

В діапазоні частот вище 10 МГц радіочастотний кабель не можна розглядати як концентровану ємність, а необхідно розглядати як лінію з розподіленими параметрами і для виконання правильних вимірювань в більш широкому діапазоні частот вирішувати аналогічну задачу з урахуванням розподіленого характеру лінії передачі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Нормирование и использование метрологических характеристик средств измерений. Нормативно-технические документы. – М. : Стандарты, 1988. – 152 с.
2. *Петрищев А. А.* К выбору нормируемых метрологических характеристик вольтметров действующего напряжения / А. А. Петрищев // *Радиоэлектроника, информатика, управління.* – 1999. – № 1. – С. 27–30.
3. *Collinson A.* Measuring Input and Output Impedance [Электронный ресурс] / Andy Collinson. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.zen22142.zen.co.uk/Theory/inzoz.htm>. – Загл. с экрана.

4. ОСТ 45.9096. Стыки цифровых каналов и групповых трактов первичной сети взаимовязанной сети связи Российской Федерации. Методы испытаний основных параметров. – Введ. 19970101. – М. : ЦНИИС, 2006. – 16 с.

Надійшла 01.09.2009
Після доробки 18.09.2009

Петрищев О. О.

ВИМІРЮВАННЯ ВИХІДНОГО ОПОРУ ДЖЕРЕЛ СИГНАЛІВ

Уточнено методику вимірювань вихідного опору джерел сигналів для діапазону частот до 10 МГц.

Ключові слова: джерела сигналів, вихідний опір, схема вимірювань, методика вимірювань, розрахункові формули.

Petrishchev A. A.

MEASUREMENT OF SIGNAL SOURCES OUTPUT RESISTANCE

The signal sources output resistance measurement technique is improved for the range of frequencies up to 10 MHz.

Key words: signal sources, output resistance, metering circuit, measurement technique, calculation formulae.

УДК 621.372.852.001.11

Фурманова Н. І.¹, Антоненко О. С.², Шинкаренко Е. М.³, Фарафонов О. Ю.⁴, Воропай О. Ю.⁵

¹Аспірант Запорізького національного технічного університету

²Канд. техн. наук, доцент Запорізького національного технічного університету

³Старший викладач Запорізького національного технічного університету

⁴Канд. техн. наук, доцент Запорізького національного технічного університету

⁵Старший викладач Запорізького національного технічного університету

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ХВИЛЬОВИХ ОПОРІВ МІКРОСМУЖКОВИХ СМУГОПРОПУСКАЮЧИХ ФІЛЬТРІВ НА ЗВ'ЯЗАНИХ ЛІНІЯХ З ОТВОРАМИ В ЕКРАНІ ВІД ТОВЩИНИ СМУЖКИ МІКРОСМУЖКОВОЇ ЛІНІЇ

Виконано синтез смуго пропускаючих фільтрів (СПФ) на зв'язаних мікросмужкових лініях різної товщини з отворами в екрані. Проаналізовано вплив товщини смужки мікросмужкової лінії на хвильові опори СПФ. За результатами розрахунків побудовано номограму, завдяки якій спрощується процес проектування СПФ на мікросмужкових лініях з отворами в екрані. Представлена номограма наочно показує залежність хвильових опорів фільтра з отвором в екрануючому шарі від товщини смужки.

Ключові слова: синтез фільтрів, мікросмужкові лінії, екрануючий шар, хвильовий опір фільтра.

Фільтри на паралельних зв'язаних мікросмужкових лініях часто використовуються як компоненти в мікрохвильових інтегрованих ланцюгах завдяки їхній відносно простій конструкції та універсальності. Проте, при їх реалізації у традиційному вигляді на одношарових підкладках у мікросмужковій технології такі фільтри мають два істотних недоліки. По-перше, існування паразитної смуги пропускання на частоті $2f_0$ (f_0 – центральна частота фільтра) [1–3].

Друга проблема пов'язана з труднощами виробництва широкосмужкових фільтрів у зв'язку зі слабким зв'язком між смужками в традиційних структурах. У літературі пропонується досить багато способів поліпшення позасмужкових властивостей фільтрів. В цілому, більшість способів придушення небажаної смуги пропускання в цих фільтрах, описаних в літературі, можна розділити на дві групи: перші базуються на використанні підбору зосередженого на-

© Фурманова Н. І., Антоненко О. С., Шинкаренко Е. М., Фарафонов О. Ю., Воропай О. Ю., 2010

вантаження, введенні додаткових зосереджених або розподілених крайових ємностей, другі ґрунтуються на створенні модифікованих структур із властивими рівними модальними фазовими швидкостями. Останні пропозиції, що враховують складність реалізації при комбінації цих підходів, пропонують використання безперервно змінюваних (нерівномірних) зв'язаних ліній передачі або хвилястих зв'язаних мікросмужкових ліній. Також можливі зовсім інші підходи, наприклад, додаткове введення нулів, обумовлене додатково зв'язаними ємностями, використання двовимірних (2-D) підкладок з фотонною шириною забороненої зони, а також періодична (синусоїдальна) модуляція ширини зв'язаних ліній [1, 2].

У статті [4] пропонується мікросмужкова реалізація фільтрів Чебишева на пов'язаних схемах. Перевагами таких фільтрів є їх відносно просте виробництво, мала вага і здатність отримувати додаткові нулі функції полінома.

У роботі [5] розглянуто фільтри на відрізках зв'язаних ліній і чвертьхвильових резонаторах. Пропонується проектування фільтрів на напівзосереджених колах диференційним і загальним методами, завдяки чому можна мінімізувати рівень шуму.

У статті [6] пропонуються компланарні хвилепровідні мікросмужкові СПФ з ємнісними зв'язками на портах вводу/виводу і шпильковими резонаторами. Завдяки цьому покращуються загороджуючі властивості фільтра таким чином, що уникаються декілька небажаних смуг пропускання.

У роботі [7] виноситься наступна пропозиція: використовувати модифіковану структуру, що поєднує в собі добре відому мікросмужкову лінію і центровану щілину в екрануючому шарі (рис. 1). Ширина щілини може бути відкоректована так, щоб настроїти парні і непарні фазові швидкості для усунення паразитних смуг пропускання. Як додаткова перевага, така структура забезпечує тісний зв'язок (у порівнянні з традиційними мікросмужковими лініями), отже, послаблює вимоги до фізичних розмірів ширини і товщини, коли необхідний сильний зв'язок.

У роботі [8] виконано синтез фільтрів з отворами в екрануючому шарі і проведено порівняння синтезованих фільтрів з результатами електродинамічного моделювання та з характеристиками фільтрів без отворів у екрані. Однак при виконанні розрахунків параметрів фільтрів на зв'язаних мікросмужкових лініях з отворами в екрані не була врахована товщина смужки мікросмужкової лінії (МСЛ).

Метою даної роботи є аналіз впливу товщини смужки мікросмужкової лінії на параметри СПФ та отримання номограми, що відображає залежність

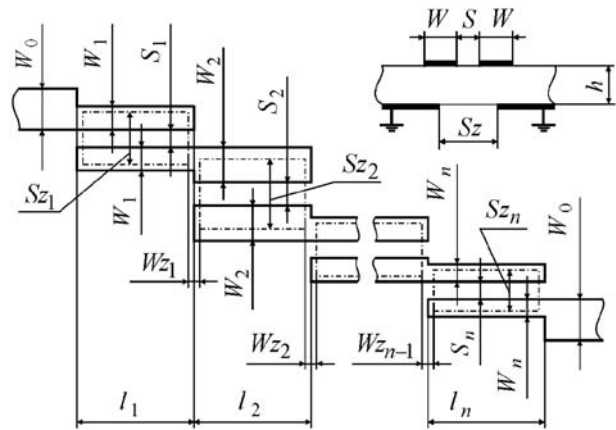


Рис. 1. Топологія фільтра на зв'язаних лініях з отворами в екрані:

- W_i – ширини зв'язаних ліній фільтра; S_i – зазори між зв'язаними лініями; l_i – довжини ланок фільтра; Sz_i – ширина отвору в екрані;
- W_{zi} – ширина металізованих ділянок між сусідніми отворами,
- h – товщина діелектричної підкладки

хвильових опорів СПФ на мікросмужкових лініях з отворами в екрануючому шарі від товщини смужки МСЛ і спрощує процес їх проектування.

1. СИНТЕЗ ТОПОЛОГІЇ ЗА ЗАДАНИМИ ХВИЛЬОВИМИ ОПОРАМИ

Вихідними параметрами для розрахунку топології фільтрів на зв'язаних лініях є: рівність $\epsilon_{\text{эф, пар}} = \epsilon_{\text{эф, непар}}$ – ефективних діелектричних проникностей для парного та непарного типів хвиль, $Z_{\text{о, пар}}, Z_{\text{о, непар}}$ – хвильові опори для парного та непарного типів хвиль для кожної ланки фільтра.

У роботі [8] виконано розрахунки для смугопропускаючих фільтрів з апроксимацією Батерворта, що складаються з двох однакових ланок, реалізованих на підкладці з діелектричною проникністю $\epsilon_r = 10$ і товщиною $h = 0,635$ мм. При цьому товщина металізації у розрахунках не враховувалася.

Взявши за основу для подальших розрахунків результати [8], наведені у табл. 1, у даній роботі проведено моделювання СПФ на основі МСЛ з товщинами мікросмужки, рівними 5, 10, 18, 35 і 50 мкм.

Таблиця 1. Хвильові опори і розміри ланок СПФ

№ фільтра	1	2	3	4
Параметри				
$Z_{\text{о, пар}}, \text{ Ом}$	77,6718	67,9402	61,8723	93,7350
$Z_{\text{о, непар}}, \text{ Ом}$	38,0372	39,9143	42,0550	37,6831
$W_i, \text{ мм}$	0,855	0,900	1,222	0,587
$S_i, \text{ мм}$	0,456	0,625	1,239	0,212
$Sz_i, \text{ мм}$	2,138	2,044	3,161	1,559
$l_i, \text{ мм}$	15,6	15,25	15,488	15,48

2. МОДЕЛЮВАННЯ СМУГОПРОПУСКАЮЧИХ ФІЛЬТРІВ НА МІКРОСМУЖКОВИХ ЛІНІЯХ З ВРАХУВАННЯМ ТОВЩИНИ СМУЖКИ МСЛ

Для моделювання і аналізу СПФ на мікросмужкових зв'язаних лініях з отвором в екрануючому шарі використано програму AWR Microwave Office, у якій побудовано конструкції фільтрів і отримано АЧХ фільтрів із різними товщинами смужки мікросмужкових ліній.

Алгоритм побудови номограми залежності хвильових опорів фільтра від товщини смужки МСЛ такий:

1. Побудова в AWR Microwave Office традиційного фільтра з розмірами, розрахованими за традиційною методикою [9].
2. Побудова в AWR Microwave Office фільтрів з отвором в екрані за даними табл. 1, з різною товщиною смужки мікросмужкової лінії.
3. Запуск симулятора.
4. Отримання АЧХ традиційного фільтра і фільтрів з отворами в екрануючому шарі на одному графіку.

5. Аналіз графіків.

6. Оптимізація АЧХ традиційного фільтра до АЧХ фільтра з отвором в екрані і нульовою товщиною смужки мікросмужкової лінії. Визначення розмірів МСЛ і хвильових опорів СПФ після оптимізації.

7. Аналіз зміни геометричних розмірів і хвильових опорів традиційного СПФ після оптимізації.

8. Визначення величини поправки, обумовленої особливостями програми AWR Microwave Office.

9. Оптимізація АЧХ фільтра з нульовою товщиною смужки МСЛ до АЧХ фільтрів з отворами в екрануючому шарі і товщиною смужки МСЛ 5, 10, 18, 35 і 50 мкм відповідно.

10. Визначення хвильових опорів модифікованої структури.

11. Перенесення отриманих даних на графік з урахуванням поправки, визначеної в п. 8.

12. Повторення п.п. 9–11 для кожної структури фільтра.

13. З'єднання відповідних точок на графіку; отримання номограми.

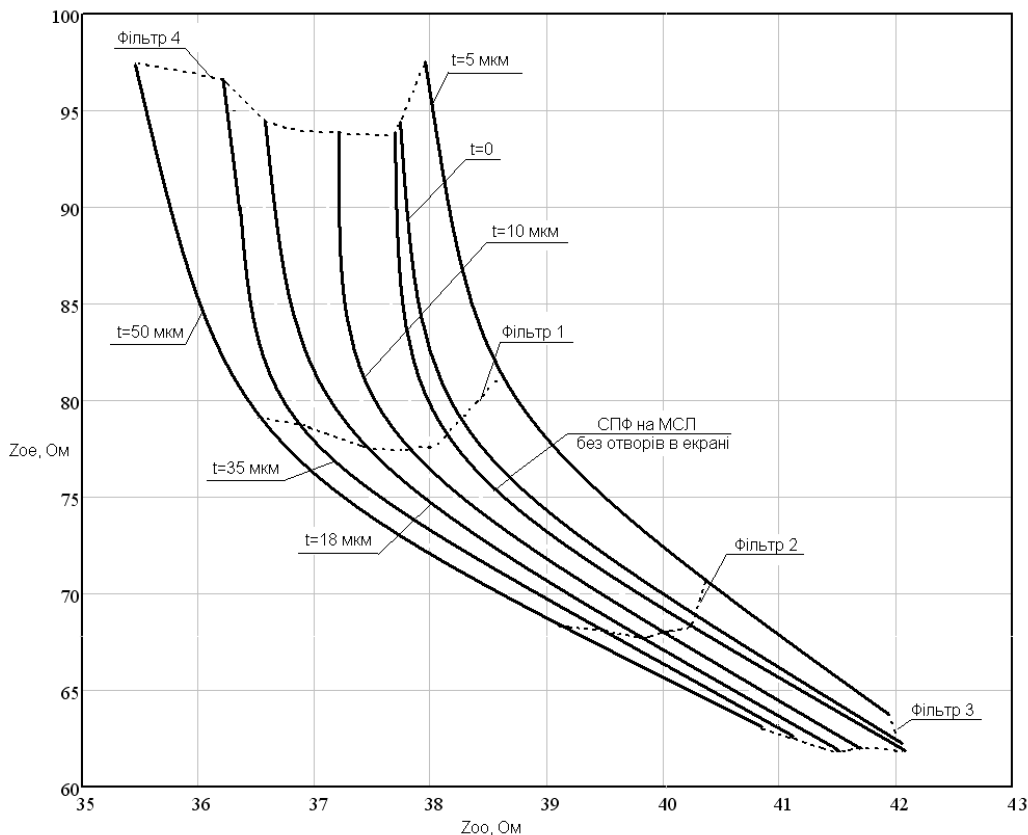


Рис. 2. Номограма залежності хвильових опорів смугопропускаючого фільтра від товщини смужки мікросмужкової лінії:

фільтр i – хвильові опори фільтрів 1, 2, 3 і 4, розміри МСЛ яких наведені в табл. 2; t – товщина смужки МСЛ

Таблиця 2. Хвильові опори СПФ з отвором в екрануючому шарі з різними товщинами смужки мікросмужкової лінії

№ фільтра	Параметри	Фільтр з нульовою товщиною смужки МСЛ	Товщина смужки МСЛ, мкм				
			5	10	18	35	50
1	Z_{oe} , Ом	77,672	81,078	77,431	77,738	78,694	79,099
	Z_{oo} , Ом	38,037	38,563	37,669	37,18	37,179	36,517
2	Z_{oe} , Ом	67,940	70,719	68,778	68,02	69,728	69,989
	Z_{oo} , Ом	39,914	40,359	40,255	40,003	39,836	39,761
3	Z_{oe} , Ом	61,872	63,876	62,124	62,054	62,992	63,281
	Z_{oo} , Ом	42,055	41,929	41,671	41,253	41,172	40,941
4	Z_{oe} , Ом	93,735	97,411	93,916	94,485	96,528	97,535
	Z_{oo} , Ом	37,683	37,944	36,873	36,527	36,305	35,449

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Дослідження виконано для 4 СПФ з апроксимацією Батерворта на зв'язаних мікросмужкових лініях з отвором в екрануючому шарі.

В табл. 2 наведено результати розрахунку хвильових опорів для парного і непарного типів хвиль для фільтрів з товщиною смужки МСЛ 5, 10, 18, 35 і 50 мкм.

На рис. 2 показано номограму, побудовану за вищенаведеним алгоритмом.

Як видно з рис. 2, введення щілини у топологію екрануючого шару фільтра змінює параметри фільтра.

За допомогою отриманої номограми можна спростити процес проектування смугопротискаючих фільтрів з отворами в екрануючому шарі за заданими вихідними характеристиками. Для цього необхідно знайти на номограмі точку, яка відповідає заданому значенню хвильових опорів, що синтезовані за умови нульової товщини смужки, знайти відповідну точку на кривій, що позначає необхідну товщину смужки МСЛ, та визначити поправку на хвильові опори.

ВИСНОВКИ

Проаналізовано вплив товщини смужки мікросмужкової лінії на хвильові опори СПФ. За результатами розрахунків побудовано номограму, за допомогою якої спрощується процес проектування СПФ на мікросмужкових лініях. Зображена номограма наочно показує залежність хвильових опорів фільтра від товщини смужки.

Напрямок подальших досліджень пов'язаний з дослідженням впливу введення незаземлених провідників в отвір в екрануючому шарі уздовж кожної ланки фільтра на параметри СПФ.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. F.-R. Yang, K.-P. Ma, Y. Qian, T. Itoh. A uniplanar compact photonic-bandgap (UC-PBG) structure and its application

- for microwave circuits // IEEE trans. on microwave theory and techniques. – 1999. – Vol. 47, No. 8. – P. 1509–514.
2. T. Lopetegi, M. A. G. Laso, J. Hernandez, M. Bacaicoa, D. Benito, M. J. Garde, M. Sorolla, M. Guglielmi. New microstrip wiggly-line filters with spurious passband suppression // IEEE trans. on microwave theory and techniques. – 2001. – Vol. 49, No. 9. – P. 1593–1598.
3. Roberts P. P., Town G. E. Design of microwave filters by inverse scattering // IEEE trans. on microwave theory and techniques. – 1995. – Vol. 43, No. 4. – P. 739–743.
4. Ching-Ku Liao, Pei-Ling Chi, and Chi-Yang Chang. Microstrip Realization of Generalized Chebyshev Filters With Box-Like Coupling Schemes // IEEE trans. on microwave theory and techniques. – 2007. – Vol. 55, No. 1. – P. 147–153.
5. Chung-Hwa Wu, Chi-Hsueh Wang, Chun Hsiung Chen. Novel balanced coupled-line bandpass filters with common-mode noise suppression // IEEE trans. on microwave theory and techniques. – 2007. – Vol. 55, No. 4. – P. 287–295.
6. Chi-Hsueh Wang, Pu-Hua Deng, Chun Hsiung Chen. Coplanar-waveguide-fed microstrip bandpass filters with capacitively broadside-coupled structures for multiple spurious suppression // IEEE trans. on microwave theory and techniques. – 2007. – Vol. 55, No. 4. – P. 768–775.
7. M. del Castillo Velazquez-Ahumada, J. Martel, F. Medina. Parallel coupled microstrip filters with ground-plane aperture for spurious band suppression and enhanced coupling // IEEE trans. on microwave theory and techniques. – 2004. – Vol. 52, No. 3. – P. 1082–1086.
8. А.Ю. Фарафонов, А.Ю. Воронай, Л.М. Карпуков, С.Н. Романенко. Синтез микрополосковых полосовых фильтров на связанных линиях с отверстиями в экране // Радиоелектроніка, інформатика, управління. – 2008. – № 2. – С. 35–42.
9. Проектирование интегральных устройств СВЧ: справочник / Ю. Г. Ефремов, В. В. Книн, Б. Д. Солганик и др. – К.: Техніка, 1990. – 159 с.

Надійшла 27.05.2009
Після доробки 24.06.2009

Фурманова Н. И., Антоненко А. С., Шинкаренко Э. Н., Фарафонов А. Ю., Воронай А. Ю.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ВОЛНОВЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ ФИЛЬТРОВ МИКРОПОЛОСКОВЫХ ПОЛОСОПРОПУСКАЮЩИХ ФИЛЬТРОВ НА СВЯЗАННЫХ ЛИНИЯХ С ОТВЕРСТИЯМИ В ЭКРАНЕ ОТ ТОЛЩИНЫ ПОЛОСКИ МИКРОПОЛОСКОВОЙ ЛИНИИ

Выполнен синтез полосопропускающих фильтров (ППФ) на связанных микрополосковых линиях различной толщины с отверстиями в экране. Проанализировано влияние толщины микрополосковой линии на волновые сопротивления ППФ. По результатам расчетов построена номограмма, благодаря которой упрощается процесс про-

ектирования ППФ на микрополосковых линиях с отверстиями в экране. Представленная номограмма наглядно отражает зависимость волновых сопротивлений фильтров с отверстием в экранирующем слое от толщины полоска.

Ключевые слова: синтез фильтров, микрополосковые линии, экранирующий слой, волновое сопротивление фильтра.

Furmanova N. I., Antonenko O. S., Shinkarenko E. M., Farafonov O. Y., Voropay O. Y.

RESEARCH OF DEPENDENCE OF IMPEDANCES OF FILTERS WITH THE HOLES IN SCREEN FROM THE MICROSTRIP LINE THICKNESS

The synthesis of the band-pass filters on the coupled microstrip lines of different thickness with the holes in screen are accomplished. Influence of microstrip line thickness on impedances is analysed. On results calculations a nomogram is built which a planning process of the band-pass filters with the holes in screen is simplified due to. The presented nomogram evidently reflects dependence of impedances of filters with the holes in screen on thickness strip.

Key words: synthesis of filters, microstrip lines, ground plane, filter impedance.