

УДК 621.372.8

Полосно-пропускающий фильтр на прямоугольном волноводе с плоскопродольными тонкими диафрагмами

Светличный А. С., Чувараян Т. А., Крутиев С. В.

¹ Южный федеральный университет
ул. Зорге, 5, г. Ростов-на-Дону, 344090, Российская Федерация
skrutiev@sfnu.ru

Получено: 21 мая 2022 г.

Отрецензировано: 5 июня 2022 г.

Принято к публикации: 5 июня 2022 г.

Аннотация: В данной работе рассматривается полосно-пропускающий фильтр на прямоугольном волноводе сечением 35×15 мм., в котором вместо классических тонких плоскоперечных диафрагм используются плоскопродольные диафрагмы. В качестве резонансного окна используются четыре классических прямоугольных окна, что позволяет провести электродинамический анализ и показать хорошую сходимость результатов расчета и моделирования. Расчеты производились с помощью среды компьютерного автоматизированного проектирования CST Studio.

Ключевые слова: прямоугольный волновод, плоскопродольная диафрагма, электродинамический анализ, CST Studio.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.5—2008): Светличный А. С., Чувараян Т. А., Крутиев С. В. Полосно-пропускающий фильтр на прямоугольном волноводе с плоскопродольными тонкими диафрагмами // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. 2022. Т. 5, № 3. С. 370—376.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.100—2018): Светличный, А. С. Полосно-пропускающий фильтр на прямоугольном волноводе с плоскопродольными тонкими диафрагмами / А. С. Светличный, Т. А. Чувараян, С. В. Крутиев // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. — 2022. — Т. 5, № 3. — С. 370—376.

1. Введение

Фильтры с цельнометаллическими плоскопродольными вставками были первоначально предложены в 1974 году в качестве недорогих серий-

но производимых схем для микроволновых частот [1], [2], таких как полосовые фильтры. В начале восьмидесятых, в то время, когда были разработаны более совершенные компьютерные процедуры, основанные на точном анализе, все чаще стали появляться публикации, включающие общую теорию проектирования и расширяющие первоначальную концепцию до применения в диапазоне миллиметровых волн. Фильтры могут быть классифицированы по разным категориям различными способами.

Одной из наиболее сложных проблем, с которыми приходится сталкиваться разработчикам, являются потери при рассеивании в реализациях фильтров. Добротность (Q) резонаторов, используемых в микроволновом фильтре, зависит от их физической реализации. Вносимые потери в полосе пропускания обратно пропорциональны полосе пропускания фильтра, а добротность резонатора пропорциональна количеству используемых резонаторов. Следовательно, для узкополосных применений необходимо использовать резонаторы с высокой ненагруженной добротностью, чтобы добиваться низких потерь в полосе пропускания [3]. Кроме того, селективность фильтра может быть улучшена за счет увеличения количества резонаторов, что увеличивает размер фильтра и потери. Полосовой фильтр с E -плоскостной диафрагмой был одним из наиболее часто описываемых в литературе фильтров. Стандартная конфигурация фильтров с E -плоскостной диафрагмой заключается в использовании корпуса разделенного блочного волновода и размещении индуктивных, обычно цельнометаллических перегородок в E -плоскости прямоугольного волновода на расстоянии, близком к половине длины волны. Поскольку диэлектрические потери отсутствуют, конструкция имеет высокую добротность и подходит для узкополосных применений. Кроме того, эти фильтры с E -плоскостными диафрагмами очень просты в сборке благодаря тому факту, что конструкция основана на печатных платах, изготовленных с помощью фотолитографического процесса, и нет необходимости в настройке.

2. Теория

Добротность резонансной системы в общем случае определяется как средняя энергия, запасенная за период колебаний по сравнению с потерей энергии в секунду. Для изолированного резонатора потери энергии происходят исключительно за счет тепловыделения, и этот случай соответствует определению добротности без нагрузки, Q_0 . Резонатор, который возбуждается извне, неизменно соединен с другой схемой. В результате происходит некоторый обмен мощностью с внешней схемой, и общая добротность, или нагруженная добротность Q , Q_L , на практике снижается по

сравнению с Q_U . Для достаточно узкополосных резонаторов можно показать, что нагруженные и ненагруженные добротности Q_L и Q_U задаются формулой (1):

$$Q_L = \frac{\omega_0}{\Delta\omega_{3dB}} \quad Q_U = \frac{Q_L}{1 - 10^{-\frac{S_{21}(dB)}{20}}} \quad (1)$$

где ω_0 и $\Delta\omega_{3dB}$ — резонансная частота и полоса пропускания резонатора по уровню 3 дБ соответственно; S_{21} (дБ) — вносимые потери при ω_0 .

На рис. 1. приведена трехмерная модель полосно-пропускающего фильтра с E -плоскостной диафрагмой, апертюра которой выполнена в виде прямоугольного окна.

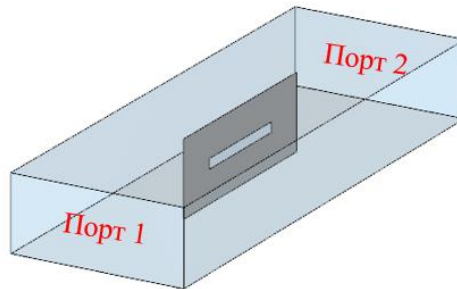


Рис. 1. Трехмерная модель полосно-пропускающего фильтра.

Fig. 1. Three-dimensional model of a band pass filter

На рис. 2. приведена зависимость частоты от геометрических размеров прямоугольного окна. Так, при увеличении длины резонансного окна наблюдается смещение резонансной частоты в область высоких частот, добротность остается практически неизменной. На рис. 3. представлена зависимость высоты резонансного окна от частоты. При увеличении высоты резонансного окна резонансная частота практически не изменяется, при этом добротность уменьшается.

Проведенный электродинамический анализ позволил синтезировать полосно-пропускающий фильтр четвертого порядка. Так, на рис. 4. представлен внешний вид продольной диафрагмы, апертюра которой состоит из четырех прямоугольных резонансных окон.

В табл. 1 приведены размеры резонансной диафрагмы в миллиметрах.

Таблица 1 — Table 1

r1	r2	r3	r4	r1	r2	r3	r4	1	L2
2.1	2.1	2.1	2.1	16.94	17.32	17.54	17.00	0.62	9.47
s1	su1	sd1	s2	su2	sd2	s2	e1	e2	e3
2.18	2.11	2.11	1.92	2.11	2.27	1.48	0.83	7.28	0.85

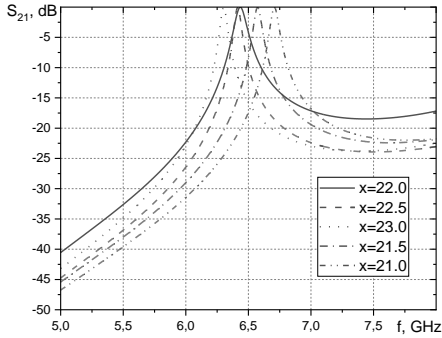


Рис. 2. Зависимость модуля $|S_{21}|$ от изменения параметра x (длина одиночного окна в диафрагме).

Rice. 2. Dependence of module $|S_{21}|$ from changing the parameter x (length of a single window in aperture)

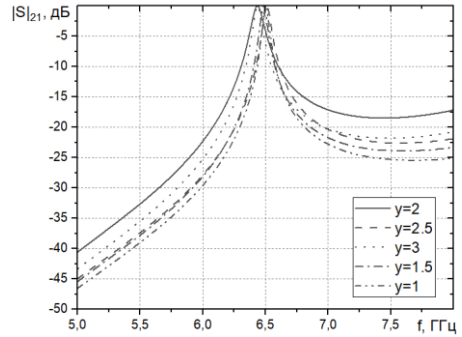


Рис. 3. Зависимость модуля $|S_{21}|$ от изменения параметра y (высота одиночного окна в диафрагме).

Fig. 3. Dependence of module $|S_{21}|$ from changing the parameter y (height of a single window in aperture)

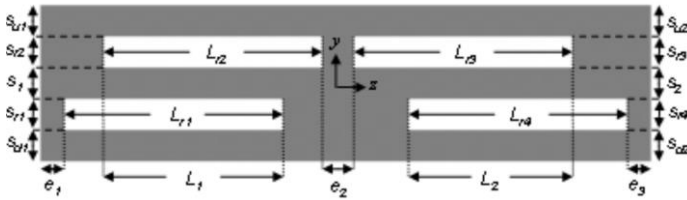


Рис. 4. Внешний вид резонансной продольной диафрагмы.

Fig. 4. Appearance of the resonant longitudinal diaphragm

На рис. 5. представлена амплитудно-частотная характеристика полосно-пропускающего фильтра с E -плоскостной диафрагмой.

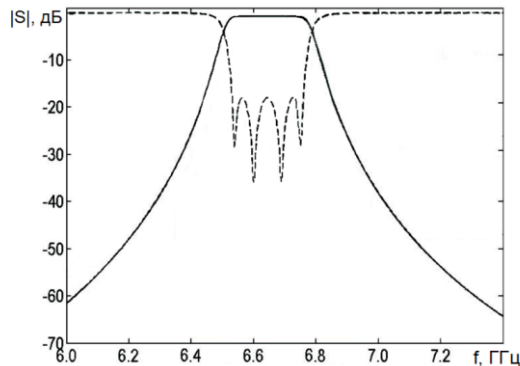


Рис. 5. АЧХ синтезированного полосно-пропускающего фильтра.

Fig. 5. Frequency response of the synthesized band pass filter

3. Заключение

В работе показана возможность создания фильтра с плоскопродольной диафрагмой. Длина такого фильтра составляет 54 мм. Данные результаты позволяют продолжить данную тему путем замены прямоугольных окон на более сложные резонансные структуры, которые позволят строить узкополосные фильтры.

Список литературы

1. Konishi Y., Uenakada K., The Design of a Bandpass Filter with Inductive Strip Planar Circuit Mounted in Waveguide // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. 1974. Vol. 22. P. 869—873.
2. Tajima Y, Sawayama Y, Design and Analysis of a Waveguide-Sandwich Microwave Filter. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. 1974. Vol. 22, no. 9, P. 839—841.
3. Microwave filters-applications and technology / I. C. Hunter et al. // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. 2002. Vol. 50. P. 794—805.
4. Craven G. F., Mok C. K. The design of evanescent mode waveguide bandpass filters for a prescribed insertion loss characteristic // IEEE Trans. Microw. Theory Tech. 1971. Vol. 19. P. 295—308.
5. Лебедев И. В. Техника и приборы СВЧ. Т. 1. М. : Высшая школа, 1970. 440 с.
6. Крутиев С. В., Земляков В. В., Заргано Г. Ф. Волноводный полосно-пропускающий фильтр на сложных резонансных диафрагмах // Радиотехника и электроника. 2015. Т. 60, № 12. С. 1231—1236.
7. Волноводный квазиэллиптический фильтр на сложных резонансных диафрагмах / Г. Ф. Заргано и др. // Физические основы приборостроения. 2019. Т. 8, № 1. С. 47—54.
8. Электродинамический анализ и синтез эллиптического фильтра на сложных резонансных диафрагмах в прямоугольном волноводе / В. В. Земляков и др. // Известия высших учебных заведений. Радиофизика. 2018. Т. 61, № 12. С. 1130—1139.
9. A design of waveguide elliptic filter based on resonant diaphragms with a complex aperture / Zemlyako V. et al. // International Journal of Circuit Theory and Applications. 2019. No 47. P. 55—64.

Информация об авторах

Крутиев Сергей Владимирович, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры Радиофизика физического факультета Южного федерального университета, Российская Федерация.

Светличный Александр Сергеевич, студент 1 курса магистратуры «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» физического факультета Южного федерального университета, Российская Федерация.

Чувараян Тарас Аркадьевич, студент 4 курса физического факультета Южного федерального университета, Российская Федерация.

A Band-Pass Filter on a Rectangular Waveguide with Plane-Longitudinal Thin Diaphragms

A. S. Svetlichny, T. A. Chuvarayan, and S. V. Krutiev

South Federal University

105/42 Bolshaya Sadovaya st., Rostov-on-Don, 344006, Russian Federation

skrutiev@sfnu.ru

Received: May 21, 2022

Peer-reviewed: June 5, 2022

Accepted: June 5, 2022

Abstract: In modern microwave systems, a wide variety of frequency-selective devices are used, which are performed according to certain technologies. Waveguide microwave filters are currently a rapidly developing class of functional devices. The variety of manufacturing technologies, calculation methods and designs of such filters is great. In this paper, we consider a band-pass filter on a rectangular waveguide with a cross section of 35×15 mm, in which, instead of the classic thin plane-transverse diaphragms, plane-longitudinal diaphragms are used. Four classical rectangular windows are used as a resonant window, which makes it possible to conduct electrodynamic analysis and show good convergence of the calculation and simulation results. Calculations were performed using the computer-aided design environment CST Studio.

Keywords: rectangular waveguide, plano-longitudinal diaphragm, electrodynamic analysis, CST Studio.

For citation (IEEE): A. S. Svetlichny, T. A. Chuvarayan, and S. V. Krutiev, "A Band-Pass Filter on a Rectangular Waveguide with Plane-Longitudinal Thin Diaphragms," *Infocommunications and Radio Technologies*, vol. 5, no. 3, pp. 370–376, 2022, doi: 10.29039/2587-9936.2022.05.3.28. (In Russ.).

References

- [1] Y. Konishi and K. Uenakada, "The Design of a Bandpass Filter with Inductive Strip – Planar Circuit Mounted in Waveguide," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 22, no. 10, pp. 869–873, Oct. 1974, doi: 10.1109/tmtt.1974.1128366.
- [2] Y. Tajima and Y. Sawayama, "Design and Analysis of a Waveguide-Sandwich Microwave Filter (Short Papers)," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 22, no. 9, pp. 839–841, Sep. 1974, doi: 10.1109/tmtt.1974.1128357.
- [3] I. C. Hunter, L. Billonet, B. Jarry, and P. Guillon, "Microwave filters-applications and technology," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 50, no. 3, pp. 794–805, Mar. 2002, doi: 10.1109/22.989963.
- [4] G. F. Craven and C. K. Mok, "The Design of Evanescent Mode Waveguide Bandpass Filters for a Prescribed Insertion Loss Characteristic," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 19, no. 3, pp. 295–308, Mar. 1971, doi: 10.1109/tmtt.1971.1127503.
- [5] I. V. Lebedev, *Technique and microwave devices*. Vol. 1. Moscow: Vysshaya Shkola, 1970. (In Russ.).

- [6] В. В. Земляков, Г. Ф. Заргано, and С. В. Крутиев, “Волноводный полосно-пропускающий фильтр на сложных резонансных диафрагмах,” *Радиотехника и электроника*, vol. 60, no. 12, pp. 1231–1236, 2015, doi: 10.7868/s0033849415110170. (In Russ.).
- [7] G. F. Zargano, V. V. Zemlyakov, S. V. Krutiev, and A. B. Kleschenkov, “Waveguide quasi-elliptic filter on complex resonant diaphragms,” *Физические основы приборостроения*, vol. 8, no. 1, pp. 47–54, Mar. 2019, doi: 10.25210/jfop-1901-047054. (In Russ.).
- [8] V. V. Zemlyakov, G. F. Zargano, S. V. Krutiev, and M. Yu. Tyaglov, “Electrodynamic Analysis and Synthesis of an Elliptic Filter Based on Complex Resonant Irises in a Rectangular Waveguide,” *Radiophysics and Quantum Electronics*, vol. 61, no. 12, pp. 915–923, Jun. 2019, doi: 10.1007/s11141-019-09947-0. (In Russ.).
- [9] V. Zemlyakov, S. Krutiev, M. Tyaglov, and V. Shevchenko, “A design of waveguide elliptic filter based on resonant diaphragms with a complex aperture,” *International Journal of Circuit Theory and Applications*, vol. 47, no. 1, pp. 55–64, Oct. 2018, doi: 10.1002/cta.2566.

Information about the authors

Sergey V. Krutiev, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Department of Radiophysics, Faculty of Physics, Southern Federal University, Russian Federation.

Alexander S. Svetlichny, 1st year student of the master's program “Infocommunication technologies and communication systems”, Faculty of Physics, Southern Federal University, Russian Federation.

Taras A. Chuvarayan, 4th year student of the Faculty of Physics of the Southern Federal University, Russian Federation.