УДК 621.396

МИКРОПОЛОСКОВЫЙ ТРИПЛЕКСЕР, РЕАЛИЗОВАННЫЙ НА ПРЯМОУГОЛЬНЫХ СПИРАЛЬНЫХ РЕЗОНАТОРАХ

© 2016 Д.А. Летавин, В.А. Чечеткин

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

Статья поступила в редакцию 27.10.2016

Исследована миниатюрная конструкция микрополоскового триплексера, представляющая собой планарную микрополосковую структуру, содержащую сочленение микрополосковых линий типа звезда и трех полосно-пропускающих фильтров, каждый из которых настроен на свою рабочую частоту. Формирование полосы пропускания в каждом из каналов обеспечивает прямоугольный спиральный резонатор, длина которого равняется длине волны в линии. Также приводятся результаты численного моделирования фильтров, настроенных на частоту 1; 1,125 и 1,25 ГГц соответственно. В качестве материала подложки выступает FR-4 с диэлектрической проницаемостью ε =4,4 и толщиной 1,5 мм. Предлагаемая конструкция имеет небольшие габариты, малые вносимые потери и низкую стоимость изготовления.

Ключевые слова: полосно-пропускающий фильтр, резонатор, триплексер, микрополосковая линия

Мультиплексор – это частотно-избира-тельное устройство, предназначенное для разделения или объединения нескольких радиосигналов, разнесенных по частоте. На сегодняшний день мультиплексоры широко используются в различных радиотехнических устройствах, например, в многоканальных системах связи. Основной подход конструирования мультиплексоров основан на проектировании самостоятельных полоснопропускающих фильтров (ППФ), каждый из которых будет настроен на свою рабочую частоту. Микрополосковые триплексеры широко распространены из-за своей миниатюрности и технологичности в производстве. Конструкции мультиплексоров на основе микрополосковых резонаторов являются очень перспективными, так как они имеют малые размеры, технологичны в изготовлении и просты в настройке. На сегодняшний день существуют различные варианты конструкций мультиплексоров [1-6, 10-25], например, с использованием линий на левосторонних структурах [1-4], фильтров с диэлектрическими резонаторами [5], конструкции для мультиплексоров с множеством отводов [6, 10-13]. Кроме того, в литературе широко представлены различные методы проектирования таких устройств [7-10]. Однако не все перечисленные конструкции отвечают требованиям, предъявляемым к их размерам и электрическим параметрам. В данной работе описывается конструкция миниатюрного микрополоскового триплексора, все три фильтра которого выполнены на прямоугольных спиральных резонаторах (ПСР).

Проектирование фильтров. Фильтры, используемые в составе триплексора, относятся к полосно-пропускающим, так как обеспечивают

Летавин Денис Александрович, аспирант. E-mail: Letavin2010@mail.ru

Ченеткин Виктор Алексерени аспирант F-mail:

Чечеткин Виктор Алексеевич, аспирант. E-mail: v.a.chechetkin@urfu.ru

прохождение сигнала в заданной полосе частот. Проектирование будет производиться на подложке толщиной h=1,5 мм из широкодоступного материала — стеклотекстолит (FR-4), который имеет диэлектрическую проницаемость $\epsilon=4,4$ и $tg\delta=0,02$. Предлагаемая процедура проектирования триплексора заключается в том, чтобы спроектировать три однотипных по виду фильтра, каждый из которых настроен на свою рабочую частоту, после чего объединить их в одну схему микрополосковыми линиями (МПЛ) передачи. На рис. 1 показана структурная схема триплексера, в котором разделение входного сигнала, подаваемого на три ППФ, осуществляется за счет разветвления МПЛ.

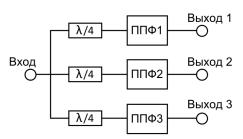


Рис. 1. Структурная схема триплексера

программе электродинамического моделирования Ansoft HFSS, была создана модель ППФ, настроенного на частоту 1000 МГц (рис.2). Зависимость S-параметров от частоты для проектируемого фильтра в широком диапазоне частот показана на рис. 3, а на рис. 4 показан фрагмент данной полосы частот. Конструкция фильтра представляет собой две прямоугольных спирали, расположенные на одной стороне подложки, и питающие МПЛ - на противолоположной стороне. Из полученных результатов, видно, что фильтр имеет минимальные потери в полосе пропускания, равные -2,06 дБ, и относительную ширину полосы пропускания в

11,4%. Минимальное значение коэффициента передачи составляет -36,5 дБ. Паразитные полосы пропускания возникают на частотах 4,2 и 6,3

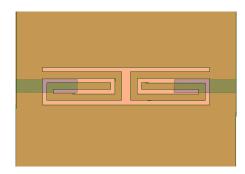


Рис. 2. Модель фильтра в программе HFSS

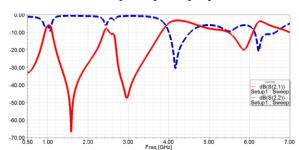


Рис. 3. S-параметры ППФ

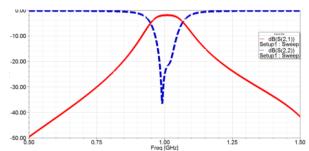


Рис. 4. Фрагмент характеристики S-параметров ППФ

Для исследования были синтезированы фильтры различных конструкций, но с характеристиками пропускания, близкими к характеристикам используемого фильтра. По полученным результатам было проведено сравнение по следующим параметрам (табл. 1): занимаемая площадь, ширина полосы пропускания, максимальное значение коэффициента передачи.

Исходя из данных таблицы можно сделать вывод, что предлагаемый микрополосковый ППФ имеет небольшие габариты по сравнению с традиционными конструкциями ППФ: он на 72,6%, 79,5%, 97,3% меньше традиционных фильтров: шпилечного, с боковыми связями, с четвертьволновыми связями соотвественно.

Таблица 1. Сравнение геометрических размеров полосно-пропускающих фильтров

Тип фильтра	Площадь, мм²	Ширина полосы пропускания, МГц	Максимальный коэф- фициент передачи, дБ
шпилечный	1180	203	-4,7
с боковыми связями	1581,8	266	-3,3
с четвертьволновыми	12131	264	-2,7
СВЯЗЯМИ			
предлагаемый	323	114	-2,06

Кроме того, предлагаемый ППФ на спиральных резонаторах обладает меньшими потерями в полосе пропускания. Также были спроектированы два ППФ на спиральных резонаторах для частоты 1,125 и 1,25 ГГц. Настройка резонаторов на нужные резонансные частоты осуществляется при помощи фильтров и их частотные характеристики представлены на рис. 5-6. Эти фильтры могут быть реализованы с помощью стандартных технологий по изготовлению печатных плат.

Проектирование триплексера. Триплексер должен соответствовать следующим требованиям: минимальные вносимые потери в рабочей полосе частот, малые массогабаритные показатели. Все спроектированные ППФ объединяются в одну схему, в результате чего получается триплексер (рис. 7). Стоит отметить, что в данной конструкции каждый резонатор формирует только одну

полосу пропускания. Результаты численного моделирования триплексера представлены на рис. 8. Уровень вносимых потерь составляет 3,3 дБ. Относительная ширина полосы пропускания каждого частотного канала в среднем составляет 8%.

Таким образом, триплексер имеет 3 рабочих изменения суммарной длины резонатора. Модели полосы частот с центральными частотами 1; 1,125 и 1,25 ГГц соотвественно. Полосы пропускания измеряются по уровню -3 дБ от максимального значения коэффициента передачи. Процесс проектирования триплексера осложняется тем, что при подключении всех фильтров с помощью МПЛ передачи в одну структуру, происходит расстройка каждого из них. Это приводит к необходимости дополнительной оптимизации расположения питающих линий. Однако такая оптимизация, как правило, состоит лишь из нес-кольких итераций. Площадь занимаемая полосковым триплексором, составляет $150 \times 75 = 11250 \text{ мм}^2$.

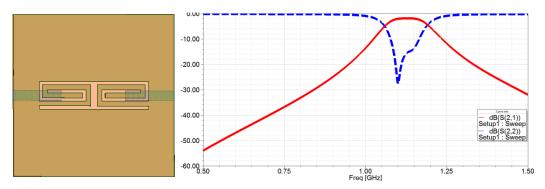


Рис. 5. Модель фильтра на частоту 1,125 ГГц и его частотные характеристики в программе HFSS

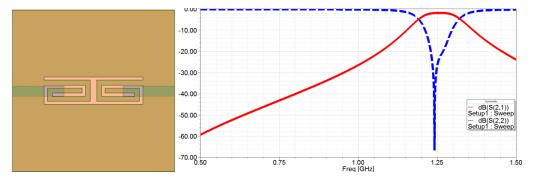


Рис. 6. Модель фильтра на частоту 1.25 ГГц и его частотные характеристики в программе HFSS

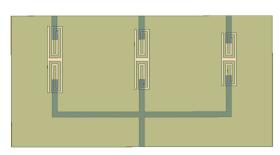


Рис. 7. Конструкция микрополоскового триплексера на спиральных микрополосковых резонаторах

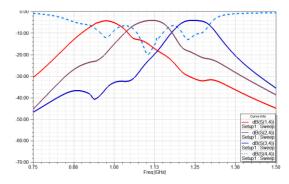


Рис. 8. S-параметры триплексера

Выводы: в этой работе рассмотренна конструкция микрополоскового триплексора, который выполняет функцию частотного делителя, он делит полосу рабочих частот на три подканала, полоса каждого из которых соотвествует центральным частотам каждого фильтра. Предлагае-мая конструкция была спроектирована и исследована с

использованием пакета трехмерного электродинамического моделирования. Полученный в итоге триплексер обладает миниатюрностью и технологичностью в изготовлении. Предлагаемое устройство выполнено исключительно на спиральных резонаторах, имеющих достаточно хорошие электрические характеристики. Использование таких резонаторов в составе триплексора позволяет независимо друг от друга регулировать центральные частоты полос пропускания. Для получения необходимой центральной частоты и минимальных значений коэффициента передачи в полосе пропускания, необходимо подобрать оптимальную длину спиралей и длину МПЛ передачи. Спроектированный триплексор работает на трех резонансах 1; 1,125 и 1,25 ГГц. Первый резонанс обеспечивает полосу пропускания в 109 МГц, второй 101 МГц, третий 115 МГц.

Исследования выполнены за счет Гранта Российского научного фонда (проект № 14-19-01396).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- Lee, H. Dual Band Isolation Circuits Based on CRLH Transmission Lines for Triplexer Application» / H. Lee, T. Itoh // IEEE Proceedings of the Asia-Pacific Microwave Conference. 2011. P. 542-545.
 - Lee, H. Hybrid combination of dual band isolation circuits based on conventional and CRLH transmission lines for triplexers» / H. Lee, T. Itoh // Microwave Symposium Digest (MTT) 2012 IEEE MTT-S International. 2012. P 1-3.
- Lee, H. Size reduced dual-band isolation circuits using hybrid right-handed transmission lines for triplexers /

- H. Lee, T. Itoh // Microwave Conference Proceedings (APMC) 2012 Asia-Pacific. 2012. P. 76-78.
- Lee, H. Combining method of two filtering circuits based on isolation circuits for five-channel multiplexers / H. Lee, T. Itoh // Microwave Conference Proceedings (APMC) 2013 Asia-Pacific. 2013. P. 339-341.
- Ismail, M.A. EM-based design of large-scale dielectric resonator filters and multiplexers by space mapping / M.A. Ismail, D. Smith, A. Panariello et al. // IEEE Trans. Microwave Theory Tech. 2004. V. 52, No. 1. P. 386-392.
- Hong, S. A 10-35 GHz six-channel microstrip multiplexer for wide-band communication systems» / S. Hong, K. Chang // IEEE Trans. Microwave Theory Tech. April 2006. V. 54, No. 4.P. 1370-1378.
- Wu, K.L. A direct synthesis approach for microwave filters with a complex load and its application to direct diplexer design / K.L. Wu, W. Meng // IEEE Trans. Microwave Theory Tech. 2007. V. 55, No. 5. P. 1010-1017.
- 8. *Macchiarella, G.* Synthesis of diplexers based on the evaluation of suitable characteristic polynomials» / *G. Macchiarella, S. Tamiazzo* // IEEE MTT-S Int. Microw. Symp. Dig. 2006. P. 111-114.
- 9. *Rhodes, G.* A generalized multiplexer Theory / *G. Rhodes, R. Levy* // IEEE Trans. Microw. Theory Tech. 1979. V. 27, No 2. P. 99-111.
- Snyder, R.V. Present and Future Trends in Filters and Multiplexers / R.V. Snyder, A. Mortazawi, I. Hunter et al. // Microwave Theory and Techniques IEEE Transactions, 2015. V. 63. P. 3324-3360.
- Rebenaque, D.C. Application of polynomical design of multiplexers to the implementation of a manifold microstrip triplexer / D.C. Rebenaque, G. Macchiarella // International Journal of RF and Microwave Computer Aided Engineering. 2013. P. 690-698.
- Cameron, R.J. Design of manifold-coupled multiplexers / R.J. Cameron, M. Yu // IEEE Microw. Mag. 2007.
 V. 8, No 5. P. 45-59.
- Carceller, C. Design of Compact Wideband Manifold-Coupled Multiplexers / C. Carceller, P. Soto, V. Boria et al. // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. 2015. V. 63. P. 3398-3407.
- Macchiarella, G. «Synthesis of star-junction multiplexer / G. Macchiarella, S. Tamiazzo // IEEE Microw. Trans. Microw. Theory Tech. 2010. V. 58, No12. P. 3732-3741.

- 15. *Macchiarella, G.* Synthesis of star-junction multiplexer // IEEE Microw. Mag. 2011. V. 12, No 6. P. 101-109.
- Cristal, E.G. A technique for the design of multiplexers having contiguous channels» / E.G. Cristal, G.L. Matthaei // IEEE Trans. Microw. Theory Tech. 1964. No 10. P. 83-93.
- Wu, K.L. A direct synthesis approach for microwave filters with a complex load and its application to direct diplexer design / K.L. Wu, W. Meng // IEEE Trans. Microw. Theory Tech. 2007. V. 55, No 5. P. 1010-1017.
- Lee, H. Tri-band isolation circuits based on double-Lorentz transmission lines for quadruplexers / H. Lee, T. Itoh // Eur. Microwave Conf. 2012. P. 585-588.
- 19. *Morini, A.* Constraints to the optimum performances and bandwidth limitations of diplexers employing symmetric three-port junctions / *A. Morini, T. Rozzi //* IEEE Trans. Microw. Theory Tech. 1996. V. 44, No. 2. P. 242-248.
- 20. Wu, K.-L. A Direct Synthesis Approach for Microwave Filters With a Complex Load and Its Application to Direct Diplexer Design / K.-L. Wu, W. Meng // Microwave Theory and Techniques IEEE Transactions. 2007. V. 55. P. 1010-1017.
- Chen, C.-F. Microstrip diplexers design with common resonator sections for compact size but high Isolation / C.-F. Chen, T.-Y. Huang, C.-M. Chou, R.-B. Wu // IEEE Trans. Microw. Theory Tech. 2006. V. 54, No. 5. P. 1945-1952.
- Chen, C.-F. A miniaturized microstrip common resonator triplexer without extra matching network / C.-F. Chen, T.-Y. Huang, T.-M. Shen, R.-B. Wu // Proc. AsiaPacific Microw. Conf. 2006. P. 1439-1442.
- Strassner, B. Wide-band low-loss high-isolation microstrip periodic-stub diplexer for multiplefrequency applications / B. Strassner, K. Chang // IEEE Trans. Microw. Theory Tech. 2001. V. 49. P. 1818-1820
- Buchsbaum, M. Design of a high integrated Triplexer using LTCC technology / M. Buchsbaum, C. Korden, E. Leitgeb, H. Faulhaber // IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest. 2006. P. 378-381.
- Yang, T. High isolation and compact diplexer using the hybrid resonators / T. Yang, P.-L. Chi, T. Itoh // IEEE Microw. Wireless Compon. Lett. 2010. V. 20, No. 10. P. 551-553.

THE MICROSTRIP TRIPLEXER, REALIZED ON RECTANGULAR SPIRAL RESONATORS

© 2016 D.A. Letavin, V.A. Chechyotkin

Urals Federal University, Ekaterinburg

The miniature construction of the microstrip triplexer representing the planar microstrip structure containing junction of the microstrip star lines and three band passing filters each of which is probed on the operating frequency, is researched. Formation of bandpass range in each of channels provides the rectangular spiral resonator which length equals to wavelength in the line. Also results of numerical modeling of filters which are set up on frequency 1; 1,125 and 1,25 GHz, respectively, are given. As material of a substrate FR-4 with dielectric permittivity ϵ =4,4 and 1,5 mm thick appears. The offered construction has small overall dimensions, small entered losses and low cost of manufacture.

Key words: band passing filter, resonator, triplexer, microstrip line

Denis Letavin, Post-graduate Student. E-mail: Letavin2010@mail.ru Viktor Chechyotkin, Post-graduate Student. E-mail: v.a.chechetkin@urfu.ru