

11

Двухмодовый резонатор для двухдиапазонной системы беспроводной передачи энергии с возможностью передачи информации

© В.Н. Яценко, Д.С. Козлов, И.Б. Вендик

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
„ЛЭТИ“ им. В.И. Ульянова (Ленина)
E-mail: ibvendik@rambler.ru

Поступило в Редакцию 3 октября 2014 г.

Для системы беспроводной передачи энергии с одновременной передачей информации предложены оригинальные конструкции резонаторов, позволяющие увеличить эффективность системы. Приведены результаты электродинамического и схемотехнического моделирования двух вариантов конструкций двухмодовых спиральных резонаторов. Обоснован выбор конструкции, позволяющей увеличить эффективность передачи информации на частоте 2450 МГц и передачи энергии на частоте 13.56 МГц.

Системы беспроводной передачи энергии используются для питания и заряда аккумуляторов любых электронных устройств, в том числе мобильных телефонов, пультов дистанционного управления и др., что повышает надежность потребительской электроники и делает ее более удобной в использовании [1]. Чрезвычайно важным является применение систем бесконтактной зарядки в медицинских устройствах. Использование антенн, имплантированных в тело человека, предполагает взаимодействие между антенной внутри биологического объекта и считывающим устройством на его поверхности [2]. В системе бесконтактного питания для передачи энергии используется магнитостатическая индукция. Основными элементами системы являются передающий и приемный излучатели (антенны), представляющие собой резонансные контуры, настроенные на рабочую частоту. Возможности системы бесконтактного питания значительно расширяются, если одновременно с передачей энергии осуществляется передача информации [3]. В большинстве существующих на сегодняшний день подобных систем [3–5]

передача энергии и информации осуществляется в ближнем электромагнитном поле в одном и том же частотном диапазоне, как правило, сотни килоггерц или десятки мегагерц. Подобные системы обладают рядом недостатков. В частности, ограничены скорость обмена данными и эффективность передачи энергии, проектирование излучателей осложняется также тем, что необходимы дополнительные элементы конструкции, обеспечивающие достаточную развязку между каналами передачи энергии и информации.

Подобных трудностей можно избежать, если осуществлять передачу информации на значительно более высоких частотах, чем передачу энергии (например, в стандартных диапазонах RFID или Wi-Fi на частотах около 900 MHz и 2.4 GHz соответственно). Использование более высоких частот позволит значительно повысить скорость передачи данных, а также снизить уровень шумов, вносимых системой передачи энергии. Проблема уменьшения габаритов может быть решена путем использования одного излучателя, работающего одновременно в двух частотных диапазонах, например, 13.56 MHz и 2450 MHz.

В данной работе обсуждается возможность использования в качестве такого излучателя планарной структуры двухмодового резонатора в составе единой спиральной конфигурации, работающей на двух выбранных частотах. При этом обсуждаются две модификации, для которых выполнен сравнительный анализ эффективности передачи энергии и коэффициента передачи в режиме передачи информации.

Ранее исследовалась конструкция двухдиапазонного излучателя с возможностью подключения каналов передачи энергии и информации [6], которая состоит из резонатора, цепей согласования и развязки каналов. В качестве передающего и приемного резонаторов системы использовалась планарная многovitковая спираль, поскольку подобная конструкция обеспечивает передачу энергии с высоким коэффициентом полезного действия.

Взаимная связь каналов может быть эффективно подавлена в случае, когда рабочие частоты каналов передачи энергии и информации сильно разнесены. Для этого на входе сигнала высокой частоты включается индуктивность, а параллельно со входом для сигнала низкой частоты — емкость [7]. Это позволяет проектировать согласующие цепи для обоих каналов независимо друг от друга. Для согласования симметричного входа резонатора с несимметричной 50-омной подводящей линией используются LC-симметрирующие трансформаторы на сосредоточенных

элементах в канале передачи энергии и в канале передачи информации [8].

Система передачи энергии и информации содержит передающую и приемную рамочные антенны в виде спиральных резонаторов. Бесконтактная передача энергии основана на использовании электромагнитной индукции между двумя связанными резонаторами. Эффективность такой системы главным образом определяется коэффициентом связи между резонаторами, который, в свою очередь, пропорционален напряженности магнитного поля, создаваемого резонаторами [9]. Для достижения максимального значения напряженности необходимо, чтобы ток, текущий в резонаторе, имел одинаковую амплитуду и фазу по длине провода, образующего резонатор. Условие выполняется, если эта длина не превышает половины длины волны излучения.

Для передающего резонатора достаточно большого диаметра (порядка нескольких сантиметров) данное условие выполняется в кило- и мегагерцовом частотных диапазонах, однако оно нарушается на более высоких частотах. В результате неизбежно периодическое изменение направления тока вдоль резонатора, что, в свою очередь, может значительно ослабить связь между приемной и передающей частями системы [6].

Для увеличения эффективности системы на высоких частотах необходимо уменьшить электрическую длину излучающей части резонатора. Этого можно добиться двумя способами, не увеличивая размеры системы:

— выполнить высокочастотную часть резонатора отдельно от низкочастотной и расположить ее внутри так, чтобы сохранить внешние габариты системы (рис. 1, *a*);

— изменить способ подключения перемычек, расположенных в нижнем слое печатной платы, так, чтобы длина части спирали между точками подключения составляла половину длины волны, соответствующей верхней рабочей частоте (рис. 1, *b*).

Оптимальные размеры резонаторов выбираются с применением метода, изложенного в [10]: диаметр передающего резонатора $2r_1 = 70$ mm, количество витков $N_1 = 16$, ширина витков $a_1 = 0.5$ mm, диаметр приемного резонатора $2r_2 = 20$ mm, количество витков $N_2 = 8$, ширина витков $a_2 = 0.5$ mm, толщина металлизации в структурах резонаторов $b = 35$ μ m. Толщина диэлектрической подложки (материал

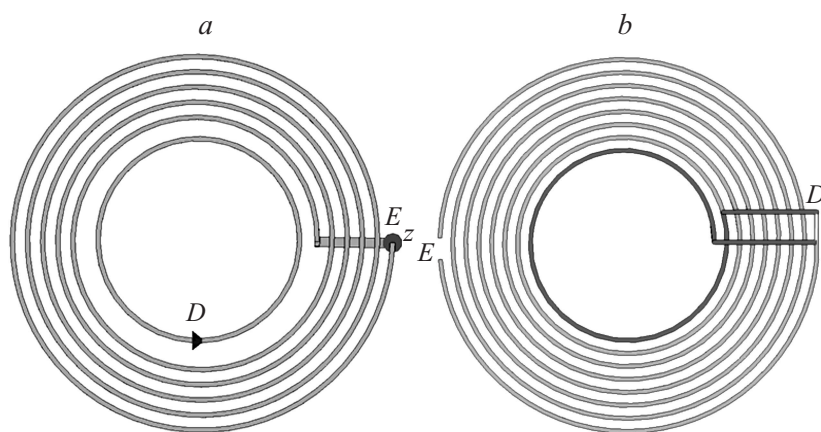


Рис. 1. Модифицированные конструкции резонаторов: высокочастотная часть резонатора гальванически отделена от низкочастотной (*a*), изменен способ подключения перемычек в нижнем слое платы (*b*). *D* — канал передачи энергии (низкочастотный), *E* — канал передачи информации (высокочастотный).

FR4, диэлектрическая проницаемость $\epsilon_r = 4.8$) $h = 2$ mm. Расстояние между резонаторами $s = 15$ mm.

Распределения токов на частотах 13.56 MHz и 2450 MHz, полученные в результате электродинамического моделирования предложенных конструкций, представлены на рис. 2, *a–d*.

Как видно из рис. 2, *a*, отделенная высокочастотная часть резонатора наводит ток противоположного направления в низкочастотной части на частоте передачи энергии, что может значительно снизить эффективность системы, в то время как в резонаторе с модифицированным расположением перемычек ток распределен равномерно по длине (рис. 2, *b, d*), что позволяет сделать заключение, что данная система будет иметь большую эффективность при работе в обоих частотных диапазонах.

Для анализа эффективности системы, состоящей из приемного и передающего излучателей, прежде всего выполняется электродинамическое моделирование резонаторов, расположенных на расстоянии s друг от друга. Рассчитанные параметры рассеяния (*S*-параметры) мо-

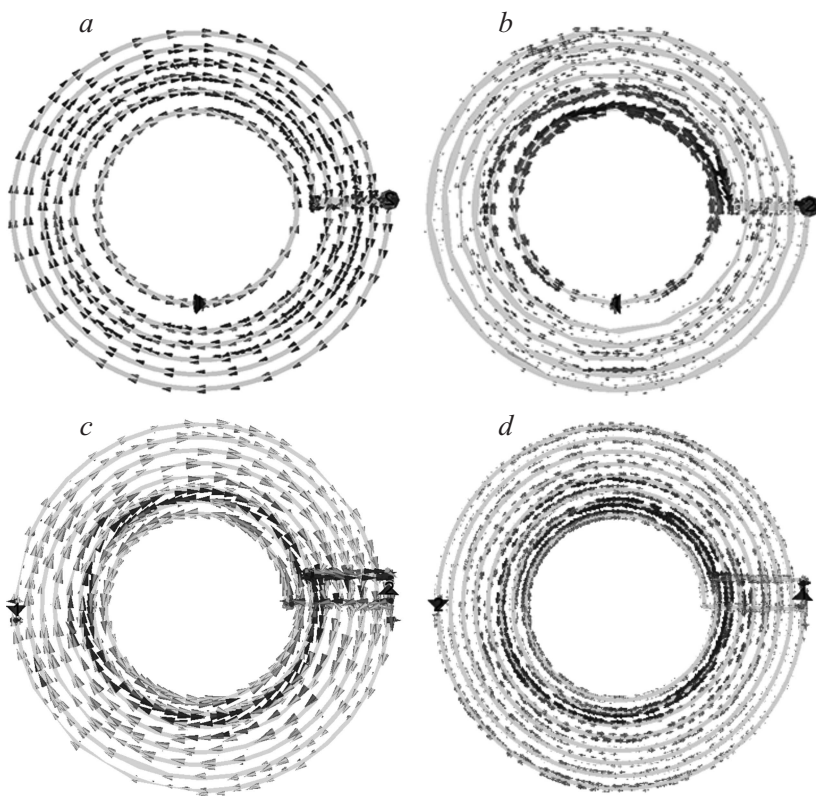


Рис. 2. Распределение тока вдоль двухмодового резонатора с отделенной высокочастотной частью на частотах 13.56 МГц (*a*) и 2450 МГц (*b*) и с модифицированным расположением перемычек на частотах 13.56 МГц (*c*) и 2450 МГц (*d*). Более темные линии соответствуют большей плотности тока.

гут быть далее экспортированы в другой программный пакет для схемотехнического анализа, который необходим для нахождения номиналов элементов согласующих и развязывающих цепей. Разделение задач трехмерного электродинамического и схемотехнического вариантов моделирования позволяет значительно сократить время расчетов.

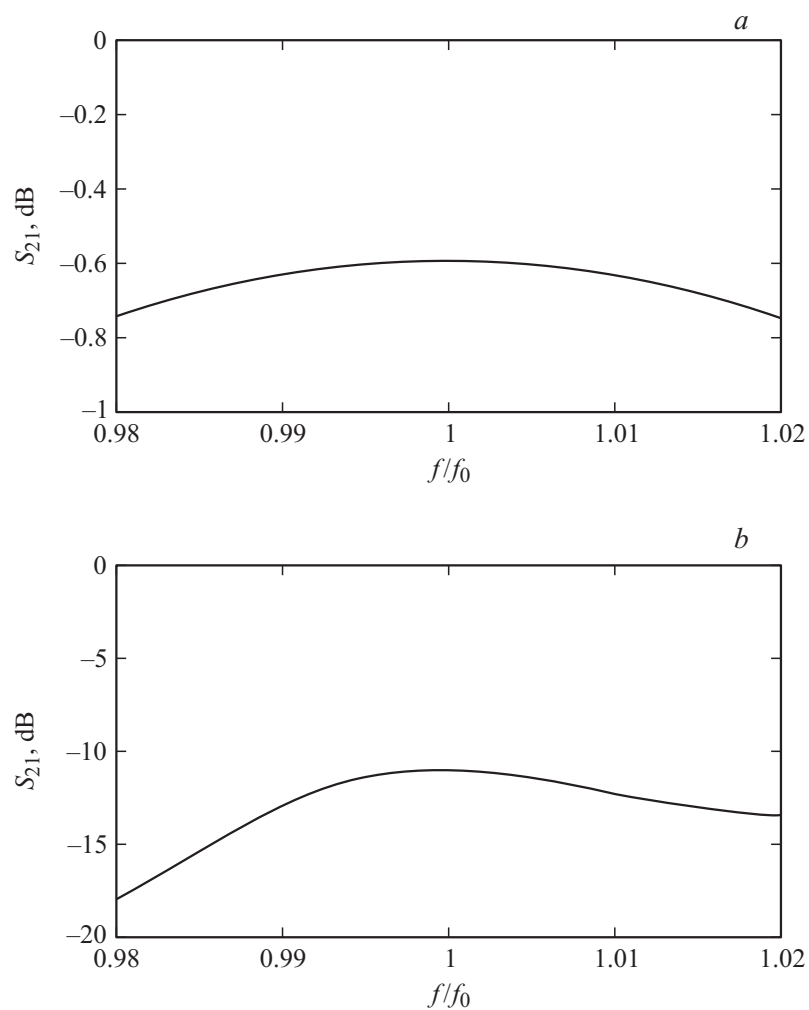


Рис. 3. Частотные зависимости коэффициента передачи двухмодового резонатора (рис. 1, *b*) вблизи частот $f_0 = 13.56$ MHz (*a*) и $f_0 = 2450$ MHz (*b*).

Как следует из результатов моделирования данной системы, значение коэффициента передачи на частоте 2450 МГц приемлемо для применения в системе передачи информации. Однако КПД системы передачи энергии на низкой частоте имеет невысокое значение (не более 45%). Как обсуждалось ранее, это связано с тем, что во внутренней и внешней рамках в составе спирального резонатора создаются противоположно направленные токи, вследствие чего общая напряженность магнитного поля, создаваемая подобным типом резонатора, уменьшается.

Частотные зависимости коэффициента передачи между резонаторами с модифицированным расположением перемычек представлены на рис. 3, *a, b* для двух частотных диапазонов. В этой модификации резонаторов сохраняется достаточно высокий коэффициент передачи на частоте 2450 МГц, используемой для передачи информации, при высокой эффективности передачи энергии на низких частотах (КПД $\approx 80\%$). Таким образом, предложенная модифицированная конструкция резонаторов может быть рекомендована для применения в системе параллельной передачи энергии и информации.

Публикация 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 приносят благодарность В.М. Тургалиеву за полезную дискуссию.

Список литературы

- [1] Диденко А.Н. СВЧ-энергетика: Теория и практика. М.: Наука, 2003. 446 с.
- [2] Moradi E., Koski K., Bjorninen T., Sydänheimo L., Rabaey J.M., Carmena J. M., Rahmat-Samii Y., Ukkonen L. // IEEE Antennas and Propagation Magazine. 2014. V. 56. N 1. P. 271–291.
- [3] Hmida G.B., Ghairani H., Samet M. // Biotechnology. 2007. V. 6. P. 153–164.
- [4] Rathge C., Kuschner D. // Proc. 13th European Conference on Power Electronics and Applications. 2012. P. 1–8.
- [5] Dionigi M., Mongiardo M. // Proc. Microwave Workshop Series on Innovative Wireless Power Transmission: Technologies, Systems, and Applications (IMWS). 2012. P. 61–64.

- [6] *Козлов Д.С., Тургалиев В.М., Яценко В.Н., Вендик И.Б.* // Материалы Всероссийской науч.-техн. конференции „Электроника и микроэлектроника СВЧ“. 2–5 июня 2014, СПб. С. 136–141.
- [7] *Козлов Д.С., Тургалиев В.М.* Беспроводная зарядная система с дополнительным каналом одновременного обмена данными. / Патент на полезную модель. Федеральная служба по интеллектуальной собственности (Роспатент). RU 141723, опубликовано 06.05.2013 г.
- [8] AVR2004: LC-Balun for AT86RF230. Atmel Application Note. July 2004.
- [9] *Vendik O.G., Kozlov D.S.* // Proc. IEEE Russia North West Section. 2011. V. 1. P. 63–68.