе фильтров-прототипов нижних частот по методикам, предложенным в [8, 9, 10].

2. Построение электрической схемы микрополоскового шпилечного фильтра с помощью группы схемотехнических модулей Schematics системы AWR MWO. Получение АЧХ микрополоскового шпилечного фильтра. Изменение длины связанных линий для смещения центральной частоты с помощью функции Tune системы AWR MWO.

3. Проведение расчетов геометрических размеров поперечного сечения топологии микрополоскового ППФ на шпилечных резонаторах с отверстиями в экранирующем слое с помощью программы MaxFCT.

4. Построение и электромагнитный анализ конструкции шпилечного ППФ с отверстиями в экранирующем слое в системе HFSS на основе результатов расчетов в программе AWR MWO (длина участка связанных линий) и программы MaxFCT (ширина микрополосковых линий, расстояние между ними и ширина отверстий в экранирующем слое).

5. Проведение оптимизации конструкции микрополоскового ППФ на шпилечных резонаторах с отверстиями в экранирующем слое с помощью программы Optimerics в системе HFSS для получения необходимой АЧХ.

6. Построение микрополоскового шпилечного фильтра с отверстиями в экранирующем слое, проверка результатов.

Целью дальнейших исследований является исследование микрополосковых ППФ на шпилечных резонаторах с варьирующимися углами наклона плечей шпилечных резонаторов [2] с щелями в экранирующем слое.

## ВЫВОДЫ

Проведены расчеты геометрических параметров топологии микрополоскового шпилечного ППФ со щелью

в экранирующем слое. По полученным результатам спроектирована конструкция данного фильтра. Проведена оптимизация длины участков связанных линий и щелей в экранирующем слое. В ходе работы был создан упрощенный алгоритм для проектирования конструкции микрополосковых фильтров на шпилечных резонаторах со щелью в экранирующем слое, на основе электромагнитного анализа фильтра.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Николаев, М. Компактные микрополосковые фильтры с повышенной селективностью / М. Николаев // Современная электроника. – 2008. – № 1. – С. 28–30.
2. Lotfi Neyestanak, A. A., Enhanced Wide Band Microstrip Hairpin Filter / A. A. Lotfi Neyestanak // Journal of Mobile Communication. – 2009. – Vol. 3, № 3. – P. 59–61.
3. Sulaiman, A. Simple Multilayer Hairpin Bandpass Filter / A. Sulaiman, H. Mokhtar, H. Jusoh, H. Baba, A. Awang, F. Ain // European Journal of Scientific Research. – 2010. – Vol. 42, № 4. – P. 604–613.
4. Hasan, A. Novel Microstrip Hairpinline Narrowband Bandpass Filter Using Via Ground Holes / A. Hasan, A. E. Nadeem // Progress In Electromagnetics Research. – 2008. – № 78. – P. 393–419.
5. Militaru, N. Enhanced Couplings in Broadband Planar Filters with Defected Ground Structures / N. Militaru, M. G. Banciu, G. Lojewski // Romanian Journal of Information. – 2007. – Vol. 10, № 2. – P. 199–212.
6. Гипсман, А. И. Современные методы и результаты квазистатического анализа полосковых линий и устройств / А. И. Гипсман, В. М. Красноперкин, Г. С. Самохин, Р. А. Силян // Обзоры по электронной технике. Серия 1. Электроника СВЧ. Выпуск 1 (1602) – М. : ЦНИИ «Электроника», 1991. – 94 с.
7. Velazquez-Ahumada, M.-C. Parallel coupled microstrip filters with ground-plane aperture for spurious band suppression and enhanced coupling / M.-C. Velazquez-Ahumada, J. Martel, F. Medina // IEEE trans. on microwave theory and techniques. – 2004. – Vol. 52, № 3. – P. 1082 – 1086.
8. Маттей, Д. Л. Фильтры СВЧ, согласующие цепи и цепи связи, т. I / Д. Л. Маттей, Л. Янг, Е. М. Т. Джонс : пер с

- англ. ; под общ. ред. Л. В. Алексеева и Ф. В. Кушнера. – М. : Связь, 1971. – 440 с.
9. Малорацкий, Л. Г. Проектирование и расчет СВЧ элементов на полосковых линиях / Л. Г. Малорацкий, Л. Р. Явич. – М. : Сов. радио, 1972. – 232 с.
  10. Синтез микрополосковых полосовых фильтров на связанных линиях с отверстиями в экране / А. Ю. Фарафонов, А. Ю. Воропай, Л. М. Карпуков [та ін.] // *Радіоелектроніка, інформатика, управління.* – 2009. – № 1 (20). – С. 41–44.

Стаття надійшла до редакції 19.01.2012.

Після доробки 26.01.2012.

Петрова К. В., Фурманова Н. І., Фарафонов О. Ю.

РОЗРОБКА СПРОЩЕНОГО АЛГОРИТМУ ПРОЕКТУВАННЯ МІКРОСМУЖКОВИХ СПФ НА ШПИЛЬКОВИХ РЕЗОНАТОРАХ З ОТВОРАМИ В ЕКРАНУЮЧОМУ ШАРІ НА ОСНОВІ ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНОГО АНАЛІЗУ В ПРОГРАМІ ANSOFT HFSS

Проведений аналіз мікросмужкових смугопропускаючих фільтрів (СПФ) на шпилькових резонаторах меандрової форми зі щілиною в екрануючому шарі. Проведено розрахунки геометричних параметрів СПФ на шпилькових резонаторах на основі фільтрів-прототипів нижніх частот. Побудована модель

шпилькового СПФ з отворами в екрануючому шарі та проведена її оптимізація. В ході дослідження розроблений спрощений алгоритм проектування конструкції даного типу фільтрів.

**Ключові слова:** смугопропускаючий фільтр, зв'язана лінія, щілина в екрануючому шарі, шпилькові резонатори, центральна частота.

Petrova K. V., Furmanova N. I., Farafonov A. Y.

DEVELOPMENT OF SIMPLIFIED ALGORITHM FOR THE DESIGN OF MICROSTRIP BAND-PASS ON HAIRPIN RESONATORS FILTERS WITH SLOTS IN THE GROUND PLANE ON THE ELECTRODYNAMICS ANALYSIS IN ANSOFT HFSS

Analysis of microstrip band-pass filters hairpin resonators meander shape with slots in the ground plane is presented. The calculations of the geometric parameters of the band-pass on hairpin resonator filters on the basis of prototype filters of reduce frequencies are presented. A model of the band-pass on hairpin resonator filters with slots in the ground plane has been designed and was used optimization. In research a simplified algorithm for the design process of this type of filters is proposed.

**Key words:** pass-band filter, coupled line, slots in the ground plane, hairpin resonators, center frequency.