УДК 621.396.67

ПЛАНАРНАЯ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНАЯ АНТЕННА С ДВУМЯ ЧАСТОТАМИ РЕЖЕКЦИИ И НАКЛОНЕННЫМИ ЭЛЛИПТИЧЕСКИМИ РАЗОМКНУТЫМИ КОЛЬЦЕВЫМИ РЕЗОНАТОРАМИ

ГХИДА Т. АХМЕД¹, АХМЕД С. ЕЛКОРАНИ¹, ДЕМЯНА А. САЛИБ²

¹ Университет Менуфия,
Египет, Аль-Минуфья

² Университет Кафр-Эльшейх,
Египет, Кафр-Эльшейх

Аннотация. В статье рассмотрен эллиптический разомкнутый кольцевой резонатор ESRR (elliptical split ring resonator), нагруженный на сверхширокополосную UWB (ultra wideband) монополярную полосковую антенну PMA (printed monopole antenna) с копланарным подводом питания, с двумя частотами режекции 5,2 и 6,9 ГГц, для подавления сигналов беспроводных устройств WLAN и С-диапазона соответственно. Антенна изготовлена на диэлектрической подложке из дюроида толщиной 1,6 мм с $\epsilon_r = 2,2$. Используются два ESRR-резонатора с разными размерами для создания характеристики с двумя частотами режекции. Детали предлагаемой антенны представлены вместе с результатами моделирования. Исследовано влияние размеров и положения колец ESRR. Также изучено влияние вращения ESRR на частоту режекции. Диаграммы направленности смоделированы с помощью HFSS и можно наблюдать всенаправленную диаграмму направленности в H -плоскости. В сверхширокополосном частотном диапазоне групповая задержка практически постоянна, за исключением резких искажений на частотах режекции. Предложенная антенна является хорошим решением для современных сверхширокополосных систем. Для моделирования предлагаемых структур с использованием HFSS и CST использовались методы конечных элементов (FEM) и конечных итераций (FIT). Получено хорошее соответствие между двумя результатами.

Ключевые слова: CPW; planar monopole; UWB; Band notch; Group delay; SRR; HFSS; CST

1. ВВЕДЕНИЕ

Начиная с февраля 2002 года происходит скачок в научных исследованиях вследствие постановления Федеральной комиссии связи (FCC), что диапазон UWB (ultra wideband) может использоваться для передачи данных, а также для радиолокации и обеспечения безопасности [1]. FCC впервые определила UWB как любую систему, имеющую ширину полосы частот не менее 500 МГц или относительную ширину полосы более 0,20.

Причинами, по которым в последние годы сверхширокополосная связь привлекла внима-

ние, являются более высокие скорости передачи данных, низкое энергопотребление в широкой полосе частот и т.д. [2]. По сравнению с обычными или узкополосными системами, сверхширокополосные (UWB) системы с большей полосой пропускания используются в основном для передачи. Мощность, используемая во всей полосе, намного ниже, чем мощность, используемая узкополосными системами [3].

В 2002 году FCC разрешил использовать полосу частот 3,1–10,6 ГГц для нелицензированной UWB передачи. Эффективная изотроп-

DOI: [10.20535/S0021347019030038](https://doi.org/10.20535/S0021347019030038)

© Гхида Т. Ахмед, Ахмед С. Елкорани, Демяна А. Салиб, 2019

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. FCC, First Report and Order 02-48. Feb. 2002.
2. Oppermann, I.; Hamalainen M.; Iinatti, J. *UWB Theory and Applications*. John Wiley & Sons, Ltd, 2004.
3. Wentzloff, D. D.; Blazquez, R.; Lee, F. S.; Ginsburg, B. P.; Powell, J.; Chandrakasan, A. P. "System design consideration for ultra-wideband communication," *IEEE Commun. Mag.*, Vol. 43, No. 8, p. 114-121, Aug. 2005. DOI: [10.1109/MCOM.2005.1497561](https://doi.org/10.1109/MCOM.2005.1497561).
4. Ray, K. P.; Kumar, G.; Anob, P. "Wideband circular wire mesh and annular ring monopole antennas," *Microwave Opt. Technol. Lett.*, Vol. 48, No. 12, p. 2459-2461, 2006. DOI: [10.1002/mop.21977](https://doi.org/10.1002/mop.21977).
5. Schantz, H. G. "Planar elliptical element ultra-wideband dipole antennas," *IEEE Antennas and Propagation Society Int. Symp.*, 16-21 Jun. 2002, San Antonio, USA. IEEE, 2002, Vol. 3, p. 44. DOI: [10.1109/APS.2002.1018152](https://doi.org/10.1109/APS.2002.1018152).
6. Ray, K. P. "Design aspects of printed monopole antennas for ultra-wide band applications," *Int. J. Antennas Propag.*, Vol. 2008, ID 713858, 2008. DOI: [10.1155/2008/713858](https://doi.org/10.1155/2008/713858).

7. Sun, X.-B.; Cao, M.-Y.; Guo, Y.-J.; Hao, J.-J. "A planar circular disc monopole with improved bandwidth," *Microwave Opt. Technol. Lett.*, Vol. 54, No. 3, p. 593-595, 2012. DOI: [10.1002/mop.26595](https://doi.org/10.1002/mop.26595).
8. Choi, W.; Chung, K.; Jung, J.; Choi, J. "Compact ultra-wideband printed antenna with band-rejection characteristic," *Electron. Lett.*, Vol. 41, No. 18, p. 990-991, Sep. 2005. DOI: [10.1049/el:20052361](https://doi.org/10.1049/el:20052361).
9. Hamad, E. K. I.; Mahmoud, N. "Compact tri-band notched characteristics UWB antenna for WiMAX, WLAN and X-band applications," *Advanced Electromagnetics*, Vol. 6, No. 2, May 2017. DOI: [10.7716/aem.v6i2.465](https://doi.org/10.7716/aem.v6i2.465).
10. Awida, M.; Boutejdar, A.; Safwat, A.; El-Hennawy, H.; Omar, A. "Multi-bandpass filters using multi-armed open loop resonators with direct feed," *IEEE/MTT-S Int. Microwave Symp.*, 3-8 Jun. 2007, Honolulu, USA. IEEE, 2007, pp. 913-916. DOI: [10.1109/MWSYM.2007.380129](https://doi.org/10.1109/MWSYM.2007.380129).
11. Venkata, S. K.; Rana, Muktikanta; Bakariya, Pritam S.; Dwari, Santanu; Sarkar, Manas. "Planar ultrawideband monopole antenna with tri-notch band characteristics," *PIER C*, Vol. 46, p. 163-170, 2014. DOI: [10.2528/PIERC13122301](https://doi.org/10.2528/PIERC13122301).
12. Zhang, Y.; Hong, W.; Yu, C.; Kuai, Z.-Q.; Don, Y.-D.; Zhou, J.-Y. "Planar ultrawideband antennas with multiple notched bands based on etched slots on the patch and/or split ring resonators on the feed line," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, Vol. 56, No. 9, p. 3063-3068, 2008. DOI: [10.1109/TAP.2008.928815](https://doi.org/10.1109/TAP.2008.928815).
13. Neyestanak, A. A. L.; Kalteh, A. A. "Band-notched elliptical slot UWB microstrip antenna with elliptical stub filled by the H-shaped slot," *J. Electromagn. Waves Appl.*, Vol. 22, No. 14-15, p. 1993-2002, 2008. DOI: [10.1163/156939308787537973](https://doi.org/10.1163/156939308787537973).
14. Yazdi, M.; Komjani, N. "A compact band-notched UWB planar monopole antenna with parasitic elements," *PIER Lett.*, Vol. 24, p. 129-138, 2011. DOI: [10.2528/PIERL11043002](https://doi.org/10.2528/PIERL11043002).
15. Liao, X.-J.; Yang, H.-C.; Han, N.; Li, Y. "UWB antenna with dual narrow band notches for lower and upper WLAN bands," *Electronics Lett.*, Vol. 46, No. 24, p. 1593-1594, 2010. DOI: [10.1049/el.2010.1943](https://doi.org/10.1049/el.2010.1943).
16. Li, L.; Zhou, Z.-L.; Hong, J.-S.; Wang, B.-Z. "Compact dual-band-notched UWB planar monopole antenna with modified SRR," *Electronics Lett.*, Vol. 47, No. 17, p. 950-951, 2011. DOI: [10.1049/el.2011.1874](https://doi.org/10.1049/el.2011.1874).
17. Jiang, D.; Xu, Y.; Xu, R.; Lin, W. "Compact dual-band-notched UWB planar monopole antenna with modified CSRR," *Electron. Lett.*, Vol. 48, No. 20, p. 1250-1252, Sep. 2012. DOI: [10.1049/el.2012.2489](https://doi.org/10.1049/el.2012.2489).
18. Jiang, W.; Che, W. "A novel UWB antenna with dual notched bands for WiMAX and WLAN applications," *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, Vol. 11, p. 293-296, 2012. DOI: [10.1109/LAWP.2012.2190490](https://doi.org/10.1109/LAWP.2012.2190490).
19. Tang, M.-C.; Xiao, S.; Deng, T.; Wang, D.; Guan, J.; Wang, B.; Ge, G.-D. "Compact UWB antenna with multiple band-notches for WiMAX and WLAN," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, Vol. 59, No. 4, p. 1372-1376, Apr. 2011. DOI: [10.1109/TAP.2011.2109684](https://doi.org/10.1109/TAP.2011.2109684).
20. Peng, Lin; Ruan, Cheng-Li. "UWB band-notched monopole antenna design using electromagnetic-bandgap structures," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol. 59, No. 4, p. 1074-1081, 2011. DOI: [10.1109/TMTT.2011.2114090](https://doi.org/10.1109/TMTT.2011.2114090).
21. Siddiqui, J. Y.; Saha, C.; Antar, Y. M. M. "Compact SRR loaded UWB circular monopole antenna with frequency notch characteristics," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, Vol. 62, No. 8, p. 4015-4020, 2014. DOI: [10.1109/TAP.2014.2327124](https://doi.org/10.1109/TAP.2014.2327124).
22. Siddiqui, J. Y.; Saha, C.; Antar, Y. M. M. "Compact dual-SRR-loaded UWB monopole antenna with dual frequency and wideband notch characteristics," *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, Vol. 14, p. 100-103, 2015. DOI: [10.1109/LAWP.2014.2356135](https://doi.org/10.1109/LAWP.2014.2356135).
23. Saha, Chinmoy; Siddiqui, Jawad Y.; Antar, Y. M. M. "Multilayered stacked square SRR coupled UWB monopole antenna with dual notch function," *Proc. of IEEE Antennas and Propagation Society Int. Symp.*, 6-11 Jul 2014, Memphis, USA. IEEE, 2014, pp. 787-788. DOI: [10.1109/APS.2014.6904723](https://doi.org/10.1109/APS.2014.6904723).
24. Nitas, M.; Passia, M.-T.; Yioultsis, T. V. "Analysis and design of a CSRR-based fully planar substrate-integrated waveguide for millimeter-wave circuits and antennas," *Proc. of 11th European Conf. on Antennas and Propagation*, EUCAP, 19-24 Mar 2017, Paris, France. IEEE, 2017, pp. 3501-3505, 2017. DOI: [10.23919/EuCAP.2017.7928832](https://doi.org/10.23919/EuCAP.2017.7928832).
25. Nordin, M. A. W.; Islam, M. T.; Misran, N. "Design of a compact ultra wideband metamaterial antenna based on the modified split-ring resonator and capacitively loaded strips unit cell," *PIER*, Vol. 136, p. 157-173, 2013. DOI: [10.2528/PIER12100708](https://doi.org/10.2528/PIER12100708).
26. Elkorany, A. S.; Ahmed, Ghidaa T.; Elhalafawy, Said M.; Saleeb, Demyana A. "New dual band notched UWB monopole antenna using two HSRs," *Wireless Commun.*, Vol. 9, No. 6, p. 129-132, 2017. URI: <http://www.citresearch.org/dl/index.php/wc/article/view/WC072017005>.
27. Elkorany, A. S.; Ahmed, Ghidaa T.; Saleeb, Demyana A.; Mohamed, Hesham A. "Tunable elliptical split ring resonator using single varactor diode," *Advanced Electromagnetics*, Vol. 7, No. 1, p. 7-12, 2018. DOI: [10.7716/aem.v7i1.580](https://doi.org/10.7716/aem.v7i1.580).
28. <http://www.ansys.com/Products/Electronics/ANSYS-HFSS>.
29. <https://www.cst.com/products/cstmws>.

Поступила в редакцию 14.08.2017

После доработки 23.04.2018

Принята к публикации 18.12.2018