

УДК 621.372.542.21

ФИЛЬТРЫ НИЖНИХ ЧАСТОТ НА ОСНОВЕ КРИСТАЛЛОПОДОБНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ

Е. А. НЕЛИН, Я. Л. ЗИНГЕР, В. И. ПОПСУЙ

*Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского»,
Украина, Киев, 03056, пр-т Победы 37*

Аннотация. Предложены микрополосковые фильтры нижних частот (ФНЧ) на основе трехмерных электромагнитнокристаллических неоднородностей (ЭКН). Выполнено сравнение расчетных амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) квазисосредоточенных реактивных элементов на основе традиционных структур и ЭКН. АЧХ квазисосредоточенных реактивных элементов на основе ЭКН значительно ближе к АЧХ сосредоточенных элементов. Частота первого минимума АЧХ ФНЧ на основе ЭКН в три раза превышает аналогичную частоту на основе традиционных структур. Предложены совмещенные ЭКН, содержащие индуктивный и емкостный элементы. Представлены структуры ФНЧ на основе одиночных и совмещенных ЭКН. Приведены расчетные и экспериментальные параметры и АЧХ фильтров, иллюстрирующие значительное уменьшение размеров и улучшение характеристик в полосе подавления по сравнению с фильтром традиционной структуры. Характеристики рассчитаны трехмерным электромагнитным моделированием в программном пакете CST Microwave Studio.

Ключевые слова: микрополосковая структура; электромагнитнокристаллическая неоднородность; фильтр нижних частот; ФНЧ

ВВЕДЕНИЕ

Микрополосковые устройства широко применяют в различных радиоэлектронных системах. Современное развитие микрополосковой техники в значительной степени связано с использованием искусственных материалов — метаматериалов, а также искусственных структур с особыми характеристиками [1, 2]. К таким структурам относят кристаллоподобные структуры с зонными свойствами, аналогичными кристаллам. Микрополосковые кристаллоподобные структуры — электромагнитные кристаллы (ЭК), а также отдельные ЭК-неоднородности (ЭКН) в виде двумерных неоднородностей в микрополосковом проводнике или в металлизированной поверхности [3–5] ис-

пользуют в конструкциях фильтров [6], антенн [7], делителей мощности [8].

Традиционные ЭКН двумерные. В [9, 10] предложены трехмерные ЭКН, важное достоинство которых состоит в существенном расширении диапазона эквивалентного волнового импеданса по сравнению с традиционными микрополосковыми структурами и двумерными ЭКН. Одно из следствий такого расширения — возможность реализации квазисосредоточенных реактивных элементов с увеличением в 1,5–4 раза значений реактивностей по сравнению с традиционными структурами таких же размеров [11].

Квазисосредоточенные реактивные элементы реализуются короткими по сравнению с длиной волны отрезками линии передачи

DOI: [10.20535/S0021347018050059](https://doi.org/10.20535/S0021347018050059)

© Е. А. Нелин, Я. Л. Зингер, В. И. Попсуй, 2018

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Hong, J.-S. *Microstrip filters for RF/microwave applications*. N. Y.: Wiley, 2011. 656 p.
2. Martin, F. *Artificial transmission lines for RF and microwave applications*. New Jersey: Wiley, 2015. 520 p.
3. Xiao, J.-K. *Defected microstrip structure*. *Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering*. N. Y.: Wiley, 2013. P. 1-8.
4. Bhuiyan, M. S.; Karmakar, N. C. *Defected ground structures for microwave applications*. *Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering*. N. Y.: Wiley, 2014. P. 1-31.
5. Khandelwal, M. K.; Kanaujia, B. K.; Kumar, S. "Defected ground structure: fundamentals, analysis, and applications in modern wireless trends," *Int. J. Antennas Propag.*, Vol. 2017, article ID 2018527, 22 p., 2017. DOI: [10.1155/2017/2018527](https://doi.org/10.1155/2017/2018527).
6. Chen, L.; Li, X. Y.; Wei, F. "A compact quad-band bandpass filter based on defected microstrip structure," *Frequenz*, Vol. 71, No. 7-8, P. 311-316, 2017. DOI: [10.1515/freq-2016-0238](https://doi.org/10.1515/freq-2016-0238).
7. Abdulhamid, M.; Rahim, M. K. A.; Musa, U. "Electromagnetic bandgap structure for antenna design," *IOSR J. Electronics Commun. Eng.*, Vol. 10, No. 6, P. 25-27, 2015. URI: <http://www.iosrjournals.org/iosr-jece/papers/Vol.%2010%20Issue%206/Version-1/E010612527.pdf>.
8. Mhatre, P.; Varavdekar, J. M. "A review on EBG based power dividers," *IOSR J. Electronics Commun. Eng.*, Vol. 4, No. 3, P. 32-35, 2012. DOI: [10.9790/2834-0433235](https://doi.org/10.9790/2834-0433235).
9. Назарько, А. И.; Нелин, Е. А.; Попсуй, В. И.; Тимофеева, Ю. Ф. "Высокоизбирательный электромагнитный кристалл," *ЖТФ*, Т. 80, № 4, С. 138-139, 2010. URI: <http://journals.ioffe.ru/jtf/2010/04/page-138.html.ru>.
10. Нелин, Е. А.; Назарько, А. И. "Высокоэффективные электромагнитнокристаллические неоднородности," *ЖТФ*, Т. 83, № 4, С. 146-148, 2013. URI: <http://journals.ioffe.ru/jtf/2013/04/page-146.html.ru>.

11. Биденко, П. С.; Нелин, Е. А.; Назарько, А. И.; Адаменко, Ю. Ф. “Квазисосредоточенные реактивные элементы на основе кристаллоподобных неоднородностей,” *Известия вузов. Радиоэлектроника*, Т. 58, № 11, С. 49-56. DOI: [10.20535/S0021347015110059](https://doi.org/10.20535/S0021347015110059).

12. Gard, R.; Bahl, I.; Bozzi, M. *Micristrip lines and slotlines*, 3rd ed. Boston, London: Artech House, 2013. 590 p.

13. Нелин, Е. А. “Моделирование и повышение избирательности кристаллоподобных структур,” *ЖТФ*, Т. 74, № 11, С. 70-74, 2004. URI: <http://journals.ioffe.ru/articles/8413>.

14. Нелин, Е. А. “Краевая аподизация кристаллоподобных структур,” *ЖТФ*, Т. 75, № 11, С. 120-121, 2005. URI: <http://journals.ioffe.ru/articles/8718>.

Поступила в редакцию 18.05.2016

После переработки 13.03.2018