

# **БЛИЖНЕПОЛЬНАЯ РАМОЧНАЯ АНТЕННА, НАГРУЖЕННАЯ КОЛЬЦЕВЫМИ РАЗОМКНУТЫМИ РЕЗОНАТОРАМИ.**

*Д. С. Козлов, И. Б. Вендик*  
*Санкт-Петербургский государственный электротехнический  
университет «ЛЭТИ»*

*В статье рассматривается линия передачи, периодически нагруженная разомкнутыми кольцевыми резонаторами (РКР). Фазовая задержка волны, распространяющейся по такой линии, равняется нулю вблизи резонансной частоты РКР. Данный эффект был использован для разработки ближнепольной рамочной антенны со стационарным распределением тока. Кроме того, был проведен сравнительный анализ предложенной конструкции и традиционной ближнепольной рамочной антенны.*

## **Рамочная антенна, кольцевой разомкнутый резонатор, метаматериал, ближнее поле**

Пространство, окружающее антенну, может быть условно разделено на две области: так называемые ближнюю (в этой области преобладает реактивная составляющая поля) и дальнюю (преобладают поля излучения) зоны [1]. Границы этих зон зависят от размеров антенны и рабочей частоты.

Достаточно широко распространены рамочные антенны, взаимодействие между которыми осуществляется за счет индуктивной связи в ближнем магнитном поле. Подобные конструкции широко используются в системах радиочастотной идентификации (RFID) благодаря их высокой эффективности при чтении близко расположенных меток или маркировке объектов, сделанных из материалов с высокой диэлектрической проницаемостью.

Ключевой характеристикой ближнепольной рамочной антенны является напряженность магнитного поля, которая, в частности, зависит от размеров самой антенны. Для достижения высокого уровня напряженности магнитного поля, как правило, требуются антенны, периметр которых сопоставим с длиной волны. В этом случае фаза тока изменяется вдоль рамки. В результате суммарная напряженность, являющаяся результатом сложения полей, источниками которых являются противофазные токи, может существенно уменьшаться. Для устранения этого эффекта требуется обеспечить стационарное распределение тока вдоль всего периметра антенны. Стационарное распределение тока может быть достигнуто за счет использования дополнительных отрезков со специально подобранными фазовыми задержками [2]. Другой метод заключается в разбиении периметра антенны на электрически малые отрезки, разделенные планарными или сосредоточенными навесными конденсаторами, которые компенсируют индуктивное сопротивление рамки [3,4].

В данной работе предложена конструкция рамочной антенны, нагруженной разомкнутыми кольцевыми резонаторами (РКР). Подобная конструкция обеспечивает нулевую фазовую задержку тока, тем самым формируя стационарное распределение тока вдоль всего периметра.

**Линия передачи, периодически нагруженная кольцевыми разомкнутыми резонаторами.** Базовым элементом предложенной конструкции ближнепольной антенны является линия передачи, нагруженная РКР (Рис. 1а). При моделировании резонансного отклика РКР были выбраны следующие геометрические размеры структуры: сторона внешнего кольца  $a = 13$  мм, ширина металлизации и зазора между внутренним и внешним кольцом  $w = 0.3$  мм, ширина зазора  $g = 0.3$  мм. Значение диэлектрической проницаемости материала подложки  $\varepsilon = 10$  (Taconic CER 10).

Полученные в результате электродинамического моделирования линии передачи, периодически нагруженной РКР, параметры рассеяния представлены на Рис. 1б. Резонанс РКР наблюдается на частоте  $f_0 = 880$  МГц. Вблизи этой частоты (участок  $AB$  на Рис. 1б) линия ведет себя как длинная линия с отрицательной дисперсией, поскольку ее фазовая задержка становится отрицательной. Дисперсия вновь становится положительной выше частотной точки  $B$ . Таким образом, вблизи точки  $B$  линия передачи имеет нулевую фазовую задержку и бесконечную фазовую скорость. Наблюдаемый эффект может быть использован для проектирования линии передачи со стационарным распределением тока.

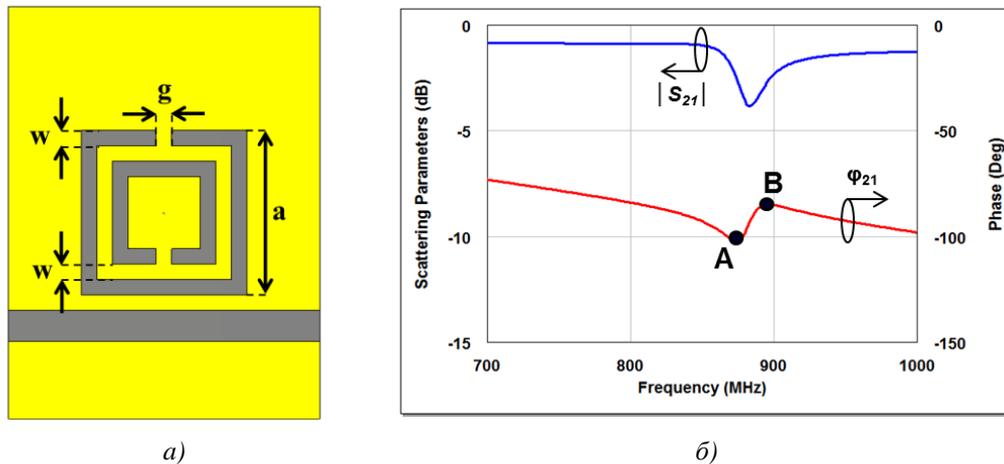


Рисунок 1.

Структура подобной линии передачи, нагруженной РКР, и распределение тока вдоль нее на частоте  $f = 890$  МГц изображены на Рис. 2. Геометрические размеры РКР были оставлены без изменения по сравнению с предыдущим моделированием, а длина линии  $L = 250$  мм. На рисунке отчетливо видно, что распределение тока вдоль линии практически стационарное.

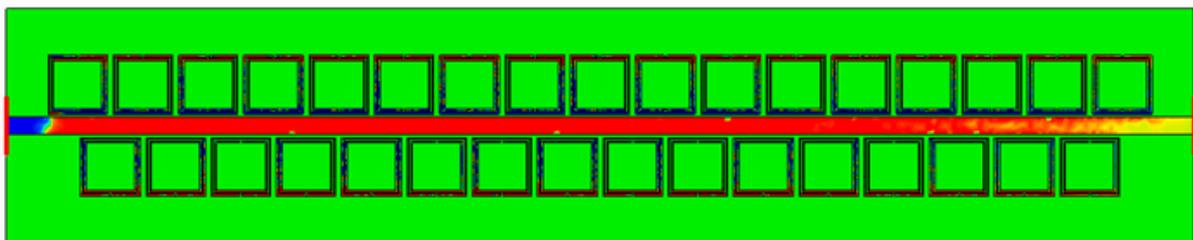


Рисунок 2.

**Рамочная антенна, нагруженная кольцевыми разомкнутыми резонаторами.**

Затем была рассмотрена рамочная антенна, нагруженная РКР (Рис. 3). Периметр рамки  $P = 360$  мм. Для компенсации мнимой части входного сопротивления антенны последовательно с портом была включена дополнительная индуктивность. Для согласования симметричного входа антенны с пятидесятиомным коаксиальным кабелем использовался симметрирующий LC-трансформатор [5]. Компенсирующая индуктивность и трансформатор не показаны на Рис. 3. Распределение тока вдоль антенны на частоте 870 МГц изображено на Рис. 4а.

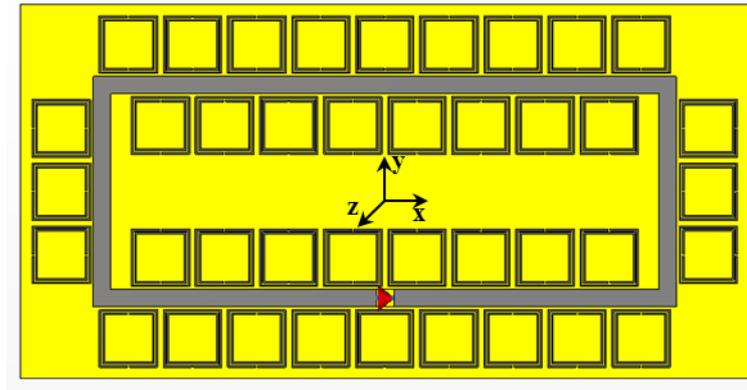


Рисунок 3.

Для сравнения была рассмотрена традиционная конструкция рамочной антенны с такими же геометрическими размерами. Распределение тока вдоль традиционной антенны на той же самой частоте 870 МГц представлено на Рис. 4б. Как видим, в данном случае распределение тока не является стационарным. Это приводит к уменьшению напряженности магнитного поля, создаваемой данной рамочной антенной.

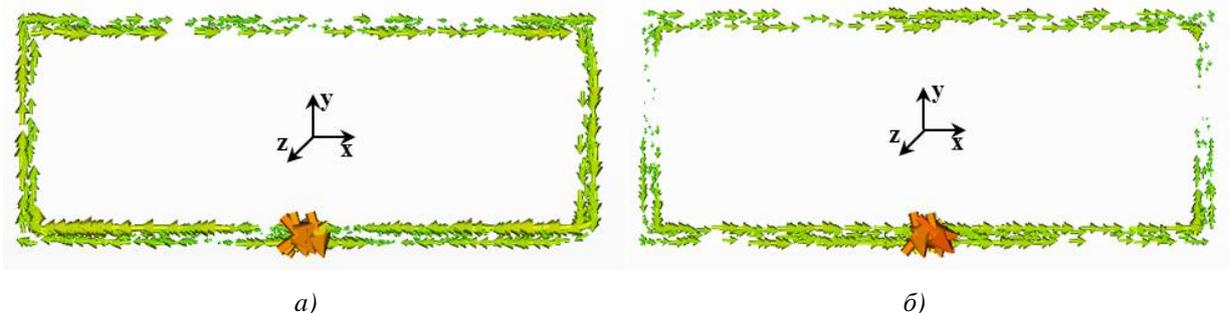


Рисунок 4.

На Рис. 5 приведено сравнение напряженностей магнитного поля, создаваемого предложенной конструкцией, нагруженной РКР, и традиционной рамочной антенной. На графике отложена составляющая напряженности магнитного поля вдоль оси  $z$ . Красная кривая соответствует напряженности поля, создаваемой антенной на основе РКР, а синяя кривая – напряженности поля, создаваемой традиционной конструкцией. Очевидно, что предложенная конструкция обеспечивает значительное усиление магнитного поля благодаря более равномерному распределению тока вдоль ее периметра.

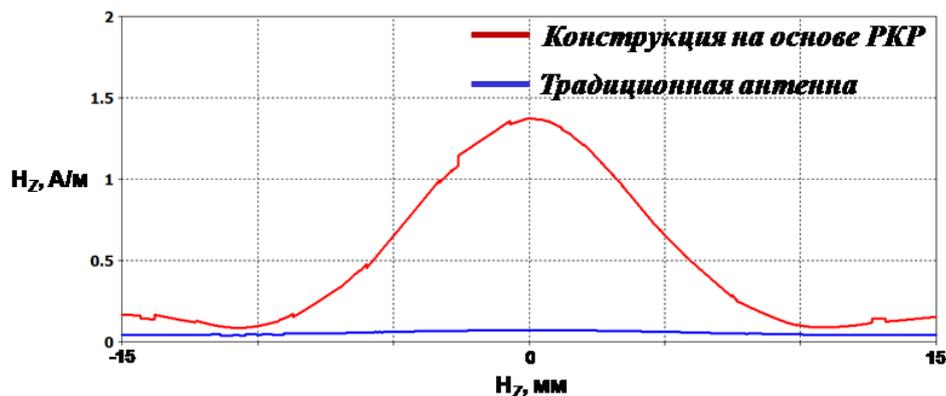


Рисунок 5.

**В заключение отметим**, что в данной статье были исследованы параметры рассеяния линии передачи, периодически нагруженной РКР. Вблизи резонансной частоты РКР наблюдается нулевая фазовая задержка линии передачи. Использование данного эффекта легло в основу предложенной конструкции ближнепольной рамочной антенны, обеспечивающей стационарное распределение тока вдоль ее периметра. За счет этого было достигнуто значительное увеличение напряженности магнитного поля, создаваемого данной антенной.

Авторы сердечно благодарят коллектив лаборатории "GAME" университета города Нови-Сад под руководством Весны Црноевич-Бенжин за плодотворные дискуссии.

Данная работа была выполнена в рамках проекта европейской комиссии FP7 "MultiWaveS" No 247532.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] C.A. Balanis, "Antenna theory: analysis and design," 2nd ed. *John Wiley & Sons, Inc.*, (1997).
- [2] Z.N. Chen, C.K. Goh and X. Qing, "Loop antenna for UHF near-field RFID reader", *Proc. 4th European Conf. of Antennas and Propagation*, pp. 1–4, , Barcelona, Spain, (2010).
- [3] X. Qing, C. K. Goh, and Z. N. Chen, "A broadband UHF near-field RFID antenna," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 58, no. 12, pp. 3829–3838, (2010).
- [4] A. L. Popov, O. G. Vendik, and N. A. Zubova, "Magnetic field intensity in near-field zone of loop antenna for RFID systems," *Tech. Phys. Lett.*, vol. 36, no. 10, pp. 882–884, (2010).
- [5] AVR2004: LC-Balun for AT86RF230. Atmel Application Note, (2004).