

Печатные сверхширокополосные антенны с узкими полосами запираания

Разработаны сверхширокополосные (СШП) антенны, предназначенные для работы в диапазоне частот 2,5-12 ГГц, имеющие полосно-заграждающую характеристику: СШП антенна с 1, 2 и 3 полосами запираания. Продемонстрировано, что использование электрического кольцевого резонатора (ERR) в составе СШП антенны позволяет легко реализовать 1, 2 или 3 узкие полосы запираания на требуемых частотах. Результаты измерений прототипов СШП антенн с 1 и 2 полосами запираания, изготовленные по технологии производства печатных плат, хорошо соотносятся с рассчитанными данными.

Ключевые слова: сверхширокополосная (СШП) антенна, полоса запираания, электрический кольцевой резонатор (ERR), двухполосное запираание, трехполосное запираание

Сверхширокополосные (СШП) (англ. ultra-wide band – UWB) антенны – это антенны, предназначенные для применения в СШП радиолокации и СШП радиосвязи. После выделения Федеральной комиссией связи США (US Federal Communications Commission – FCC) диапазона частот 3,1-10,6 ГГц для безлицензионного использования UWB [1] повсеместное распространение получила технология беспроводной радиосвязи с одноименным названием «UWB». Для безлицензионного использования СШП сигналов в Российской Федерации выделен диапазон 2,85-10,6 ГГц [2].

В действительности внутри диапазона «UWB» имеются частоты, принадлежащие многим узкополосным беспроводным технологиям, например, WLAN (5,15-5,35 и 5,725-5,825 ГГц), WiMAX (3,3-3,69 ГГц) или спутниковая связь (7,25-7,75 ГГц). Для решения проблемы интерференции между «UWB» и такими узкополосными системами за последнее время было предложено множество конструкций СШП антенн с полосно-заграждающей характеристикой. Наиболее привлекательными являются планарные конструкции, выполненные по технологии производства печатных плат. Как правило, для реализации СШП антенны с полосно-заграждающей характеристикой используется исходная СШП антенна без полос запираания, в которую интегрируются дополнительные элементы, реализующие запираание. В качестве исходной антенны чаще всего выступают планарные реализации монополя, диполя, щелевой антенны с расширяющейся щелью, антенны Вивальди или рамочной антенны. Запирающими элементами, интегрированными в конструкцию антенны, могут выступать щели/шлейфы различных форм или разнообразные резонаторы (емкостно- или индуктивно-нагруженные, короткозамкнутые или разомкнутые), настроенные на требуемую частоту. Для реализации многополосного запираания, как правило, используется несколько запирающих элементов, настроенных на разные частоты [3-12], что усложняет конструкцию антенны и делает процесс проектирования довольно сложным.

Другой способ реализации полосно-заграждающей характеристики антенны – использование метаматериалов и EBG-структур [13-17]. EBG структуры препятствуют распространению поверхностных волн в диэлектрической подложке. Компоненты

метаматериалов – SRR и CSRR – также успешно использовались при проектировании компактных антенн с многополосным запырианием [18-20].

В настоящей работе за основу взята дисковая монополярная антенна, возбуждаемая копланарным волноводом (КПВ). Согласование антенны реализовано на ее первых 6 параллельных и 5 последовательных (не включая первый четвертьволновый последовательный) резонансах, что обеспечивает работу антенны в диапазоне частот 2,5-12 ГГц. Для обеспечения полосно-заграждающей характеристики предложен электрический кольцевой резонатор (electrical ring resonator – ERR), расположение которого над подводящей линией с противоположной стороны подложки реализует запыриание на частоте, определяемой геометрическими размерами ERR. Для реализации двухполосного запыриания может быть использовано каскадное соединение двух ERR различных размеров. В то же время, двухполосное запыриание может быть реализовано использованием модифицированного двухмодового ERR, в котором один резонатор меньших размеров помещен внутри другого. Для реализации трехполосного запыриания предложен аналогичный модифицированный трехмодовый ERR, содержащий уже три резонатора разных размеров, вложенных друг в друга.

Конструкция исходной СШП дисковой монополярной антенны без полос запыриания и ее характеристики (КСВН, коэффициент усиления) изображены на рис. 1. Антенна с габаритными размерами $50 \times 50 \text{ мм}^2$ состоит из экрана и дискового планарного излучателя, возбуждаемого КПВ, на диэлектрической подложке Rogers RO3003 толщиной 1,52 мм, относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon_r=3$ и тангенсом угла диэлектрических потерь $\tan \delta=0,0013$. Радиус дискового планарного излучателя 12,5 мм, 50-Ом подводящая линия реализована в виде КПВ с шириной линии 4 мм и двумя зазорами по 0,2 мм. Рассчитанный коэффициент усиления 2-5 дБ в рабочем диапазоне частот. Диаграммы направленности антенны на частотах 3,5, 5,8 и 7,6 ГГц изображены на рис. 2.

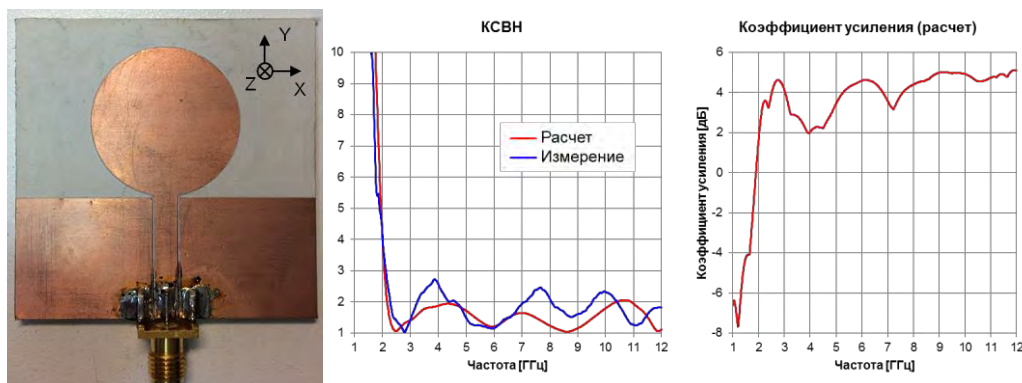


Рисунок 1.

Резонатор, включенный в линию передачи, реализует узкую полосу запыриания на частоте, определяемой его размерами. Для реализации полосы запыриания у исходной СШП антенны предлагается использовать электрический кольцевой резонатор (ERR), применяющийся при проектировании метаматериальных структур [21, 22]. Фото верхней и нижней сторон подложки и характеристики антенны (распределение поверхностного тока, КСВН и коэффициент усиления) изображены на рис. 3. Габариты резонатора $7 \times 7 \text{ мм}^2$, что соответствует появлению полосы запыриания антенны на частоте 5,8 ГГц.

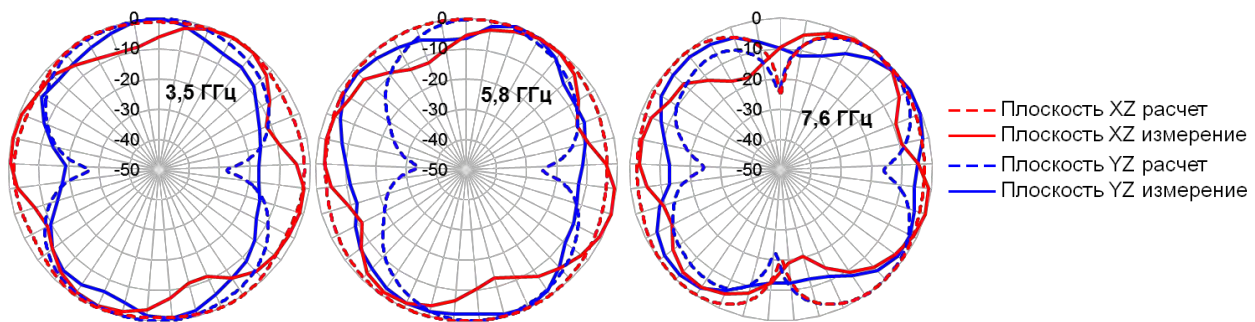


Рисунок 2.

Для реализации двухполосного запитания может быть использовано каскадное соединение двух ERR различных размеров, но в то же время такую же характеристику может реализовать более компактный и простой в настройке модифицированный двухмодовый ERR, в котором один резонатор меньших размеров помещен внутрь другого. Фото верхней и нижней сторон подложки и характеристики антенны с двухмодовым резонатором изображены на рис. 4. Размеры внутреннего резонатора $6 \times 6 \text{ мм}^2$, а внешние габариты резонатора $8,3 \times 8,3 \text{ мм}^2$, что соответствует полосам запитания на частотах 5,8 и 7,6 ГГц.

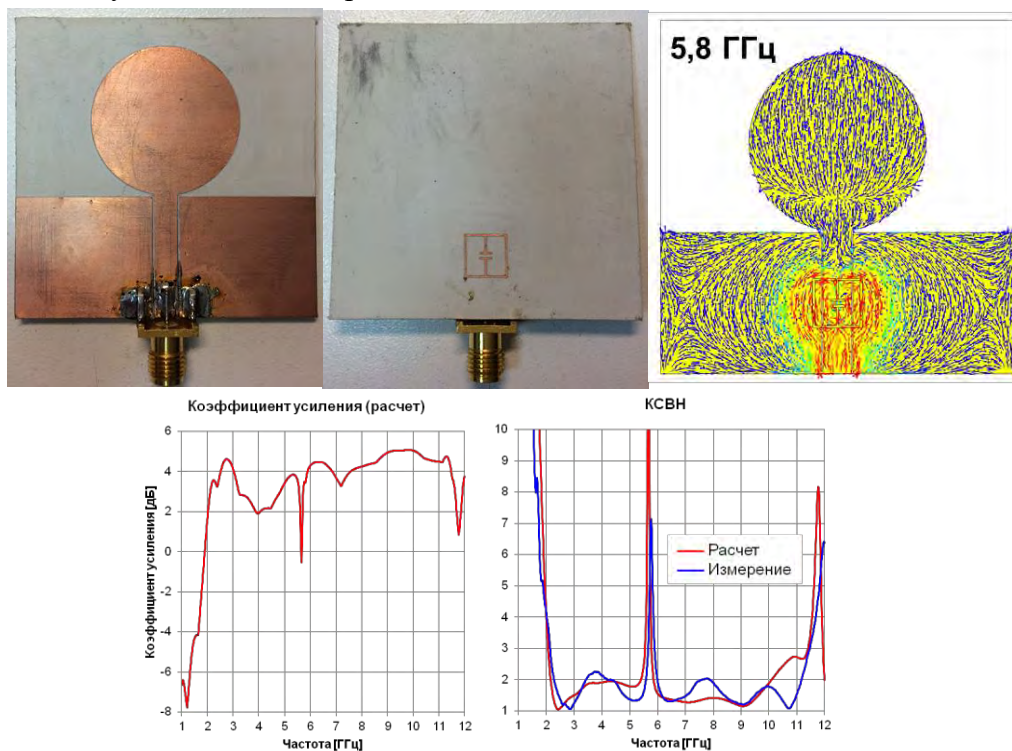


Рисунок 3.

Для реализации трехполосного запитания предлагается модифицированный трехмодовый ERR, содержащий три резонатора разных размеров, вложенных друг в друга. Конфигурация трехмодового резонатора и рассчитанные характеристики антенны с таким резонатором изображены на рис. 5. Размеры внутреннего резонатора $6 \times 6 \text{ мм}^2$, среднего – $8 \times 8 \text{ мм}^2$, габариты всего резонатора $10 \times 10 \text{ мм}^2$, что соответствует полосам запитания на частотах 3,5, 5,8 и 7,6 ГГц. В данном случае для реализации низкочастотного резонанса использовался встречно-штыревой конденсатор для увеличения емкости соответствующего контура.

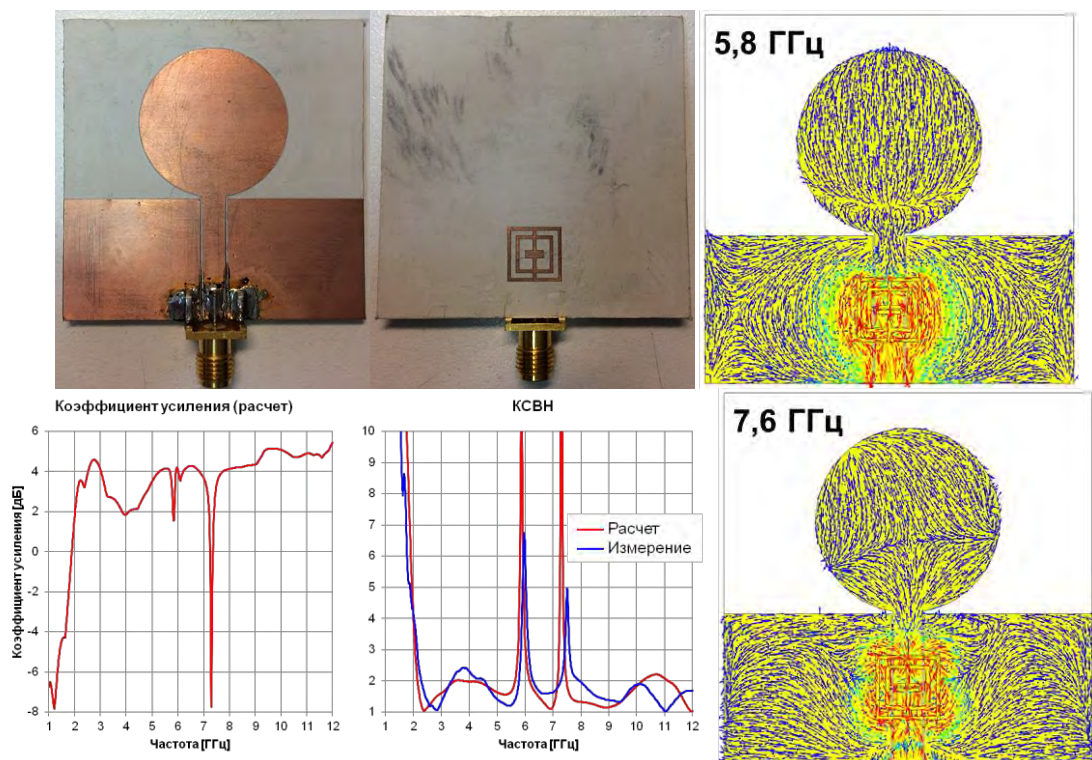


Рисунок 4.

В работе была продемонстрирована печатная СШП антенна с электрическими кольцевыми резонаторами (ERR) для обеспечения полосно-заграждающей характеристики.

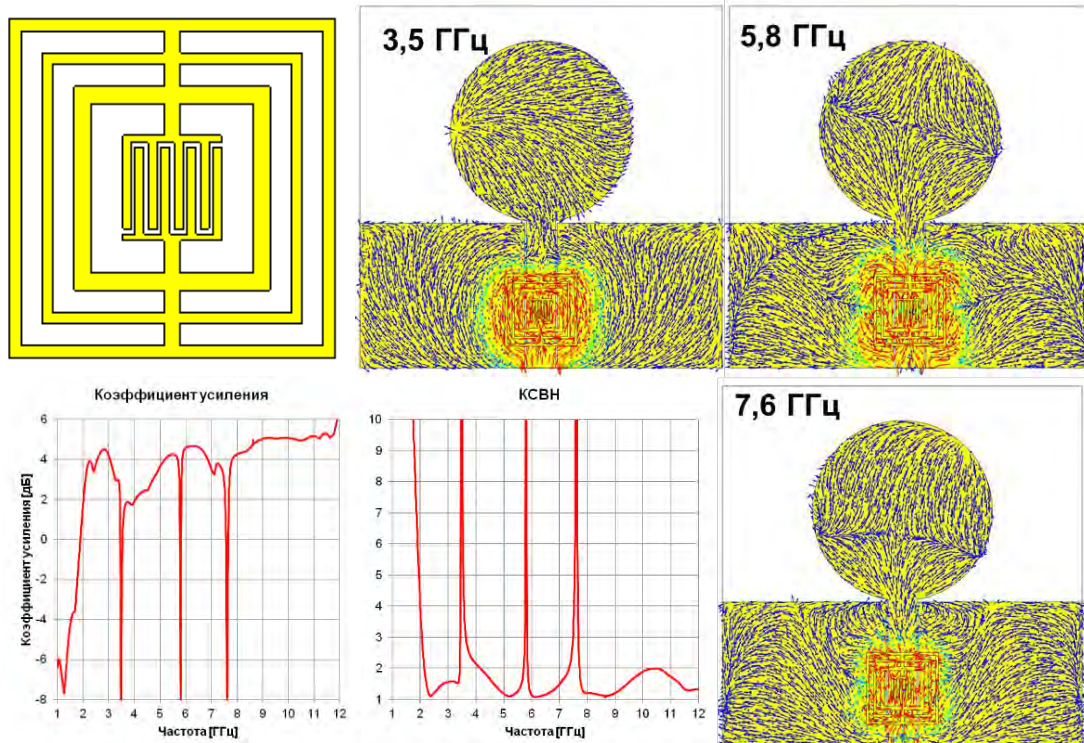


Рисунок 5.

Работа выполнена в рамках государственной работы «Проведение научно-исследовательских работ (фундаментальных научных исследований, прикладных научных

исследований и экспериментальных разработок)» проектной части государственного задания Минобрнауки России (задание № 8.2579.2014/К). Авторы выражают благодарность Филонову Дмитрию за помощь в проведении измерений.

Библиографический список

1. Federal Communications Commission, First Report and Order, FCC 02-48, February 14, 2002.
2. Решение ГКПЧ № 09-05-02 от 15 декабря 2009 г.
3. T. Mandal and S. Das, "Design and analysis of a coplanar waveguide fed ultrawideband hexagonal open slot antenna with WLAN and WiMAX band rejection," *Microw. Opt. Technol. Lett.*, 56, pp. 434–443, 2014.
4. X. Dong, Z. Liao, J. Xu, Q. Cai, and G. Liu, "Multiband and wideband planar antenna for WLAN and WiMAX applications," *Progress In Electromagnetics Research Letters*, vol. 46, pp. 101–106, 2014.
5. R. Karimian, H. Oraizi, and S. Fakhte, "Design of a compact ultra-wide-band monopole antenna with band rejection characteristics," *Microwaves, Antennas & Propagation, IET*, vol. 8, no. 8, pp. 604–610, June 4 2014.
6. D. Dong, S. Chen, Z. Liao, and G. Liu, "A CPW-fed dual-band-notched antenna with sharp skirt selectivity for UWB applications," *International Journal of Antennas and Propagation*, vol. 2014, 2014.
7. S. K. Venkata, M. Rana, P. S. Bakariya, S. Dwari, and M. Sarkar, "Planar ultrawideband monopole antenna with tri-notch band characteristics," *Progress In Electromagnetics Research C*, vol. 46, pp. 163–170, 2014.
8. P. S. Bakariya, S. Dwari, and M. Sarkar, "Triple band notch UWB printed monopole antenna with enhanced bandwidth," *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, vol. 69, no. 1, pp. 26–30, January 2015.
9. D. Sarkar, K. V. Srivastava, and K. Saurav, "A compact microstrip-fed triple band-notched UWB monopole antenna," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 13, pp. 396–399, 2014.
10. M. S. A. Rani, S. K. A. Rahim, M. R. Kamarudin, T. Peter, S. W. Cheung, and B. M. Saad, "Electromagnetic behaviors of thin film CPW-fed CSRR loaded on UWB transparent antenna," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 13, pp. 1239–1242, December 2014.
11. X. Wang, L. Wang, H. Zhou, and W. Lu, "A compact CPW-fed antenna with dual band-notched characteristics for UWB applications," *Microw. Opt. Technol. Lett.*, 56, pp. 1047–1049, 2014.
12. S. Jacob, A. O. Lindo, C. M. Nijas, C. K. Aanandan, and P. Mohanan, "Analysis of CPW-fed UWB antenna for WiMAX and WLAN band rejection," *Progress In Electromagnetics Research C*, vol. 52, pp. 83–92, 2014.
13. H. Liu and Z. Xu, "Design of UWB Monopole Antenna with Dual Notched Bands Using One Modified Electromagnetic-Bandgap Structure," *The Scientific World Journal*, 2013.
14. G. K. Pandey, H. S. Singh, P. K. Bharti, and M. K. Meshram, "Design of WLAN Band Notched UWB Monopole Antenna with Stepped Geometry using Modified EBG Structure," *Progress In Electromagnetics Research B*, vol. 50, pp. 201–217, 2013.
15. R. Singh, G. K. Pandey, M. Agarwal, H. S. Singh, P. K. Bharti, and M. K. Meshram, "Compact Planar Monopole Antenna with Dual Band Notched Characteristics Using T-Shaped Stub and Rectangular Mushroom Type Electromagnetic Band Gap Structure for UWB and Bluetooth Applications," *Wireless Personal Communications*, vol. 78, no. 1, pp. 215–230, September 2014.
16. L. Peng and C. L. Ruan, "Design and time-domain analysis of compact multi-band-notched UWB antennas with EBG structures," *Progress In Electromagnetics Research B*, vol. 47, pp. 339–357, 2013.
17. R. Karimian, H. Oraizi, S. Fakhte, "Design of a compact ultra-wide-band monopole antenna with band rejection characteristics," *Microwaves, Antennas & Propagation, IET*, vol. 8, no. 8, pp. 604–610, June 2014.
18. M. S. A. Rani, S. K. A. Rahim, M. R. Kamarudin, T. Peter, S. W. Cheung, and B. M. Saad, "Electromagnetic behaviors of thin film CPW-fed CSRR loaded on UWB transparent antenna," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 13, pp. 1239–1242, December 2014.
19. D. Sarkar, K. V. Srivastava, and K. Saurav, "A compact microstrip-fed triple band-notched UWB monopole antenna," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 13, pp. 396–399, 2014.
20. J. Y. Siddiqui, C. Saha, and Y. M. M. Antar, "Compact SRR loaded UWB circular monopole antenna With frequency notch characteristics," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 62, no. 8, pp. 4015–4020, August 2014.
21. D. Schurig, J. J. Mock, and D. R. Smith, "Electric-field-coupled resonators for negative permittivity metamaterials," *Appl. Phys. Lett.*, 88, 2006.
22. W. Withayachumnankul, C. Fumeaux, and D. Abbott, "Near-field interactions in electric inductive–capacitive resonators for metamaterials," *Journal of Physics D: Applied Physics*, vol. 45, no. 48, 2012.