

ВИСНОВОК

Як основну споживчу привабливість ІМС можна виділити надійність, тому випробування на надійність є найважливішою складовою при сертифікованих випробуваннях ІМС. На основі значень наробки до відмови і кількості виробів, що відмовили під час випробувань, запропонована статистична оцінка основних показників надійності.

Запропоновані плани статистичного контролю для застосування при проведенні сертифікаційних випробувань на стійкість ІМС до дії зовнішніх чинників.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ ISO 9000-2001. Системи управління якістю. Основні положення та словник. – [Чинний від 2001-06-01]. – К. : ДЕРЖСТАНДАРТ УКРАЇНИ, 2001. – 33 с.
2. Сергеев А. Г. Сертификация / Сергеев А. Г., Латышев М. В. – М. : Логос, 1999. – 248 с.

УДК 621.372.852.001.11

А. Ю. Фарафонов, А. Ю. Воропай, Л. М. Карпуков, С. Н. Романенко

СИНТЕЗ МИКРОПОЛОСКОВЫХ ПОЛОСОВЫХ ФИЛЬТРОВ НА СВЯЗАННЫХ ЛИНИЯХ С ОТВЕРСТИЯМИ В ЭКРАНЕ

На основе микрополосковых структур выполнен синтез полосовых фильтров на связанных линиях с отверстиями в экране. При синтезе топологии использован квазистатический метод расчета и генетический алгоритм поиска оптимальных значений геометрических параметров. Проведено сравнение характеристик синтезированных фильтров с результатами электродинамического моделирования и с характеристиками фильтров без отверстий в экране.

В последние годы наряду с разработкой новых типов микроволновых фильтров, ведется активный поиск топологий фильтров с улучшенными частотными свойствами и сниженными требованиями к точности изготовления. Этим требованиям в значительной мере соответствует конструкция фильтров на связанных линиях с прямоугольными отверстиями в экране, предложенная в [1]. Эта конструкция вносит только дополнительные требования по закреплению платы в экранирующем корпусе и не требует усложнения топологического рисунка. Исследование такой конструкции ППФ показало, что, по сравнению с классической топологией, использование топологии с отверстиями в экране существенно расширяет поле допуска на геометрические размеры связанных линий и толщину подложки и, тем самым, снижает требова-

3. ГОСТ Р 50779.11-2000. Статистические методы. Статистическое управление качеством. Термины и определения. – [Введ. 2001-07-01]. – М. : Изд-во стандартов, 2003. – 42 с.
4. ГОСТ Р ИСО 2859-4-2006. Статистические методы. Процедуры выборочного контроля по альтернативному признаку. Часть 4. Оценка соответствия заявленному уровню качества. – [Введ. 2006-08-08]. – М. : Стандартинформ, 2006. – 19 с.

Надійшла 29.08.2008
Після доробки 21.10.2008

Проведен анализ видов испытаний интегральных микросхем и существующих планов их контроля. Выбраны планы и показатели качества для включения в программу сертификационных испытаний. Предложены адекватные процедуры статистической обработки результатов испытаний.

The analysis of tests of integrated circuits and existing plans of control is carried out monitoring plans and quality indexes for plugging in the program of certifications tests are selected. The adequate procedures of statistical processing of results are offered.

ния к точности изготовления фильтра [2]. Кроме того, такая топология позволяет выровнять эффективные диэлектрические проницаемости четной $\epsilon_{эф_{oe}}$ и нечетной $\epsilon_{эф_{oo}}$ волн в линиях и подавить паразитную полосу пропускания фильтра на частоте $2f_0$. Однако, метода синтеза топологии фильтров на связанных линиях с прямоугольным отверстием в экране вдоль области связи до настоящего момента не предложено.

В работе предлагается способ определения геометрических размеров топологии ППФ на одинаковых связанных микрополосковых линиях с отверстиями в экране методом генетической оптимизации.

1 РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ МИКРОПОЛОСКОВЫХ ППФ НА СВЯЗАННЫХ ЛИНИЯХ

При проектировании ППФ на связанных линиях с использованием классического метода синтеза на основе фильтров-прототипов нижних частот (НЧ) необходимо определить количество звеньев фильтра n и параметры элементов схемы замещения фильтра g_i . Далее определяются волновые сопротивления четной Z_{oe} и нечетной Z_{oo} волн для каждого звена фильтра,

на основе которых рассчитываются геометрические размеры топологии фильтра.

Количество элементов фильтра прототипа НЧ определяется видом и параметрами частотной характеристики проектируемого фильтра. При этом необходимо учитывать, что число каскадно-включенных звеньев фильтра на связанных линиях на 1 больше числа элементов фильтра-прототипа.

Классический метод синтеза фильтров на основе g-параметров позволяет получить волновые сопротивления звеньев фильтра. Для расчета размеров классической топологии ППФ на связанных линиях используется алгоритм расчета, приведенный в [3], и зависимости, полученные в [4]. Для модифицированной топологии микрополосковых ППФ на связанных линиях с отверстиями в экране прямые зависимости между волновыми сопротивлениями и геометрическими размерами в настоящее время отсутствуют.

В работе предлагается метод определения геометрических размеров модифицированной топологии путем подбора их значений с целью получения заданных волновых сопротивлений, которые могут быть найдены по результатам квазистатического анализа связанных микрополосковых линий.

2 СИНТЕЗ ТОПОЛОГИИ ПО ЗАДАНЫМ ВОЛНОВЫМ СОПРОТИВЛЕНИЯМ

Исходными параметрами для расчета топологии фильтров на связанных линиях являются: равенство $\epsilon_{\text{эф}oe}, \epsilon_{\text{эф}oo}$ – эффективных диэлектрических проницаемостей для четного и нечетного типов волн; Z_{oe}, Z_{oo} – волновые сопротивления для четного и нечетного типов волн для каждого звена фильтра.

Задача синтеза – найти такие значения геометрических размеров топологии звена фильтра – W_i, S_i, Sz_i (рис. 1), при которых полученные волновые сопротивления Z'_{oe}, Z'_{oo} равнялись бы заданным, а полученные эффективные диэлектрические проницаемости $\epsilon'_{\text{эф}oe}, \epsilon'_{\text{эф}oo}$ были равны друг другу, т. е.:

$$\epsilon'_{\text{эф}oe} = \epsilon'_{\text{эф}oo}, Z'_{oe} = Z_{oe}, Z'_{oo} = Z_{oo}.$$

В рамках квазистатического метода аналитически решить эту задачу невозможно, поэтому в работе используется численный метод оптимизации для нахождения приближенного решения. В этом случае целевая функция будет иметь вид:

$$\sqrt{(\epsilon'_{\text{эф}oo} - \epsilon'_{\text{эф}oe})^2 + (Z'_{oe} - Z_{oe})^2 + (Z'_{oo} - Z_{oo})^2} \rightarrow \text{MIN}.$$

В качестве метода оптимизации выбрана генетическая оптимизация, что обусловлено как особенностями зависимости между волновыми сопротивлениями и топологией фильтра, так и особенностями метода ee

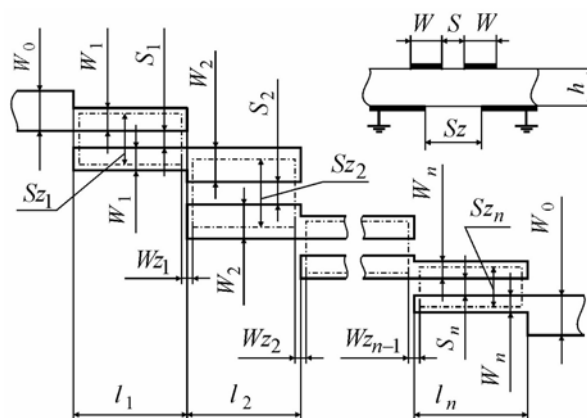


Рисунок 1 – Топология фильтра на связанных линиях с отверстиями в экране:

W_i – ширины связанных линий фильтра; S_i – зазоры между связанными линиями; l_i – длины звеньев фильтра; Sz_i – ширина отверстия в экране; Wz_i – ширина металлизированных участков между соседними отверстиями, h – толщина диэлектрической подложки

реализации. Эти зависимости имеют немонотонный и трудно прогнозируемый характер. Параметры генетического алгоритма приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Параметры генетического алгоритма

Параметр	Значение
Размер популяции	60
Максимальное количество популяций	40
Процент элиты в объеме популяции	30 %
Кроссинговер	Одноточечный
Вероятность одноточечного кроссинговера	0,3
Вероятность мутации одного гена	0,01
Количество бит для описания одного индивидуума	75

Следует отметить, что квазистатический анализ также вносит дополнительную немонотонность в указанные зависимости в виде небольшой «ряби». Метод генетической оптимизации позволяет проводить оптимизацию «вглубь» и избежать скатывания в локальный минимум.

Генетический алгоритм реализован с помощью программной системы эволюционных расчетов Open Beagle [5].

3 РЕЗУЛЬТАТЫ СИНТЕЗА

Исследование выполнено для 5 ППФ с аппроксимацией Батерворта, состоящих из двух одинаковых звеньев, реализованных на подложке с диэлектрической проницаемостью $\epsilon_r = 10$ и толщиной $h = 0,635$ мм.

Толщина металлизации в расчетах не учитывалась (принималась равной нулю). Параметры исследуемых фильтров приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Параметры ППФ

№ фильтра / Параметры	1	2	3	4	5
Граничная частота полосы пропускания фильтра $f_{-п}$, МГц	1800	1900	1950	1750	1600
Граничная частота полосы пропускания фильтра $f_{п}$, МГц	2200	2100	2050	2250	2400
Граничная частота полосы заграждения $f_{-з}$, МГц	700	1000	1400	300	100
Граничная частота полосы заграждения $f_{з}$, МГц	3300	3000	2600	3700	5000

Граничные частоты полосы пропускания фильтров определялись по уровню вносимого затухания $a_{п} = 3$ дБ, граничные частоты полос заграждения – по уровню $a_{з} = 15$ дБ, волновое сопротивление подводящих линий принималось равным $Z_0 = 50$ Ом.

В табл. 3 приведены результаты расчета волновых сопротивлений для четного и нечетного типа воз-

буждения и номинальные размеры топологии элементов фильтров с отверстиями в экране. Значения в скобках указывают реальные значения волновых сопротивлений, полученные в результате синтеза с использованием генетического алгоритма. Длина связанных линий для фильтра из [1] скорректирована в результате электромагнитного анализа структуры в программе Microwave Office (в скобках значение из [1]).

Результаты синтеза подтверждаются данными электромагнитного анализа полученных топологий фильтров в программе Microwave Office, которые приведены на рис. 2, где представлены АЧХ ППФ.

Размеры классической топологии фильтра определяют диапазон поиска для генетического алгоритма (осуществляющего синтез модифицированной топологии) с границами, отвечающими условиям $W_i \dots 3W_i$, $S_i \dots 3S_i$, $3W_i \dots 12W_i$, соответственно для ширины связанных линий звена фильтра, зазора между ними и ширины щели в экране.

Как видно из рис. 2, АЧХ всех проанализированных фильтров соответствуют данным табл. 2.

На рис. 3 приведены результаты электромагнитного анализа фильтра № 1 в диапазоне первой паразитной полосы пропускания.

Таблица 3 – Волновые сопротивления и размеры участков ППФ

№ фильтра / Параметры	Фильтр 0 [1]	1	2	3	4	5
Z_{oe} , Ом	77,67	77,6718 (77,8842)	67,9402 (68,0475)	61,8723 (61,2529)	81,9746 (81,3334)	93,7350 (93,8653)
Z_{oo} , Ом	38,04	38,0372 (38,3346)	39,9143 (39,1773)	42,0550 (41,6668)	37,6617 (37,3755)	37,6831 (39,0449)
W_i , мм	0,732	0,855	0,900	1,222	0,734	0,587
S_i , мм	0,361	0,456	0,625	1,239	0,295	0,212
Sz_i , мм	1,78	2,138	2,044	3,161	1,715	1,559
l_i , мм	15,5 (13,83)	15,6	15,25	15,488	15,388	15,48

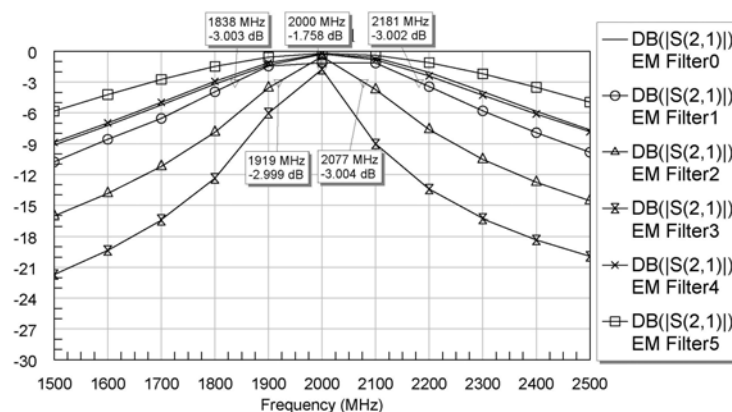


Рисунок 2 – АЧХ исследуемых ППФ

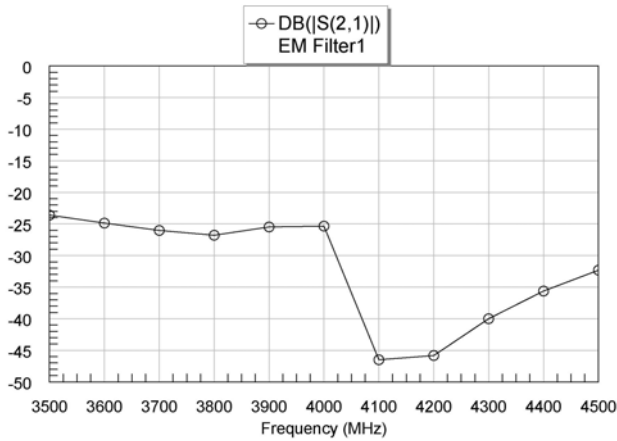


Рисунок 3 – АЧХ фільтра в області першої паразитної полоси пропускання

Как видно из рис. 3, затухание на частоте 4 ГГц составляет 25 дБ, что соответствует данным из работы [1]. Аналогичные результаты наблюдаются и для остальных фильтров, что свидетельствует о значительных преимуществах данной конструкции в сравнении с классической.

ВЫВОДЫ

На основе генетического алгоритма разработан метод синтеза ППФ на связанных линиях с отверстиями в экране. Проведен синтез нескольких микрополосковых ППФ с различными параметрами. Результаты синтеза подтверждены результатами электромагнитного анализа полученных топологий в программе Microwave Office.

Направление дальнейших исследований связано с исследованием влияния толщины микрополосковой линии на параметры ППФ и разработкой метода синтеза шпильчатой конструкции фильтра.

ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. M. del Castillo Velazquez-Ahumada. Parallel coupled microstrip filters with ground-plane aperture for spurious band suppression and enhanced coupling / J. Martel, F. Medina // IEEE Trans. Microwave Theory Tech. – 2004. – Vol. 52, No. 3. – Pp. 1082–1086.
2. Карпуков Л. М. Назначение допусков при проектировании микрополосковых полосовых фильтров на связанных линиях с отверстиями в экранирующем слое / Карпуков Л. М., Пулов Р. Д., Фарафонов О. Ю. // Радиоелектроніка. Інформатика. Управління. – 2005. – № 1. – С. 32–38.
3. Проектирование интегральных устройств СВЧ : справочник / Ю. Г. Ефремов, В. В. Конин, Б. Д. Солганик [и др.] – К. : Техника, 1990. – 159 с.
4. Akhtarzad S. The design of coupled microstrip lines / Akhtarzad S., Rowbotham T., Johns P. // IEEE Transaction on microwave theory and techniques. – 1975. – Vol. MTT-23, № 6. – Pp. 486–492.
5. Open Beagle Manual. Evolutionary Computation Framework (Technical report RT-LVSN-2003-01-V300-R1 of Laboratoire de Vision et Systemes Numeriques (LVSN)) [электронный ресурс] / Gagn'e S., Parizeau M. – Электрон. дан. – Портал открытого программного обеспечения «SourceForge.net», 2007. – Режим доступа: <http://sourceforge.net/projects/beagle/> свободный. – Загл с экрана.

Надійшла 7.08.2008
Після доробки 16.10.2008

На базі мікросмужкових структур виконано синтез смугових фільтрів на зв'язаних лініях з отворами в екрані. При синтезі топології використано квазістатичний метод розрахунку та генетичний алгоритм пошуку оптимальних значень геометричних параметрів. Проведено порівняння характеристик синтезованих фільтрів з результатами електродинамічного моделювання та з характеристиками фільтрів без отворів у екрані.

On the basis of microstrip structures the synthesis of the band-pass filters on the coupled lines with the holes in screen is accomplished. During topology synthesis, the quasi-static calculation method and genetic algorithm of optimal geometric parameters search are used. Comparison of synthesized filter characteristics with the results of electrodynamic modeling and filter characteristics without holes in screen is carried out.