

РАЗРАБОТКА СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОЙ АНТЕННЫ С ФУНКЦИЕЙ УПРАВЛЯЕМОЙ ЧАСТОТНОЙ СЕЛЕКЦИИ

Е. Н. КАТЕРИНКИНА¹, Е. П. ГРАХОВА²

¹katerinkina.en@ugatu.su, ²grakhova.ep@ugatu.su

ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» (УУНИТ)

Аннотация. В рамках постоянного совершенствования предоставляемых услуг связи предлагается разработка сверхширокополосной (СШП) антенны с функцией управляемой частотной селекции, предназначенной для работы в существующих и будущих системах связи. Описываются вариации создания СШП антенн с частотной избирательностью при использовании сегнетоэлектриков, представлены краткие теоретические сведения о сегнетоэлектриках и области их применения. Представлен разработанный прототип СШП антенны «Bug», на основании которого разработана и имитационно исследована функция частотной селекции. Рассмотрены различные способы технического исполнения антенны с сегнетоэлектриком, получены графики распределения обратных потерь и в результате продемонстрирована возможность управления резонансом антенны в диапазоне полосы 8,87 ГГц – 9,72 ГГц

Ключевые слова: сверхширокополосная антенна, частотная селекция, режекторная антенна, микрополосковая антенна, сегнетоэлектрики.

ВВЕДЕНИЕ

В стремлении обеспечить конечных пользователей высококачественными услугами связи наблюдается постоянное развитие инфокоммуникационных технологий, обеспечивающих более высокие скорости передачи данных и предоставляющие широкий функционал использования. Наряду с этим увеличивается количество устройств, осуществляющих постоянную передачу данных, что приводит к уменьшению пропускной способности и сокращению частотного ресурса.

Для решения данной проблемы предлагается создание печатной сверхширокополосной (СШП) антенны, которая ввиду своих сравнительно компактных размеров, простоты изготовления, способности работать во многих диапазонах частот и возможности легкой интеграции представляется перспективной технологией.

Однако использование СШП-диапазона (от 2,85 ГГц до 10,6 ГГц) предполагает одновременную работу нескольких систем связи, например, беспроводной локальной сети WLAN-IEEE 802.11a, телекоммуникационной технологии WiMAX и других, что способствует возникновению взаимных электромагнитных помех.

Уровень подобных искажений возможно снизить за счет использования PIN-диодов, варикапов или специальных фильтров [1], однако они не могут осуществлять адаптивную подстройку частотной селективности в случае изменяющегося электромагнитного окружения. С этой точки зрения, разработка СШП антенны с функцией управляемой частотной селекции,

реализованной за счёт внедрения в конфигурацию устройства сегнетоэлектрика, видится более перспективным решением.

Благодаря использованию сегнетоэлектрика разработанная СШП антенна будет многофункциональна и сохранит все свои преимущества.

Ключевые идеи. Разработка СШП антенны с функцией управляемой частотной селекции с целью создания универсального устройства для существующих и будущих систем связи.

ВАРИАНТЫ РЕАЛИЗАЦИИ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ АНТЕНН

Сверхширокополосные технологии радиосвязи за последние несколько лет приобрели популярность благодаря возможности организации высокоскоростной передачи данных на короткие дистанции при низком энергопотреблении. На данный момент существует достаточно большое количество реализаций СШП антенн: антенна Вивальди, моноконическая, логопериодическая и планарные антенны. Однако наиболее перспективной видится микрополосковая технология вследствие возможности создания компактных СВЧ-устройств и простой интеграции их во многие существующие и будущие системы связи.

Для реализации функции частотной селекции на поверхности излучающего элемента вытравливают щели и пазы специальной формы (L -образный вырез [2], U -образный или V -образный вырез [3], C -образный вырез [4], щелевой кольцевой резонатор [5] или рисунок сложной формы [6]), или применяют дополнительные фильтры, усложняющие конструкцию проектируемого устройства.

В [7] смоделирована и изготовлена патч-антенна, предназначенная для работы в диапазоне 3,0 – 11,4 ГГц. Излучающий элемент выполнен в форме полукруга с двумя симметричными ступенчатыми пазами в верхней части, а также на поверхности элемента вытравлен круг. По результатам измерений видно, что рабочая полоса антенна полностью включает СШП диапазон, при этом резонансные частоты сдвигаются. Для достижения ещё большей частотной избирательности на поверхности излучающего элемента вытравливают дугообразную щель, благодаря которой достигается смещение сразу нескольких резонансных частот. Однако, на основе данного метода невозможно осуществлять адаптивную подстройку, так как сдвиг резонансной частоты жестко привязан к геометрии выреза.

Одним из наиболее перспективных направлений для достижения частотной избирательности без изменения конфигурации устройства является использование сегнетоэлектриков в составе антенны.

СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКИ

Сегнетоэлектрики представляют особый материал, спонтанной поляризацией и, следовательно, диэлектрической проницаемостью которых можно управлять благодаря внешнему электрическому полю. На сегодняшний день существует большое количество сегнетоэлектриков, которые применяются в производстве конденсаторов, усилителей, резонаторов, генераторов и фазовращателей. Для создания микроволновых антенных устройств сегнетоэлектрики тоже представляют большой интерес ввиду ряда преимуществ: электронная настройка системы, компактные размеры и малый вес устройства, высокая скорость передачи данных при достаточно низком энергопотреблении.

При разработке СШП антенны с функцией управляемой частотной селекции был выбран ниобат лития – смешанный оксид ниобия и лития, представляющий собой бесцветный кристалл. Данный материал применяется для создания акустических преобразователей, линий задержки, полосовых фильтров и фазовращателей.

ВАРИАЦИИ СОЗДАНИЯ СШП АНТЕНН С ФУНКЦИЕЙ ЧАСТОТНОЙ СЕЛЕКЦИИ НА ОСНОВЕ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКОВ

В [8] смоделирована микрополосковая рамочная антенна с тонкоплёночными сегнетоэлектрическими варикапами (материал – титанат бария стронция (англ. Barium Strontium Titanate

(сокр. BST))), которые размещены по сторонам рамки для реализации частотной перестройки. Подобное решение продиктовано низким напряжением, которое потребляют варикапы. Также в состав конфигурации устройства входит тонкая плёнка, выполненная из того же титаната бария стронция и обеспечивающая большую маневренность резонансной частоты. По результатам измерений сдвиг резонанса составил 500 МГц (5,3 – 5,8 ГГц).

Статья [9] представляет СШП антенну, которая выполнена на сегнетоэлектрической подложке из титаната бария стронция. Для управления в конфигурацию антенны внедрены копланарные конденсаторы, что усложняет конструкцию устройства. Согласно результатам эксперимента, полоса сдвига резонансной частоты составила 50 МГц.

В работе [10] демонстрируется антенна типа «бабочка» с внедрёнными тонкоплёночными варикапами из титаната бария стронция, которые нанесены на сапфировую подложку для точной работы варикапов. Сдвиг резонансной частоты произошёл в пределах полосы 5,75 – 6,1937 ГГц.

Рассмотренные варианты являются лишь несколькими возможными способами внедрения сегнетоэлектриков в конфигурацию устройства, однако они демонстрируют актуальность разработки СШП антенны с управляемой частотой.

СУЩЕСТВУЮЩИЙ ПРОТОТИП СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОЙ АНТЕННЫ

Разработка и имитационное моделирование СШП антенны с функцией частотной селекции производилась на основе существующего прототипа. В [11] описана микрополосковая антенна «Bug», предназначенная для работы в СШП диапазоне (3,4 – 12 ГГц). Данная антенна благодаря своим преимуществам (сравнительно небольшие размеры, широкие полосы рабочих частот и диаграмма направленности (ДН)) особенно актуальна для современных систем связи с высокими требованиями к пропускной способности канала, таких как: Wi-Fi, LTE, 5G и гибридных систем UWB-RoF. Устройство выполнено на подложке Rogers RO4350B, общие размеры вместе с разъёмом SMA 72970 Romona составляют 39 мм × 19 мм (рис. 1).

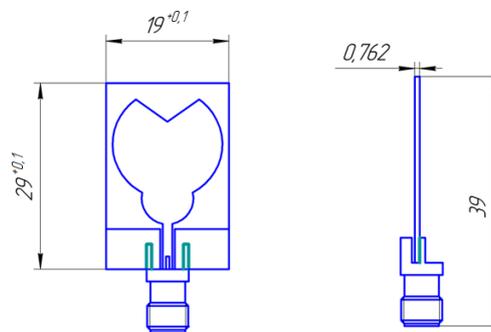


Рис. 1. Размеры антенны «Bug»

Рис. 2 демонстрирует внешний вид изготовленного прототипа СШП «Bug»-антенны.

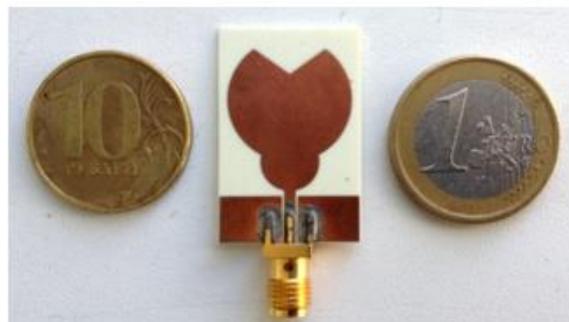


Рис. 2. Внешний вид антенны «Bug»

В [11] также продемонстрированы и проанализированы ключевые параметры антенны, включая обратные потери (S_{11}) и коэффициент стоячей волны по напряжению (КСВН), представленные на рис. 3 и 4.

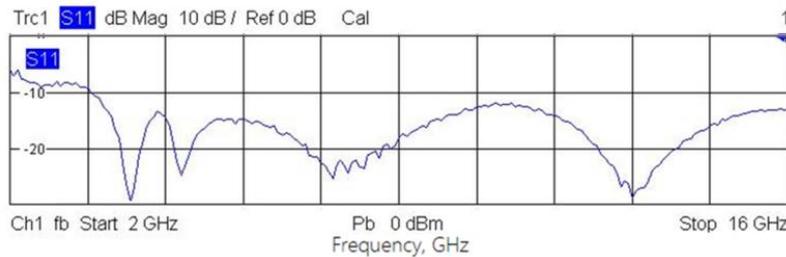


Рис. 3. Обратные потери (S_{11}) антенны «Bug»

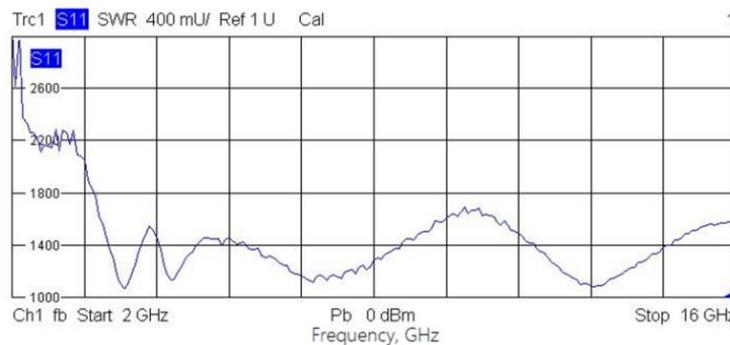


Рис. 4. КСВН антенны «Bug»

Как видно по графикам, значения КСВН находятся в пределах значений 1,1 – 2 в диапазоне рабочих частот, а обратные потери находятся меньше уровня –10 дБ. По данным моделирования видно, что работа в СШП диапазоне подтверждается, и антенна обладает четырьмя резонансными частотами.

Таким образом, микрополосковая СШП антенна «Bug» является перспективной разработкой для современных и будущих систем связи.

ВЫБОР КОНФИГУРАЦИИ УСТРОЙСТВА

Для реализации функции управляемой частотной селекции на поверхности излучающего элемента антенны выполнен вырез для заполнения его впоследствии сегнетоэлектриком. В ходе исследования разработаны следующие формы выреза: прямоугольник, квадрат, ромб, круг и дуга (рис. 5), для каждого из которых изменялись габаритные размеры и расположение выреза по высоте с целью поиска наилучших параметров.

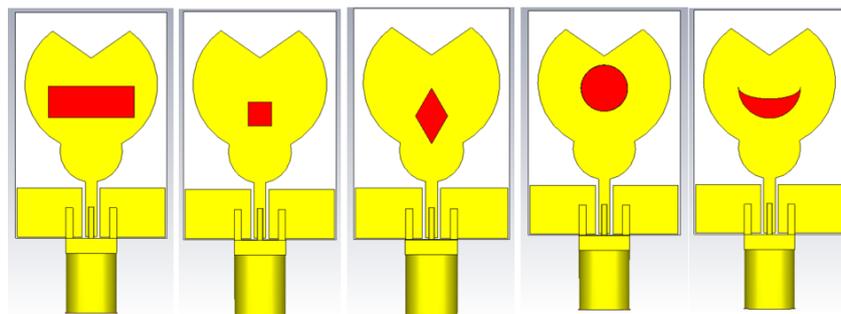


Рис. 5. Вариации формы выреза

Для каждого из представленных вариантов проведено имитационное моделирование в программном обеспечении CST Studio Suite, где определялись влияние формы выреза на S -параметры, КСВН и ДН антенны. Выбор подходящей для целей работы формы выреза осуществлялась на основе наиболее гибких возможностей управления частотными свойствами устройства. Вытравленная на поверхности излучающего элемента щель заполнена сегнетоэлектриком – кристаллом ниобата лития. Согласно результатам моделирования, наибольшим потенциалом обладает вырез прямоугольной формы.

РЕАЛИЗАЦИЯ УПРАВЛЯЕМОЙ ЧАСТОТНОЙ СЕЛЕКТИВНОСТИ

В ходе имитационного моделирования рассматривались два набора параметров прямоугольного выреза: в первом случае – длина $a = 9,1$ мм, ширина $b = 0,99$, во втором – длина $a = 16,4$ мм, ширина $b = 3$ мм, положение щели по высоте варьировалось в пределах 16 – 19 мм. Также исследованы три способа внедрения сегнетоэлектрика в конфигурацию устройства: нанесение тонкой плёнки из ниобата лития на поверхность излучающего элемента, выполнение сквозного пропила и наращивание кристалла сегнетоэлектрика сверху излучающего элемента (рис. 6).

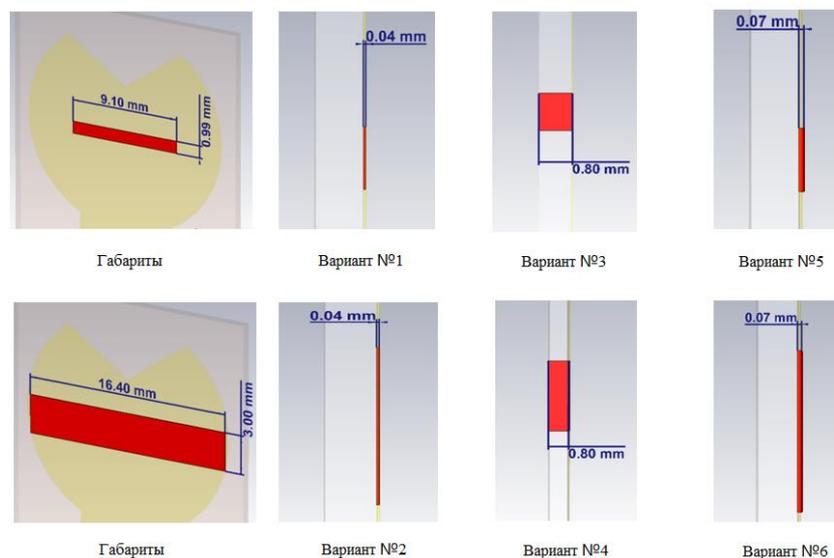


Рис. 6. Способы внедрения сегнетоэлектрика

В качестве опорного параметра для оценки функции частотной селекции получены частотные характеристики «Bug»-антенны при условии заполнения выреза вакуумом. Далее проводилось имитационное моделирование частотной избирательности для каждого варианта внедрения сегнетоэлектрика, для чего варьировалось значение диэлектрической проницаемости у ниобата лития (заданные значения: 50,2; 51,9; 56,7; 62,4). Полученные в результате графики обратных потерь сравнивались с опорными параметрами, на основании чего оценивался сдвиг резонансных частот. При тестировании имитационных моделей доказано, что каждый вариант внедрения способен обеспечить управляемый сдвиг резонансной частоты антенны при изменении подаваемого напряжения на сегнетоэлектрик в диапазоне от 5 МГц до 850 МГц (в зависимости от конфигурации устройства).

Наибольший диапазон перестройки частоты был продемонстрирован вариантом №4: вырез в форме прямоугольника, сквозное заполнение выреза сегнетоэлектриком. При изменении значений диэлектрической проницаемости в пределах 50,2 – 62,4 достигнуто максимальное смещение резонансной частоты на 850 МГц. На рис. 7 представлен график обратных потерь при условии заполнения вакуумом, откуда хорошо видно, что антенна обладает двумя резонансными частотами: 3,2 ГГц и 12,52 ГГц.

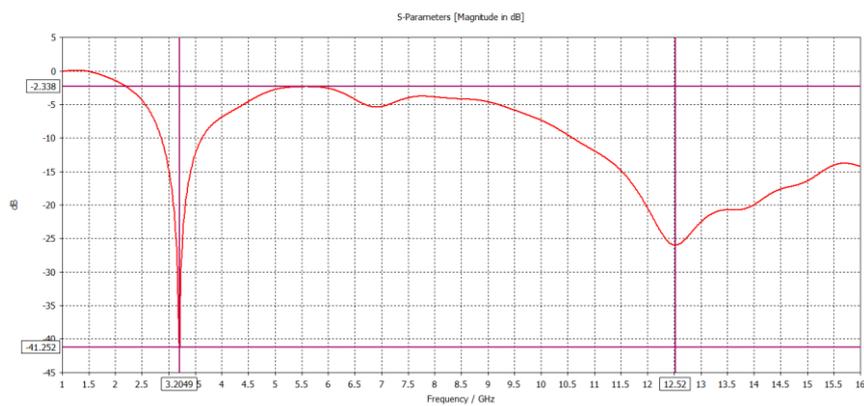
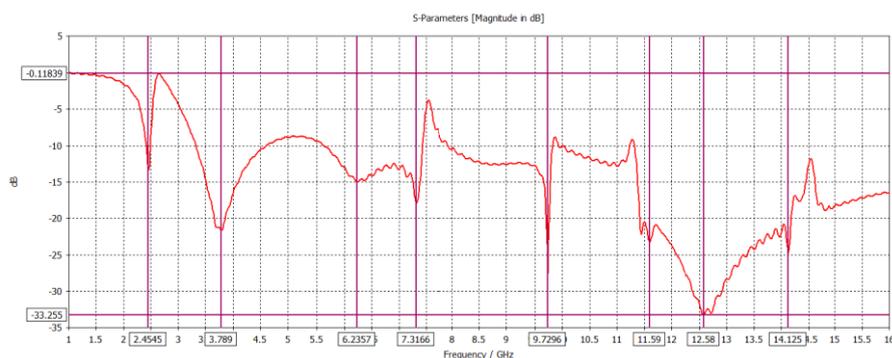
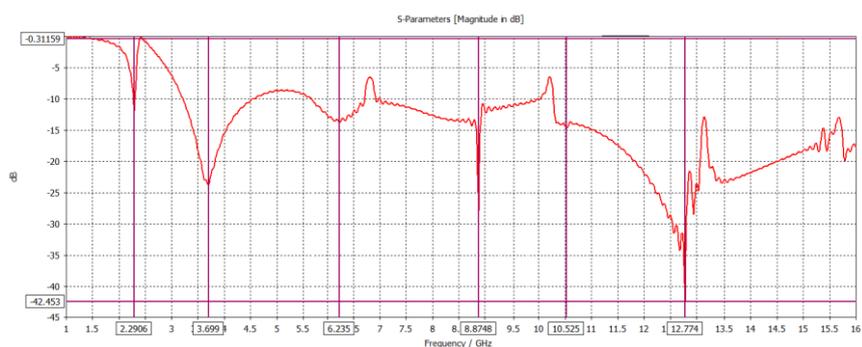
Рис. 7. S_{11} -параметры для варианта №4 (без заполнения)

Рис. 8 и 9 наглядно демонстрируют, что при использовании ниобата лития СШП антенна приобретает дополнительные резонансные частоты, управление которыми было достигнуто при изменении значений диэлектрической проницаемости.

Рис. 8. S_{11} -параметры при $\epsilon = 50,2$ Рис. 9. S_{11} -параметры при $\epsilon = 62,4$

Как видно из графиков обратных потерь, максимальный сдвиг частоты составил 850 МГц (8,87 ГГц – 9,72 ГГц).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье представлены результаты разработки сверхширокополосной антенны с функцией управляемой частотной селекцией. Подобное устройство предназначено для работы

во многих частотных диапазонах и способно осуществлять подстройку рабочей полосы под требования пользователя, что делает данную сверхширокополосную антенну универсальной для организации существующих и будущих систем связи.

На основе существующего прототипа СШП антенны «Bug» в программной среде CST Studio Suite была разработана и имитационно исследована модель сверхширокополосной антенны с внедрённым в её конфигурацию сегнетоэлектриком, представленным ниобатом лития. Осуществлена разработка пяти вариантов формы выреза в поверхности излучающего элемента, также рассмотрены шесть типов внедрения сегнетоэлектрика в конфигурацию устройства. Управление частотной избирательностью осуществлено за счёт изменения показателя диэлектрической проницаемости ниобата лития посредством прикладываемого к нему напряжения.

По результатам экспериментов получены графики распределения обратных потерь (S_{11} -параметры), демонстрирующие диапазон перестройки резонансных частот в полосе до 850 МГц. Данный результат был получен при имитационном исследовании образца №4, где сегнетоэлектрик внедрён в сквозной пропил, выполненный в поверхности излучающего элемента.

Таким образом, продемонстрирована возможность управления частотной селективностью СШП антенн на основе использования сегнетоэлектриков в составе устройства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Liu B. et al. Band-notched Reconfigurable Rectangular Dielectric Resonator Antenna with Parasitic Elements // 2019 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC-URSI Radio Science Meeting, Atlanta, GA, USA, 2019, pp. 61-62.
2. Kadam A. A. et al. Dual band-notched UWB antenna with L-Shaped slots and Triangular EBG structures // 2019 IEEE Indian Conference on Antennas and Propagation (InCAP), IEEE, 2019, pp. 1-4.
3. Hassanien M. A., Hamad E. K. I. Compact rectangular U-shaped slot microstrip patch antenna for UWB applications // IEEE Middle East Conference on Antennas and Propagation (MECAP 2010), IEEE, 2010, pp. 1-4.
4. Kumar P., Kumar A., Bhardwaj P. Design of double C-shaped microstrip antenna for application in UWB region // 2015 International Conference on Communications and Signal Processing (ICCS), IEEE, 2015, pp. 0406-0408.
5. Soliman M. S. et al. A Compact Ultra -Wideband Patch Antenna with Dual Band-Notch Performance for WiMAX/WLAN Services // 2019 IEEE Jordan International Joint Conference on Electrical Engineering and Information Technology (JEEIT), IEEE, 2019, pp. 831-834.
6. Liu C. T. et al. A UWB Antenna with Switchable Notched Stop Bands // 2019 International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology (ICMMT), IEEE, 2019, pp. 1-3. [C. T. Liu et al. "A UWB Antenna with Switchable Notched Stop Bands" in 2019 International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology (ICMMT), IEEE, 2019, pp. 1-3]
7. Haraz O., Sebak A. UWB Antennas for Wireless Applications. // 2013 Advancement in Microstrip Antennas with Recent Applications, 2013, pp.125-152. [O. Haraz, A. Sebak "UWB Antennas for Wireless Applications" in 2013 Advancement in Microstrip Antennas with Recent Applications, 2013, pp.125-152]
8. Jiang H. et al. Miniaturized and Reconfigurable CPW Square-Ring Slot Antenna Loaded With Ferroelectric BST Thin Film Varactors // 2012 IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 60(7), pp. 3111–3119. [H. Jiang et al. "Miniaturized and Reconfigurable CPW Square-Ring Slot Antenna Loaded With Ferroelectric BST Thin Film Varactors" in 2012 IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 60(7), pp. 3111–3119]
9. Mevada P. et al. Frequency Agile Monolithic Inset Fed Microstrip Patch Antenna Based on Barium Strontium Titanate ($\text{Ba}_x\text{Sr}_{1-x}\text{TiO}_3$) Ferroelectric Substrate // 2017 IEEE MTT-S International Microwave and RF Conference (IMaRC), IEEE, 2017. pp. 1-5.
10. Pan K. C. et al. Frequency tuning of CPW bowtie antenna by ferroelectric BST thin film varactors. Proceedings of the 2011 IEEE National Aerospace and Electronics Conference (NAECON), IEEE, 2011, pp. 1-4.
11. Abdrakhmanova G. I. et al. Microstrip ultra-wideband antenna measurements // 2018 Ural Symposium on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology (USBEREIT), IEEE, 2018, pp. 303-307.

ОБ АВТОРАХ

КАТЕРИНКИНА Екатерина Николаевна, асп. каф. ТС. Дипл. магистр по направлению «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» (УГАТУ, 2022). Готовит дис. о мультдиапазонных антенных устройствах для современных систем связи.

ГРАХОВА Елизавета Павловна, зав. НИЛ «Сенсорные системы на основе устройств интегральной фотоники», доцент каф. ТС. Дипл. инженер (УГАТУ, 2012). К-т техн. наук по сист., сетям и уст-вам телеком. (УГАТУ, 2016). Иссл. в обл. интег. фотоники и сист. Интернета вещей.

METADATA

Title: The Ultra-Wideband Antenna design with the controlled frequency selectivity.

Affiliation: Ufa University of Science and Technology (UUST), Russia.

Email: ¹ katerinkina.en@ugatu.su, ² grakhova.ep@ugatu.su

Language: Russian.

Source: Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa University of Science and Technology), no. 2 (28), pp. 78-85, 2023. ISSN 2225-9309 (Print).

Abstract: As part of the endless improvement of the communication services provided, end users are offered the development of an ultra-wideband (UWB) antenna with a controlled frequency selection function designed to work in existing and future communication systems. Variations of the creation of UWB antennas with frequency selectivity when using ferroelectrics are described, brief theoretical information about ferroelectrics and their applications are presented. The developed prototype of the UWB antenna "Bug" is presented, on the basis of which the frequency selection function is developed and simulated. Various methods of technical design of an antenna with a ferroelectric are considered, graphs of the distribution of reverse losses are obtained and frequency selection is demonstrated.

Key words: Ultra-Wideband Antenna, frequency selection, Band-Notch Antenna, microstrip antenna, ferroelectrics.

About authors:

KATERINKINA, Ekaterina Nikolaevna, Postgrad. (PhD) Student, Dept. of Telecommunication Systems. Master's degree in "Info-communication technologies and communication systems" (UGATU, 2022).

GRAKHOVA, Elizaveta Pavlovna, head of the Research Lab. "Sensing systems based on the integrated photonics devices", ass. Prof. of the Dep. Telecom. Systems. Dipl. engineer (USATU, 2012). Cand. of Tech. Sc. in telecom. systems, networks and devices (USATU, 2016). Research in the integrated photonics and Internet of things syst.