

УДК 621.396.6-027.31(076.5)

МОДЕЛИРОВАНИЕ БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВАХ

Алексеев Виктор Федорович^а, Калиновский Дмитрий Викторович^б,
Ивлиев Иван Александрович^с

^аБелорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры проектирования информационно-компьютерных систем, alexvikt.minsk@gmail.com

^бБелорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, магистрант кафедры проектирования информационно-компьютерных систем, kalinovsky.dimitri@gmail.com

^сБелорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, магистрант кафедры проектирования информационно-компьютерных систем, xadunec@gmail.com

Аннотация

На примере беспроводной передачи энергии методом электромагнитной индукции рассмотрена методика моделирования мультифизических процессов, протекающих в конструкциях электронных модулей, позволяющая определять оптимальные параметры с точки зрения обеспечения устойчивости к дестабилизирующим факторам и оптимизации процесса внедрения новых технических решений.

Ключевые слова: моделирование, беспроводная передача энергии, физические процессы, электронные средства.

Веб: <http://library.miu.by/journals!/item.science-xxi/issue.7/article.4.html>

Поступила в редакцию: 22.10.2018

MODELING OF WIRELESS ENERGY TRANSMISSION IN ELECTRONIC INSTRUMENTATION

Alexeev Victor^а, Kalinovsky Dmitry^б, Ivliev Ivan^с

^а Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, PhD in Technical sciences, Associate Professor, associate Professor at the Department of Information and Computer Systems Development, alexvikt.minsk@gmail.com

^б Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Master's degree student at the Department of Information and Computer Systems Development, kalinovsky.dimitri@gmail.com

^с Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Master's degree student at the Department of Information and Computer Systems Development, xadunec@gmail.com

Abstract

Methodology for modeling of multiphysical processes occurring in constructions of electronic modules is considered on the example of wireless energy transmission using the electromagnetic induction method. The methodology makes it possible to determine the optimal parameters in the view of ensuring resistance to destabilizing factors and optimizing the process of introducing new technical solutions.

Keywords: modeling, wireless energy transmission, physical processes, electronic instrumentation.

Web: <http://library.miu.by/journals!/item.science-xxi/issue.7/article.4.html>

Received: 22.10.2018

Введение

Физическое моделирование электронных средств (ЭС) является обязательной процедурой, выполняемой на этапе проектирования аппаратуры. Актуальность задач по физическому моделированию объясняется тем, что оно дает представления о поведении конструкции и выходных параметров устройств в процессе его жизненного цикла. При сравнении результатов симуляции нагрузок с реальными последствиями их воздействия можно оценить степень точности понимания физических процессов.

Системы автоматизированного проектирования дают возможность на основе новейших достижений фундаментальных наук отрабатывать и совершенствовать методологию проектирования, стимулировать развитие математической теории проектирования сложных систем и объектов.

В последние 3–4 десятилетия уделялось достаточно много внимания вопросам математического моделирования конструкций ЭС, поскольку формализация проектных решений является практически неразрешимой задачей в силу сложности ее реализации [1]. Развитие теории моделирования шло параллельно и опиралось на развитие вычислительной техники и средств компьютерного моделирования и обработки информации. Известны работы в этой области И.П. Норенкова, Ю.Н. Кофанова, А.В. Сарафанова, С.У. Увайсова, Ю.Х. Вермишева, Р. Галлагера, Ж. Деклу и многих других ученых, чей вклад в теорию моделирования и принятия проектных решений неосценим.

На основе теоретических разработок к настоящему времени создано достаточное число мощных средств моделирования и компьютерной обработки информации: Comsol Mutliphysics, SolidWorks, Асоника, SiemensNX, CATIA, Solid Edge, PTC Creo, ANSYS.

Проектирование современных электронных систем в заданные сроки и в соответствии с требованиями технической документации по физически взаимосвязанным характеристикам затруднительно без проведения моделирования.

Таким образом, в настоящее время имеются все предпосылки и возможности для создания метода и средств принятия конструктором обоснованных решений при проектировании ложных ЭС на основе современных инструментов математического моделирования и компьютерной обработки информации.

1. Описание методики построения модели процесса

Беспроводная передача энергии методом электромагнитной индукции использует ближнее электромагнитное поле на расстояниях около одной шестой длины волны (рисунок 1) [2].

Ближнее поле изучается не так давно и новый интерес к его свойствам появился после освоения технологии использования электромагнитных подписей в 1980-х годах: банковских картах, картах-ключах и RFID-метках [3].



Рисунок 1 – Расположение зон электромагнитного поля

Простейшим примером устройства, осуществляющего беспроводную передачу энергии, является трансформатор. Передача энергии между первичной и вторичной обмоткой осуществляется посредством процесса, известного как взаимная индукция. Переменный ток, протекающий в первичной обмотке, создает переменное магнитное поле, действующее на вторую обмотку. Под действием индукции в ней начинает течь электрический ток. Бесконтактные зарядные устройства нашли широкое применение во многих устройствах бытовой и промышленной электроники. Основным недостатком метода беспроводной передачи является крайне небольшое расстояние его действия при отсутствии направляющих антенн или волноводов. Наиболее актуальной является задача повышения направленности полей и оптимизации излучающих и принимающих антенн.

Одним из методов повышения дальности передачи энергии поля, является использование резонанса электромагнитных волн. Данный эффект достигается при соответствии частот приемника и источника волн, а именно их формы позволяющей работать в несинусоидальном режиме питающих волн. Это позволяет значительно повысить эффективность передачи энергии даже в случае низкого коэффициента связи антенн. В роли катушек индуктивности в устройствах используются однослойные соленоиды или плоские антенны, работающие в ближнем поле [4].

Распространенным путем применения резонансной электромагнитной индукции является питание электронных мобильных устройств: планшетов, мобильных телефонов и ноутбуков. Перспективы, открывающиеся при использовании беспроводных методов передачи энергии, стимулируют разработку электромеханических имплантатов, электромобилей и сетей беспроводного энергоснабжения [5]. На все вышеуказанные примеры применения резонансного метода передачи электроэнергии распространяется стандарт беспроводной зарядки Qi (Qi — стандарт, разработанный консорциумом беспроводной электромагнитной энергии для индукционной передачи энергии на расстояние до 4 см). Методология реализации Qi зарядки состоит в расположении антенны устройства приемника на пластинкообразной антенне передатчика (рисунок 2). Зарядка происходит посредством индукционной передачи энергии как, например, в трансформаторах. Стандарт Qi предусматривает два варианта работы: на низкой мощности – от 0 до 5 ватт и средней мощности – до 10 ватт [6].

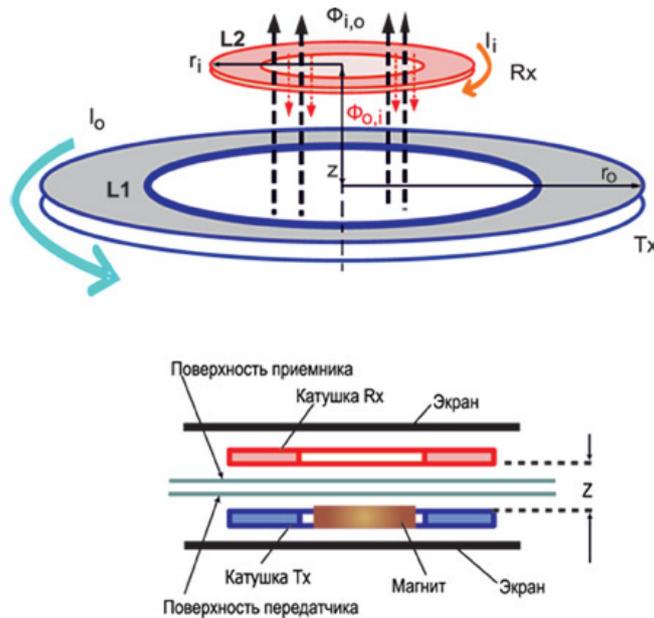


Рисунок 2 – Схема расположения соленоидов для беспроводной передачи энергии

Стандарт Qi позволяет передающему устройству питания и принимающему модулю обмениваться не только энергией, но и взаимодействовать по каналу данных. Эта важная функция позволяет адаптировать работу источника, обмениваясь информацией о текущем заряде аккумулятора.

Зарядка мобильного устройства начинается с обнаружения согласованного мобильного устройства. Обнаружение происходит при резонансе передающего излучателя и изменении емкости приемника. Затем происходит обмен данными между устройствами, в ходе которого определяется совместимость, при этом пересылаются пакеты данных величиной в один байт. Определяется положение устройства и начинается сама зарядка. Сам процесс зарядки сопровождается обменом информации об уровне заряда. Подобный протокол взаимодействия необходим для экономии электроэнергии и правильной работе заряжающей станции с несколькими устройствами. Тем не менее, серьезным минусом является чрезвычайно маленькие дистанции, на которых зарядка осуществляется эффективно (рисунок 3).

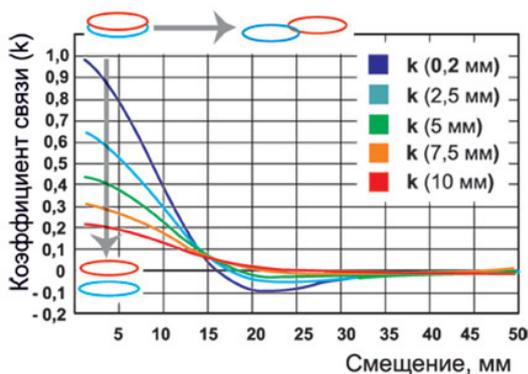


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента связи от смещения антенн при передаче энергии методом резонансного электромагнитного поля

Технология, на которой базируется физическая модель, была предложена компанией WiTricity. В ее основе лежит передача энергии осциллирующим, переменным магнитным полем, возбуждаемым индукционной катушкой. Усилитель мощности управляет рабочей частотой и мощностью создаваемого поля. Приемное устройство оснащено полосковой антенной с катушкой индуктивности, настроенной на частоту источника. Поле в приемнике преобразуется в высокочастотный ток, который после усиления и выпрямления служит питанием для устройства. От других методов передачи энергии посредством электромагнитных полей, данная технология отличается отсутствием направленных антенн и относительно низкими потерями для данного метода передачи энергии. Обе катушки имеют одну резонансную частоту, что позволяет приемнику более эффективно получать энергию. Эффективность передачи энергии сохраняется в широком диапазоне расстояний от излучателя, это существенно упрощает использование устройств, питаемых по такой технологии [7]. Также возможно питание сразу нескольких устройств от одного источника. При необходимости увеличения дальности работы системы в нее могут быть включены дополнительные ретрансляторы, а высокие частоты позволяют снизить потери при ретрансляции через препятствия.

В этой модели рассматривается концепция беспроводной передачи энергии путем изучения энергии связи между антенной с круговой петлей и антенной, установленной в мобильном телефоне, настроенными на ультравысокие частоты, размер которых уменьшается с помощью чип-индукторов. Хотя ориентация передающей антенны фиксирована, приемная антенна вращается, и наилучшая конфигурация их взаимодействия исследуется через S-параметры.

2. Имитационное моделирование беспроводной передачи энергии

Модель состоит из двух печатных антенн с круговой петлей, заключенных в воздушную область с идеально согласованными слоями. Рабочая частота антенн составляет 915 МГц (для ультравысоких частот, применяемых в RFID-связи) [65]. Тонкий медный слой нанесен на 2-миллиметровую политетрафторэтиленовую (ПТФЭ) плиту. Толщина слоя меди геометрически очень тонкая, но намного толще, чем глубина скин-слоя меди, $\delta_s = (2/\omega\mu\sigma)^{1/2} =$

2,15 мкм на этой частоте, поэтому он моделируется как идеальный электрический проводник. Диаметр антенны уменьшается до $\sim 0,22 \lambda_0$, за счет установки скомпенсированного индуктора, представляющего устройство для поверхностного монтажа типоразмера 0805 в середине каждой медной дорожки антенны. На участке разделения каждой трассы, сконфигурированной как РЕС, для возбуждения или завершения антенн назначается порт с опорным полным сопротивлением 50 Ом (рисунок 4).

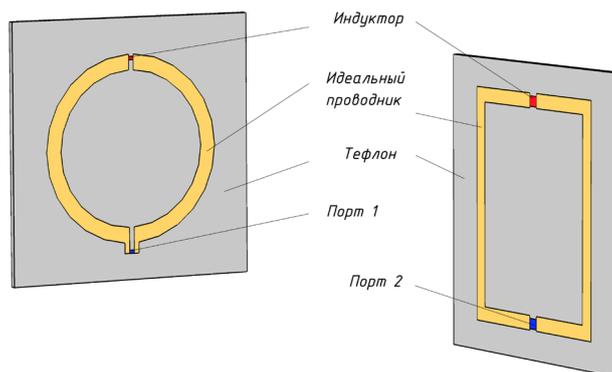


Рисунок 4 – Схема модели антенн для беспроводной передачи энергии

Окружающие идеально согласованные слои необходимы для поглощения излучения от передающей антенны для описания антенной связи в бесконечном свободном пространстве. Параметрический решатель проводит имитационное моделирование, автоматически изменяя параметры позиционирования антенны-приемника.

Разработанная модель беспроводной передачи энергии (для реализации в COMSOL Multiphysics) учитывает не только угол расположения антенн, но и расстояние между принимающей и передающей

антенной. Информация о влиянии расстояния между антеннами крайне важна, так как сама технология предполагает использовать устройства не стационарно. Это в значительной степени усложняет процесс расчета, но в то же время позволяет оценить наиболее удачный диапазон работы устройства. Еще один важный аспект в анализе полученных данных заключается в прерывании индукционной связи между устройствами при поперечном расположении антенн (рисунок 5).

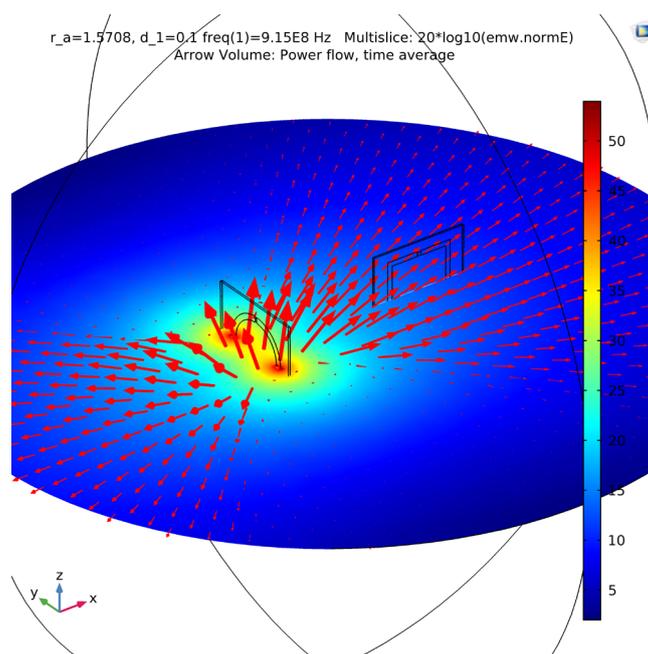


Рисунок 5 – График напряженности поля в логарифмических координатах при поперечном расположении антенны приемника

Учитывая, что связь между устройствами осуществляется не только в энергетическом, но и информационном формате, в конструкции антенн стоит предусмотреть ликвидацию «белого пятна» для предотвращения разрыва информационного канала.

Угол поворота антенн (рисунок 6) значительно

влияет на эффективность энергетической связи между ними по сравнению с дистанцией. Значительные потери мощности при этом могут сходиться и при продольном смещении приемника, что стоит учесть при проектировании подобного рода систем.

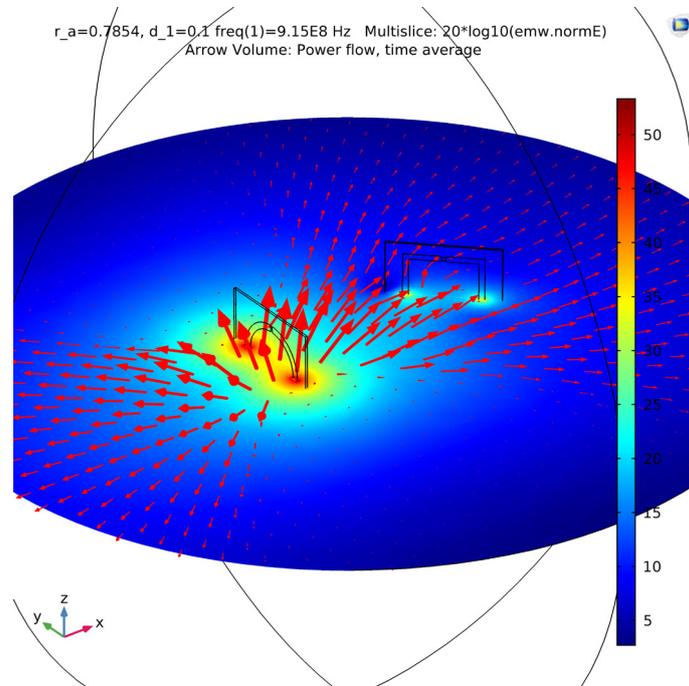


Рисунок 6 – График напряженности поля в логарифмических координатах с расположением антенных рамок под углом 45°

Анализ потери мощности в модели проводится через S-параметры взаимодействия антенн (используется показатель: S_{11} – коэффициент отражения от входа и S_{21} – коэффициент передачи падающей волны), представленные в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Значения S_{11} -параметров

Угол поворота	Расстояние между антеннами	S_{11} -параметр, дБ
0	20	-7.708
22,5		-8.042
45		-8.109
67,5		-8.150
90		-8.387
0	30	-8.686
22,5		-8.672
45		-8.493
67,5		-8.462
90		-8.438
0	40	-8.381
22,5		-8.388
45		-8.399
67,5		-8.377
90		-8.414

Таблица 2 – Значения S_{21} -параметров

Угол поворота	Расстояние между антеннами	S_{21} -параметр, дБ
0	20	-11.789
22,5		-12.276
45		-14.118
67,5		-18.734
90		-75.841
0	30	-16.094
22,5		-16.822
45		-19.259
67,5		-24.645
90		-86.243
0	40	-19.866
22,5		-20.572
45		-22.964
67,5		-28.376
90		-97.992

Такие устройства обычно находятся рядом с пользователем или в непосредственном контакте с его телом, поэтому производители электроники обязаны соблюдать безопасные предельные уровни электромагнитного излучения приборов. Магнитные поля, посредством которых в технологии WiTricity осуществляется беспроводная передача энергии, достаточно слабые, однако каждое новое решение необходимо проверять на соответствие стандартам. Стремясь обеспечить соблюдение требований к уровню излучения и к уровню нагрева тела, которые оно вызывает, авторами было разработано несколько моделей для их реализации COMSOL, чтобы проанализировать воздействие устройства на биологические ткани, расположенные в непосредственной близости от устройства. В этих моделях электрическое поле рассчитывалось для рабочей частоты системы зарядки. В результате было подтверждено, что устройства соответствуют требованиям FCC с большим запасом.

Заключение

Устройства WiTricity, основанные на явлении магнитного резонанса, обеспечивают надежную беспроводную передачу энергии наряду с гибкостью и удобством при использовании. Это большой шаг вперед по сравнению с другими методами беспроводной зарядки. Моделирование, выполненное в среде COMSOL Multiphysics, позволяет оптимизировать устройства, повысить их эффективность и дальность действия до начала изготовления дорогих прототипов.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Алексеев, В.Ф. Особенности формализации задач принятия проектных решений при автоматизации проектирования РЭУ / В.Ф. Алексеев // Проблемы и пути развития высшего технического образования: Материалы Респ. науч.-метод. конф., Минск, 15–16 мая 2001 г. Ч. 2. – Минск: БГУИР, 2001. – С. 67–69.
Aleksseev, V.F. Osobennosti formalizatsii zadach prinyatiya proektnykh reshenij pri avtomatizatsii proektirovaniya REHU / V.F. Aleksseev // Problemy i puti razvitiya vysshego tekhnicheskogo obrazovaniya: Materialy Rесп. nauch.-metod. konf., Minsk, 15–16 maya 2001 g. CH. 2. – Minsk: BGUIR, 2001. – P. 67–69.
- Систем сервис [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://systemservice96.ru/nashi-uslugi/remont-noutbukov-i-pk/bga-rework/bga-ext/>. – Дата доступа: 11.04.2018.
Sistem servis [Electronic resource]. – Mode of access: <https://systemservice96.ru/nashi-uslugi/remont-noutbukov-i-pk/bga-rework/bga-ext/>. – Date of access: 11.04.2018.

3. Mukai, M. Thermal fatigue life of solder bumps in BGA / M. Mukai // JSME Int. J. Series A Solid Mechanics and Material Engineering. – 1998. – Vol. 41. – № 2. – P. 260–266.
4. Henderson, D.W. The microstructure of Sn in near-eutectic Sn–Ag–Cu alloy solder joints and its role in thermo-mechanical fatigue / D.W. Henderson // J. of Materials Res. – 2004. – Vol. 19. – № 6. – P. 1608–1612.
5. Tegehall, P.E. Review of the impact of intermetallic layers on the brittleness of tin-lead and lead-free solder joints P.E. Tegehall // IVF project report. – 2006. – Vol. 6. – № 07. – P. 1–63.
6. Зебрев, Г. Физические основы кремниевой наноэлектроники / Г. Зебрев. – М.: Бином. Лаборатория знаний. – 2011. – С. 131–142.
Zebrev, G. Fizicheskie osnovy kremnievoj nanoehlektroniki / G. Zebrev. – М.: Binom. Laboratoriya znaniy. – 2011. – P. 131–142.
7. Veleva, L. Initial stages of indoor atmospheric corrosion of electronics contact metals in humid tropical climate: tin and nickel / L. Veleva // Revista de metalurgia. – 2007. – Vol. 43. – № 2. – P. 101–110.