

УДК 537.86

Объемный резонатор на основе разомкнутых кольцевых резонаторов для беспроводной передачи энергии

Джандалиева А. (Университет ИТМО), Пучнин В.М. (Университет ИТМО), Щелокова А.В. (Университет ИТМО)

Введение.

Новые разработки в технологии беспроводной передачи энергии (БПЭ) маломощных устройств позволяют передавать энергию нескольким приемникам в некотором пространстве, тем самым предоставляя человеку неограниченное время использования мобильных устройств. Например, в нескольких работах описан многомодовый квазистатический объемный резонатор, который может работать на двух модах [1], [2]. Данная конструкция имеет неравномерное распределение магнитного поля во внутреннем объеме и работает на частотах, не соответствующих общепринятым стандартам технологии БПЭ. Следует подчеркнуть, что этой системе приемник должен быть расположен вертикально для получения питания. Это может затруднить использование устройств внутри помещения.

Концепция данного исследования заключается в разработке объемного резонатора с однородным распределением амплитуды магнитного поля, позволяющего передавать энергию в приемник беспроводным способом с одинаковой эффективностью в любой точке внутреннего пространства. Геометрия конструкции была вдохновлена «метасоленоидом» - массивом разомкнутых кольцевых резонаторов, который ранее использовался для улучшения качества сканирования в магнитно-резонансной томографии [3], [4], [5]. В последствии нами была выбрана система на основе двух пар кольцевых резонаторов, чтобы получить высокую однородность магнитного поля для применения в БПЭ.

Основная часть.

Численная модель объемного резонатора имела размеры $0.5 \times 0.5 \times 0.3 \text{ м}^3$ и состояла из четырех индуктивно связанных между собой кольцевых резонаторов, при этом каждый кольцевой резонатор был выполнен из медных проводников (длина 0.5 м, диаметр 3.56 см) соединенных конденсаторами, необходимых для настройки системы на рабочую частоту - 1.2 МГц. Резонансная мода объемного резонатора возбуждалась за счет индуктивной связи с рамочной антенной радиусом 16 см, которая была расположена на расстоянии 4 см соосно с кольцевыми резонаторами. Внутри пространства резонатора была помещена приемная антенна, которая представляла собой многовитковую катушку с цепью согласования импедансов и омической нагрузкой. Было проведено исследование эффективности передачи энергии при различных пространственных положениях приемной антенны. Эффективность передачи, рассчитанная с использованием S-параметров, практически одинакова для всех положений приемной антенны в пространстве и превышает 60%. Этот результат показывает, что приемник можно разместить в любом месте внутри резонатора и получать энергию с одинаковой эффективностью без повторного согласования импеданса.

Для экспериментальных измерений на основе численной модели был создан прототип на каркасе из полипропиленовых трубок. Приемная антенна, помещенная в пространство объемного резонатора, была согласована с передающей антенной при помощи цепи согласования и омической нагрузки. По измеренным S-параметрам был проведен расчет эффективности передачи RF-RF в зависимости от положения приемной антенны внутри схожего с численным моделированием пространства. Характер зависимости повторяет численное моделирование, однако имеет значения

эффективности меньше в 2 раза. Полученный результат можно объяснить потерями в конденсаторах, которые не учитывались при численном моделировании, и его можно улучшить за счет использования конденсаторов с более высокой добротностью.

В дополнение были проведены экспериментальные исследования со светодиодом. В ходе эксперимента было установлено, что светодиод горит во всем объеме резонатора, незначительно изменяя интенсивность свечения в областях с меньшей интенсивностью магнитного поля, что полностью соответствует электромагнитному моделированию. Следующим этапом был проведен эксперимент, в котором в качестве нагрузки выступал мобильный телефон. Во время эксперимента телефон демонстрировал процесс заряда во всем объеме разработанного экспериментального образца.

Выводы.

В данной работе разработан объемный резонатор с однородностью распределения амплитуды радиочастотного магнитного поля, равной 96%. С помощью резонатора становится возможным спроектировать систему БПЭ, нечувствительную к изменениям положения приемника в объеме резонатора. Выполнены численные расчеты и экспериментальные измерения эффективности передачи электроэнергии, которые показали, что эффективность составляет 60% и 30% соответственно. Показано, что изменение положения приемника в объеме резонатора не влияет на эффективность передачи энергии. Предлагаемый резонатор работает на частоте 1.2 МГц, а между тем возможна реализация такой конструкции резонатора на стандартах Qi и AirFuel. Для этого необходимо изменить нагрузочные емкости, чтобы настроить объемный резонатор на рабочие частоты 100 кГц и 6.78 МГц.

Список литературы:

- [1] T. Sasatani et al., Nat. Electron., vol. 4, pp. 689-697, 2021.
- [2] T. Sasatani, et al., IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 17, pp. 2746-2749, 2016.
- [3] A. Shchelokova et al., Magnet. Reson. Med., vol. 80, 1726-1737, 2018.
- [4] V. Puchnin et al., Journal of Magnet. Reson., vol. 311, 106877, 2021.
- [5] A. Jandaliyeva, et al., Photonics Nanostructures: Fundam. Appl., vol. 48, pp. 100989, 2022.

Джандалиева А.
Пучнин В.М.

Подпись
Подпись