

УДК

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧАСТОТНО-СЕЛЕКТИВНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЛЯ МНОГОДИАПАЗОННЫХ И ДВУХПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ПРИМЕНЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ИТЕРАЦИОННОГО МЕТОДА ВОЛНОВОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ

А. ДЖУЙМАА¹, М. ТИТАУЙНЕ^{1,2}, И. АДУИ², Т. Р. ДЕ СОУЗА³, А. Г. НЕТО³, Г. БАДРО⁴

¹Университет Батны,

Алжир, Батна, 05000

²Университет Башира эль-Ибрахима,

Алжир, Бордж-Бу-Арреридж, El Anasseur 34625

³Федеральный университет штата Параиба,

Бразилия, Жуан-Песоа, Параиба, CEP 58015-430

⁴Университет Тулузы,

Франция, Тулуза, BP 7122, F-31071

Аннотация. В статье предложена новая многодиапазонная двухполяризационная частотно-селективная поверхность FSS (frequency selective surface) для применения в обтекателях антенн скрытных радиолокаторов. Конструкция основана на структуре разомкнутого металлического кольца со связанными концами полосок. Предложенная FSS одновременно отражает электромагнитные волны на частотах 9,1, 10,8 и 11,5 ГГц с полосами отражения 900, 100 и 200 МГц, соответственно, при возбуждении структуры плоской волной, поляризованной вдоль оси x , и отражает на одной частоте 7,3 ГГц с полосой отражения 1000 МГц, если структура возбуждается плоской волной y -поляризации. Получение необходимых частотных характеристик обеспечивается за счет варьирования длины связанных полосок FSS и левого края вертикально ориентированной П-подобной металлической полоски, входящей в структуру FSS. Достигнуто расширение полос отражения при возбуждении FSS волной x -поляризации с 900 до 1500 МГц и с 200 и 100 до 500 МГц. Результаты моделирования, полученные итерационным методом волнового представления, сравнены с результатами моделирования, полученными с помощью программного обеспечения COMSOL multiphysics software 4.3b, и результатами измерений. Достигнуто хорошее согласование результатов.

Ключевые слова: FSS; итерационный метод волнового представления; разомкнутое металлическое кольцо со связанными концами полосок; вертикальная П-подобная металлическая полоска; обтекатели для скрытных радиолокаторов; многодиапазонный режим работы; двойная поляризация; частотная настройка; расширение полосы отражения

1. ВВЕДЕНИЕ

В последнее время возрастает потребность в частотно-селективных поверхностях FSS (frequency selective surface), имеющих небольшие размеры, многодиапазонный и двухполяризационный режимы работы [1–3]. Использование многочастотного и поляризационного разнесения уменьшает интерференционные

помехи электромагнитных волн, что является необходимым в беспроводных системах связи [4, 5]. Структуры на основе FSS широко применяются в системах связи, начиная со сверхвысокочастотных систем и антенн, и заканчивая радиолокаторами и спутниковыми системами связи [6, 7].

Одним из важных применений FSS являются гибридные обтекатели, используемые

DOI: [10.20535/S0021347017030025](https://doi.org/10.20535/S0021347017030025)

© А. Джуймаа, М. Титауйне, И. Адуи, Т. Р. де Souza, А. Г. Нето, Г. Бадро, 2017

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Qiang T. A compact dual-wideband bandpass filter using two triple-mode resonators for S-band applications / Tian Qiang, Cong Wang, Nam Young Kim // *Microw. Opt. Technol. Lett.* — Jan. 2015. — Vol. 57, No. 1. — P. 153–157. — DOI : [10.1002/mop.28799](https://doi.org/10.1002/mop.28799).
2. Koley S. A planar microstrip-fed tri-band filtering antenna for WLAN/WiMAX applications / Santasri Koley, Debjani Mitra // *Microw. Opt. Technol. Lett.* — Jan. 2015. — Vol. 57, No. 1. — P. 233–237. — DOI : [10.1002/mop.28813](https://doi.org/10.1002/mop.28813).
3. Lim I. CPW-fed arbitrary frequency-switchable antenna using CRLH transmission line / Inseop Lim, Sungjoon Lim // *ETRI J.* — Feb. 2014. — Vol. 36, No. 1. — P. 151–154. — DOI : [10.4218/etrij.14.0213.0027](https://doi.org/10.4218/etrij.14.0213.0027).
4. Microstrip antenna using H-slotted ground structure for orthogonally polarized dual-band operation / Haechul Choi, Eunsook Lim, Dong-Hyo Lee, Seongmin Pyo // *Microw. Opt. Technol. Lett.* — Jan. 2016. — Vol. 58, No. 1. — P. 136–139. — DOI : [10.1002/mop.29512](https://doi.org/10.1002/mop.29512).
5. An active ring slot with RF MEMS switchable radial stubs for reconfigurable frequency selective surface applications / R. Martinez-Lopez, J. Rodriguez-Cuevas, A. E. Martynyuk, J. I. Martinez-Lopez // *PIER.* — 2012. — Vol. 128. — P. 419–440. — DOI : [10.2528/PIER12041207](https://doi.org/10.2528/PIER12041207).
6. Azemi S. N. A reconfigurable FSS using a spring resonator element / Saidatul Norlyana Azemi, Kamran Ghorbani, Wayne S. T. Rowe // *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.* — 2013. — Vol. 12. — P. 781–784. — DOI : [10.1109/LAWP.2013.2270950](https://doi.org/10.1109/LAWP.2013.2270950).
7. Li M. Liquid-tunable frequency selective surfaces / Meng Li, Bin Yu, Nader Behdad // *IEEE Microwave*

Wireless Compon. Lett. — Aug. 2010. — Vol. 20, No. 8. — P. 423–425. — DOI : [10.1109/LMWC.2010.2049257](https://doi.org/10.1109/LMWC.2010.2049257).

8. A FSS with stable performance under large incident angles / Tao Ma, Hang Zhou, Yuan Yang, Bo Liu // *PIER Lett.* — 2013. — Vol. 41. — P. 159–166. — DOI : [10.2528/PIERL13061703](https://doi.org/10.2528/PIERL13061703).

9. Filter-antenna consisting of conical FSS radome and monopole antenna / Hang Zhou, Shaobo Qu, Baoqin Lin, Jiafu Wang, Hua Ma, Zhuo Xu, Weidong Peng, Peng Bai // *IEEE Trans. Antennas Propag.* — Jun. 2012. — Vol. 60, No. 6. — P. 3040–3045. — DOI : [10.1109/TAP.2012.2194648](https://doi.org/10.1109/TAP.2012.2194648).

10. Dual-polarized FSS with wide frequency tunability and simple bias network / Hang Zhou, Xinhua Wang, Shaobo Qu, Lin Zheng, Hangying Yuan, Mingbao Yan, Yongfeng Li, Jiafu Wang, Hua Ma, Zhuo Xu // *Progress in Electromagnetics Research : Symp. PIERS*, 25–28 Aug. 2014, Guangzhou, China : proc. — 2014.

11. Nachal S. L. Design of frequency selective structures for radio wave propagation / S. Lalitha Nachal, B. Monica, M. Ramani // *Int. J. P2P Network Trends Technol.* — Apr. 2014. — Vol. 7, No. 4. — P. 34–39. — URL : <http://www.ijptjournal.org/archives/ijptt-v7p407>.

12. Chang T. K. Frequency selective surfaces on biased ferrite substrates / T. K. Chang, R. J. Langley, E. A. Parker // *Electron. Lett.* — 1994. — Vol. 30, No. 15. — P. 1193–1194. — DOI : [10.1049/el:19940823](https://doi.org/10.1049/el:19940823).

13. Measurement of electromagnetic properties of liquid crystals at 300 GHz using a tunable FSS / R. Simms, Raymond Dickie, Robert Cahill, Neil Mitchell, Harold Gamble, Vincent Fusco // *Antennas for Space Applications : 31st ESA Antenna Workshop*, 1 Oct. 2010, Noordwijk, Netherlands : proc. — 2010.

14. Chang T. K. Active frequency-selective surfaces / T. K. Chang, R. J. Langley, E. A. Parker // *IEE Proc. Microwaves, Antennas Propag.* — Feb. 1996. — Vol. 143, No. 1. — P. 62–66. — DOI : [10.1049/ip-map:19960115](https://doi.org/10.1049/ip-map:19960115).

15. Electromagnetic modeling of quasi-square open metallic ring frequency selective surface using wave concept iterative procedure / Mohammed Titaouine, Nathalie Raveu, Alfredo Gomes Neto, Henri Baudrand // *ETRI J.* — Feb. 2009. — Vol. 31, No. 1. — P. 77–79. — DOI : [10.4218/etrij.09.0208.0268](https://doi.org/10.4218/etrij.09.0208.0268).

16. Efficient analysis of complex FSS structure using the WCIP method / Sassi Aroussi, Latrach Latrach, Noureddine Sboui, Ali Gharsallah, Abdelhafidh Gharbi, Henry Baudrand // *J. Electromagnetic Analysis Applications.* — 2011. — Vol. 3. — P. 447–451. — DOI : [10.4236/jemaa.2011.311071](https://doi.org/10.4236/jemaa.2011.311071).

17. Analysis of frequency selective surface isotropic/anisotropic layers using WCIP method / Mohammed Titaouine, Alfredo Gomes Neto, Henri Baudrand, Farid Djahli // *ETRI J.* — Feb. 2007. — Vol. 29, No. 1. — P. 36–44. — DOI : [10.4218/etrij.07.0106.0123](https://doi.org/10.4218/etrij.07.0106.0123).

Поступила в редакцию 08.04.2016

После переработки 01.07.2016