

УДК

## УЛУЧШЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПРЯМОУГОЛЬНОЙ МИКРОПОЛОСКОВОЙ АНТЕННЫ С ПОМОЩЬЮ ДВОЙНОГО Н-ОБРАЗНОГО МЕТАМАТЕРИАЛА

ПРИТ КАУР<sup>1</sup>, С. К. АГАРВАЛ<sup>1</sup>, АСОК ДЕ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>УМСА университет науки и технологий,  
Индия, Фаридабад, Харьяна

<sup>2</sup>Национальный технологический институт,  
Индия, Патна

**Аннотация.** В статье описана разработанная прямоугольная микрополосковая антенна (ПМА) с использованием двойного Н-образного метаматериала. Вначале разработан и оптимизирован двойной Н-образный метаматериал для резонансной частоты микрополосковой антенны 5,2 ГГц. Установлено, что включение этого метаматериала в подложку под антенной базовой конфигурации улучшает ее обратные потери и рабочую полосу частот без изменения резонансной частоты и коэффициента усиления. Для дальнейшего повышения коэффициента усиления и коэффициента полезного действия ПМА со встроенным метаматериалом в структуру антенны добавлена надложка из двойного Н-образного метаматериала на расстоянии  $\lambda/3$  над антенной. В результате получена ПМА с использованием метаматериалов, которая обеспечивает высокий коэффициент усиления, широкую рабочую полосу частот и хорошее согласование сопротивлений. Предложенная антенна смоделирована и оптимизирована с помощью программного обеспечения HFSS. Изготовлен опытный образец антенны и результаты измерений характеристик этой антенны хорошо согласуются с результатами моделирования.

**Ключевые слова:** метаматериал; прямоугольная микрополосковая антенна; ПМА; коэффициент отражения

### 1. ВВЕДЕНИЕ

В современных беспроводных и электронных системах значительно повышается потребность в компактных, широкополосных, недорогих и легких излучателях с высоким коэффициентом усиления и простой системой подачи питания [1, 2]. Обычная прямоугольная микрополосковая антенна (ПМА), которая используется в беспроводных приложениях, имеет низкий профиль, простоту конструкции, низкую стоимость, простоту изготовления и простую систему подачи питания, однако эта антенна имеет низкий коэффициент усиления и узкую рабочую полосу частот из-за влияния поверхностной волны на ее диаграмму излу-

чения [3]. Для решения этой проблемы возможно использовать решетку из микрополосковых антенн, но ее применение ограничивается сложной системой подачи питания и более низким коэффициентом полезного действия.

Недавно исследователями предложено использование метаматериала для разработки антенн с улучшенными характеристиками и пониженным профилем [1]. Метаматериалы являются искусственными материалами, которые образованы путем внедрения специфических включений в материал-основу и могут быть спроектированы таким образом, чтобы обеспечивать требуемые электромагнитные свойства.

DOI: [10.20535/S0021347016110030](https://doi.org/10.20535/S0021347016110030)

© Прит Каур, С. К. Агарвал, Асок Де, 2016

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Metamaterial superstrate and electromagnetic band-gap substrate for high directive antenna / Huiliang Xu, Zeyu Zhao, Yueguang Lv, Chunlei Du, Xiangang Luo // *Int. J. Infrared Millimeter Waves*. — 2008. — Vol. 29, No. 5. — P. 493–498. — DOI : [10.1007/s10762-008-9344-y](https://doi.org/10.1007/s10762-008-9344-y).
2. Planar and cylindrical metamaterial structures for antenna applications / A. Chauraya, J. Kelly, G. K. Palikaras, C. B. Mulenga, J. A. Flint, A. P. Feresidis, J. C. Vardaxoglou // *EMTS Int. URSI Commision B-Electromagnetic Theory Symp.* July 2007.
3. *Liang J.* Radiation characteristics of a microstrip patch over an electromagnetic bandgap surface / Jing Liang, Hung-Yu David Yang // *IEEE Trans. Antenna*

Propag. — Jun. 2007. — Vol. 55, No. 6. — P. 1691–1697. — DOI : [10.1109/TAP.2007.898633](https://doi.org/10.1109/TAP.2007.898633).

4. *Kock W. P.* Metal-lens antennas / W. P. Kock // Proc. IRE. — Nov. 1946. — Vol. 34, No. 11. — P. 828–836. — DOI : [10.1109/JRPROC.1946.232264](https://doi.org/10.1109/JRPROC.1946.232264).

5. A study of using metamaterials as antenna substrate to enhance gain / B.-I. Wu, W. Wang, J. Pacheco, X. Chen, T. M. Grzegorzczak, J. A. Kong // PIER. — 2005. — Vol. 51. — P. 295–328. — DOI : [10.2528/PIER04070701](https://doi.org/10.2528/PIER04070701).

6. Near-field plane-wave-like beam emitting antenna fabricated by anisotropic metamaterial / Y. G. Ma, P. Wang, X. Chen, C. K. Ong // Appl. Phys. Lett. — 2009. — Vol. 94. — P. 044107. — DOI : [10.1063/1.3077128](https://doi.org/10.1063/1.3077128).

7. Rectangular microstrip patch antenna with “pentagonal rings” shaped metamaterial cover / Bimal Garg, Nitin Agrawal, Vijay Sharma, Ankita Tomar, Prashant Dubey // Communication Systems and Network Technologies : Int. Conf. CSNT, 11–13 May 2012, Rajkot : proc. — IEEE, 2012. — P. 40–44. — DOI : [10.1109/CSNT.2012.18](https://doi.org/10.1109/CSNT.2012.18).

8. A compact multi-split ring resonator loaded antenna / R. Pandeewari, S. Raghavan, Pravin A. Bagde, Ananda Kumar Chittipothul // Communications and Signal Processing : Int. Conf. ICCSP, 3–5 Apr. 2013, Melmaruvathur : proc. — IEEE, 2013. — P. 807–810. — DOI : [10.1109/iccsp.2013.6577168](https://doi.org/10.1109/iccsp.2013.6577168).

9. Hybrid mode wideband patch antenna loaded with a planar metamaterial unit cell / Jaegeun Ha, Kyeol Kwon, Youngki Lee, Jaehoon Choi // IEEE Trans. Antennas Propag. — Feb. 2012. — Vol. 60, No. 2. — P. 1143–1147. — DOI : [10.1109/TAP.2011.2173114](https://doi.org/10.1109/TAP.2011.2173114).

10. A low-cost compact patch antenna with beam steering based on CSRR-loaded ground / Wenquan Cao, Yang Xiang, Bangning Zhang, Aijun Liu, Tongbin Yu, Daosheng Guo // IEEE Antennas Wireless Propag. Lett. — 2011. — Vol. 10. — P. 1520–1523. — DOI : [10.1109/LAWP.2011.2181316](https://doi.org/10.1109/LAWP.2011.2181316).

11. *Attia H.* Artificial magneto-superstrates for gain and efficiency improvement of microstrip antenna arrays / H. Attia, O. Siddiqui, O. M. Ramahi // Progress in Electromagnetics Research Symp., 5–8 Jul. 2010, Cambridge, USA : proc. — 2010. — P. 878–881.

12. *Palandoken M.* Broadband microstrip antenna with left-handed metamaterials / Merih Palandoken, Andre Grede, Heino Henke // IEEE Trans. Antennas Propag. — Feb. 2009. — Vol. 57, No. 2. — P. 331–338. — DOI : [10.1109/TAP.2008.2011230](https://doi.org/10.1109/TAP.2008.2011230).

13. *Kaur P.* Design of compact rectangular patch antenna using square grid and I shaped metamaterial / Preet Kaur, S. K. Aggarwal, Asok De // Signal Processing and Communication : Int. Conf. ICSC, 16–18 Mar. 2015, Noida : proc. — IEEE, 2015. — P. 132–135. — DOI : [10.1109/ICSPCom.2015.7150634](https://doi.org/10.1109/ICSPCom.2015.7150634).

14. *Blaha M.* Planar resonators for metamaterials / Michal Blaha, Jan Machac // Radioengineering. — Sept. 2012. — Vol. 21, No. 3. — P. 852–859. — URL : [http://www.radioeng.cz/fulltexts/2012/12\\_03\\_0852\\_0859.pdf](http://www.radioeng.cz/fulltexts/2012/12_03_0852_0859.pdf).

15. *Kaur P.* Double H shaped metamaterial embedded compact RMPA / Preet Kaur, S. K. Aggarwal, Asok De // Advances in Computing, Communications and Informatics : Int. Conf. ICACCI, 24–27 Sept. 2014, New Delhi : proc. — IEEE, 2014. — P. 483–486. — DOI : [10.1109/ICACCI.2014.6968492](https://doi.org/10.1109/ICACCI.2014.6968492).

16. *Pozar D. M.* Microstrip Antennas: The Analysis and Design of Microstrip Antennas and Arrays / David M. Pozar, Daniel H. Schaubert. — New York : IEEE Press, 1995. — DOI : [10.1109/9780470545270](https://doi.org/10.1109/9780470545270).

17. *Nicolson A. M.* Measurement of the intrinsic properties of materials by time-domain techniques / A. M. Nicolson, G. F. Ross // IEEE Trans. Instrum., Meas. — Nov. 1970. — Vol. 19, No. 4. — P. 377–382. — DOI : [10.1109/tim.1970.4313932](https://doi.org/10.1109/tim.1970.4313932).

18. *Weir W. B.* Automatic measurement of complex dielectric constant and permeability at microwave frequencies / W. B. Weir // Proc. IEEE. — Jan. 1974. — Vol. 62, No. 1. — P. 33–36. — DOI : [10.1109/PROC.1974.9382](https://doi.org/10.1109/PROC.1974.9382).

19. *Ziolkowski R. W.* Design fabrication, and testing of double negative metamaterials / R. W. Ziolkowski // IEEE Trans. Antennas Propag. — Jul. 2003. — Vol. 51, No. 7. — P. 1516–1529. — DOI : [10.1109/TAP.2003.813622](https://doi.org/10.1109/TAP.2003.813622).

Поступила в редакцию 08.09.2015

После переработки 06.06.2016