

Квазиэллиптический полосно-пропускающий фильтр, выполненный по SIW-технологии

Букин С.П.
Факультет Физики
Южный Федеральный Университет
Ростов-на-Дону, Россия
sbukin@sfedu.ru

Крутиев С.В.
Факультет Физики
Южный Федеральный Университет
Ростов-на-Дону, Россия
skrutiev@sfedu.ru

Аннотация — В работе представлена возможность реализации фильтра с низкими вносимыми потерями и высокой избирательностью путем использования SIW-резонаторов высокой добротности. В ходе работы был проведен электродинамический анализ и синтез полосно-пропускающего фильтра третьего порядка. Для получения высокой избирательности и низких вносимых потерь применяется квазиэллиптический фильтр с использованием положительной и отрицательной связи. Отрицательные связи оцениваются по отверстиям между резонаторами и щелями в плоскостях заземления. Размеры предложенного фильтра: 7.6 мм x 4.6 мм. Приведены результаты сравнения синтезированного и изготовленного фильтров.

Ключевые слова — *полосно-пропускающий фильтр; SIW-технология; фильтр; квазиэллиптический фильтр.*

I. ВВЕДЕНИЕ

Волноводные полосно-пропускающие фильтры пользуются широким спросом в радиолокационных системах, системах наземной и спутниковой радиосвязи и прочих системах. Это стало возможным благодаря тому, что волноводная технология обеспечивает минимальные потери, высокую изоляцию и позволяет пропускать высокий уровень мощности, а также изготавливать резонаторы с высоким коэффициентом добротности. Однако изделия, выполненные с использованием такой технологии громоздкие, тяжелые и трудно интегрируемые в планарную схему. В настоящее время стремятся повышать энергетическую и экономическую эффективность радиоэлектронных систем за счет использования радиоволн как можно более высокой частоты и миниатюризации используемых волноведущих структур.

Нынешние технологии производства интегральных микросхем дают возможность интегрировать в них волноводную структуру, которая создана двумя рядами металлических штырей, соединяющих две проводящие пластины, ограничивающие диэлектрическую подложку. Технология интегрирования волновода в подложку получила название SIW-технология (Substrate Integrated Waveguide – интегрированный в подложку волновод) [1].

SIW-технология получила широкую известность благодаря возможности уменьшения массогабаритных параметров изделия, а также относительно невысокой стоимости и простоты изготовления, при этом сохраняя высокий коэффициент добротности и низкие вносимые потери, присущие классическим прямоугольным волноводам [1,2].

SIW-структуры открывают возможности для размещения всех компонентов на одной диэлектрической подложке, включая пассивные компоненты, активные элементы и даже антенны, а также возможности для создания многослойных интегральных схем [3]. Использование одной диэлектрической подложки обеспечивает ограниченный объем и простоту изготовления, в то время как прямоугольное поперечное сечение линии обеспечивает преимущества волноводной топологии с точки зрения потерь, основным вкладом в которые являются омические потери в диэлектрической подложке и переходных отверстиях.

Распространение электромагнитных волн внутри SIW-структур идентично распространению в прямоугольных волноводах, а основная мода аналогична моде TE_{10} прямоугольного волновода [4].

SIW-фильтры находят широкое применение в системах передачи и приема информации, в беспроводной сети Ethernet, в средствах радиоэлектронной борьбы, а так же в спутниковых системах и летательных аппаратах за счет уменьшения массогабаритных характеристик фильтров [5].

В данной работе представлен квазиэллиптический миниатюрный полосно-пропускающий фильтр, выполненный по SIW-технологии. Эллиптические и квазиэллиптические полосовые фильтры используются для создания нулей передачи по обе стороны полосы пропускания, чтобы получить более прямоугольную передаточную характеристику.

Все устройства в данном исследовании выполнены на диэлектрической бумажной подложке, диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 2.85$. Компьютерное моделирование проводилось в системе автоматизированного проектирования CST Microwave Studio.

Работа выполнена в Южном федеральном университете при поддержке Российского научного фонда, номер гранта № 22-79-00127 «Разработка гибких частотно-селективных устройств с применением SIW-технологии для спутников и беспилотных летательных аппаратов»

II. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

На рис. 1 показана структура SIW-резонатора. SIW-резонатор построен с использованием металлического проводника в качестве горизонтальной плоскости и металлизированных сквозных отверстий в качестве боковых стенок резонансной полости.

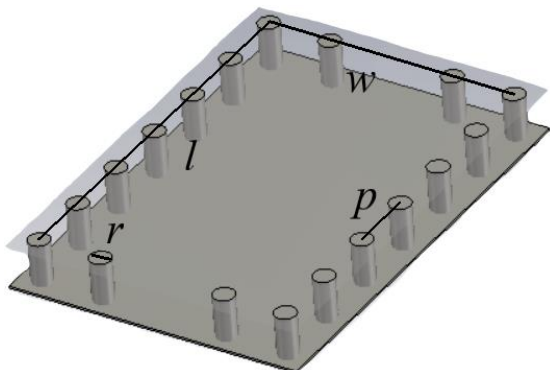


Рис. 1. SIW-резонатор.

Геометрические параметры SIW-резонатора с основной резонансной модой TE_{101} определяются по формулам [6]:

$$f_0 = \frac{c_0}{2\sqrt{\epsilon_r}} \sqrt{\frac{1}{w_{eff}^2} + \frac{1}{l_{eff}^2}} \quad (1)$$

$$w_{eff} = w - \frac{r^2}{0.95p} \quad (2)$$

$$l_{eff} = l - \frac{r^2}{0.95p} \quad (3)$$

Здесь l и w – длина и ширина полости SIW-резонатора, соответственно. r и p – диаметр отверстия и расстояние между центрами двух соседних отверстий. c_0 – скорость света в вакууме, ϵ_r – относительная диэлектрическая проницаемость вещества. Используя (1) – (3) был рассчитан и смоделирован фильтр-прототип в системе автоматизированного проектирования CST Microwave Studio.

На рисунке 2 представлен чертеж полосно-пропускающего фильтра, а на рисунке 3 представлена его трехмерная проекция.

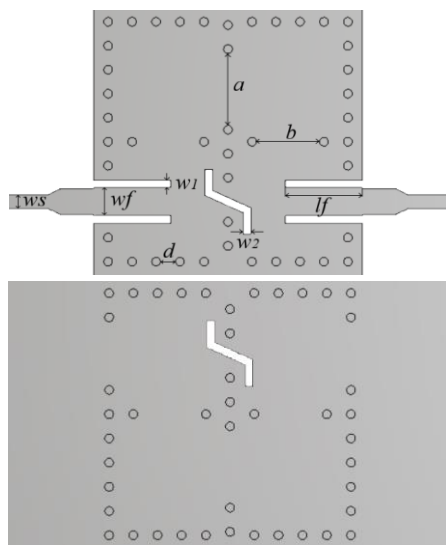


Fig. 2. Чертеж верхнего и нижнего слоев синтезированного фильтра.

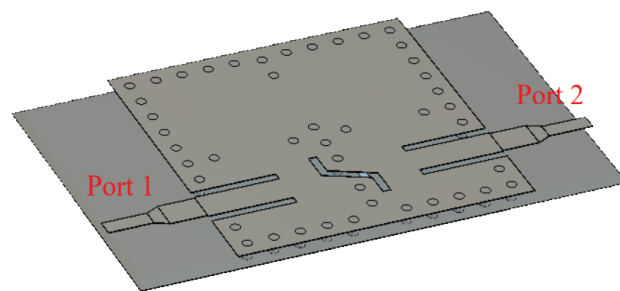


Fig. 3. Трехмерная проекция синтезированного фильтра.

Приведенные на рисунке 2 размеры: $a = 1.39$ мм, $b = 1.28$ мм, $d = 0.41$ мм, $lf = 1.32$ мм, $w1 = 0.13$ мм, $w2 = 0.12$ мм, $wf = 0.49$ мм, $ws = 0.25$ мм. Толщина диэлектрика составляет 0.15 мм, толщина металлизации 0.035 мм.

На рисунке 4 показана амплитудно-частотная характеристика синтезированного фильтра (S_{11} – пунктирная линия, S_{21} – сплошная линия). На графике четко выражены нули передачи по обе стороны полосы пропускания, образованные благодаря квазиэллиптической структуре фильтра. Таким образом, получена наиболее прямоугольная передаточная характеристика, что способствует повышению избирательности фильтра.

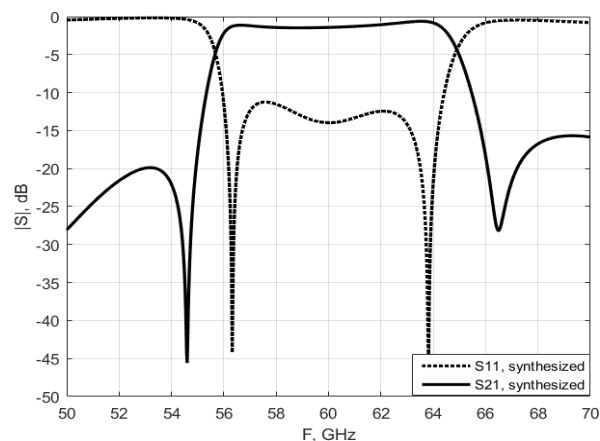


Рис. 4. АЧХ квазиэллиптического полосно-пропускающего фильтра третьего порядка.

По результатам моделирования был изготовлен квазиэллиптический полосно-пропускающий фильтр третьего порядка на бумажной подложке (рисунок 5).



Рис. 5. Изготовленный квазиэллиптический полосно-пропускающий фильтр третьего порядка.

Амплитудно-частотные характеристики изготовленного фильтра приведены на рисунке 6 (крупными точками обозначены результаты). Как видно из графика, результаты синтеза и эксперимента находятся в хорошем согласовании. Различия в результатах обусловлены точностью производства, неоднородностью диэлектрической подложки, а также погрешностью измерений.

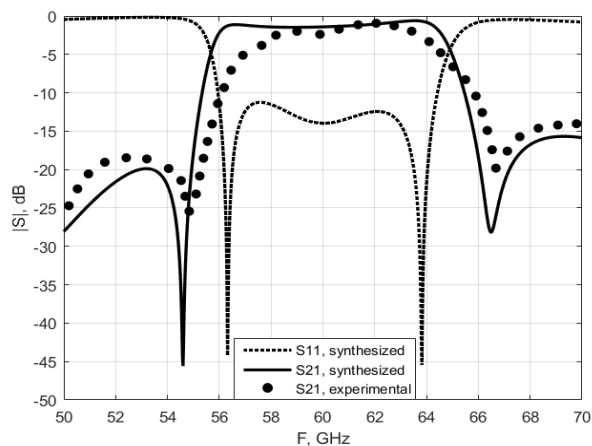


Рис. 6. Сравнение АЧХ виртуальной модели и физической реализации фильтра.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работ был проведен электродинамический анализ и синтез квазиэллиптического полосно-пропускающего фильтра третьего порядка, выполненного по SIW-технологии.

Удалось изготовить полосно-пропускающий фильтр на бумажной подложке с двумя полюсами полного пропускания, что в свою очередь дает возможность получить более прямоугольную характеристику фильтра. При этом сравнение

амплитудно-частотных характеристик синтезированной и экспериментальной моделей показало хорошее соответствие, что дает возможность дальнейшего развития темы исследования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Гадзиева, А.А., Заргано, Г.Ф., Земляков, В.В., Крутиев, С.В., SIW-технологии, история создания, современное состояние и перспективы развития, Физические основы приборостроения, 2012. – Т. 1. – № 4. – с. 3–11.
- [2] Заргано, Г.Ф., Ляпин, В.П., Михалевский, В.С. и др. Волноводы сложных сечений. - М.: Радио и связь, 1986. – с. 122-130.
- [3] X. Chen, W. Hong, J. Chen and K. Wu, "Substrate Integrated Waveguide (SIW) Linear Phase Filter," IEEE Microw. Wireless Compon. Lett., vol.15, pp. 787-789, Nov. 2005.
- [4] F. Xu and K. Wu, "Guided-wave and leakage characteristics of substrate integrated waveguide," IEEE Trans. Microw. Theory Techn., vol. 53, no. 1, pp. 66–73, Jan. 2005.
- [5] Gwang-Hoon Lee, Chan-Sei Yoo, Jong-Gwan Yook, and Jun-Chul Kim. SIW (Substrate Integrated Waveguide) Quasi-Elliptic Filter Based on LTCC for 60-GHz Application. Proceedings of the 4th European Microwave Integrated Circuits Conference. September 2009, Rome, Italy, pp. 203 – 207.
- [6] Y. Cassivi, L. Perregini, P. Arcioni, M. Bressan, K. Wu and G. Conciauro, "Dispersion Characteristics of Substrate Integrated Rectangular Waveguide," IEEE Microw. Wireless Compon. Lett., vol.12, pp. 333-335, Feb. 2002.
- [7] Krutiev, S., Lonkina, D., Makhno, A., Sdobnova, V. Synthesis of Band-Pass Filters Made Using SIW Technology, 2022 International Conference on Actual Problems of Electron Devices Engineering, APEDE 2022, 2022, pp. 118–122
- [8] Sdobnova, V., Krutiev, S., Lonkina, D. Compact Three-layer Band-pass Filter Based on SIW-technology, Proceedings of the 2023 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering. St.Petersburg, January 24-26, 2024. Pp. 141 — 143
- [9] Varvara P. Sdobnova; Sergey V. Krutiev; Alla S. Makhno; Daria V. Lonkina Compact Band-Pass Filter Made Using SIW Technology Published in: 2023 Radiation and Scattering of Electromagnetic Waves (RSEMW), DOI: 10.1109/RSEMW58451.2023.10202143, Conference Location: Divnomorskoe, Russian Federation