

Руководство по беспроводным соединителям

Можно не без оснований утверждать, что беспроводным соединителям уготована все возрастающая роль в деле замены традиционных электрических соединителей там, где последние плохо справляются со своими функциями. В статье кратко рассматриваются технологии беспроводной передачи энергии, указаны преимущества и недостатки беспроводных соединителей в сравнении с электрическими, приведены соображения, которые необходимо учитывать при конструировании таких изделий. Кроме того, в статье дан пример сверхминиатюрного беспроводного соединителя.

Роберт Джометти (Robert Giometti)

Марк Д. Мелоне (Mark D. Melone)

Д-р Винит Сингх (Vinit Singh)

Перевод: Артем Вахитов

Технология беспроводной передачи электроэнергии (Wireless Power Transfer, WPT) методом электромагнитной индукции (Near-Field Magnetic Coupling, NFMC) привлекает в последнее время пристальное внимание, особенно в таких применениях, как беспроводная зарядка смартфонов. Есть, однако, еще один класс изделий, работающих на том же принципе, которые принято называть «беспроводными соединителями» (Wireless Connectors, WiCo).

WiCo играют важную роль в тех областях применения, где обычные электрические соединители могут работать ненадежно, а в некоторых случаях и вообще неприменимы. К обстоятельствам, затрудняющим использование электрических соединителей, относится, в частности, возможность попадания внутрь жидкостей или грязи, а также эксплуатация изделия в коррозионно-активных средах. Кроме того, электрическое соединение становится сложной задачей, когда ситуация требует свободы перемещения двух и более систем. Такие проблемы могут возникнуть, например, при проектировании широкого круга систем промышленной автоматизации, где требуется передавать электроэнергию или данные через жидкости или стены. Еще одна весьма подходящая область применения WiCo — медицинская аппаратура. От нее требуется высокий уровень надежности даже при воздействии жидкостей и изгибающих усилий. В эту категорию входит хирургический инструмент и другие медицинские устройства. WiCo могут также пригодиться в робототехнике, автомобилях и некоторых бытовых товарах.

Беспроводная передача энергии в применении к соединителям

Глядя на рынок традиционных электрических соединителей, легко заключить, что не бывает универсальных соединителей, годных на все случаи

жизни. Существует широкое разнообразие изделий, различающихся по размерам и числу контактов. Логично ожидать, что и WiCo будут подразделяться на различные типы. Поэтому разработчики и клиенты (в данном случае производители комплектного оборудования) должны осознавать, что, как и в случае традиционных соединителей, для большинства WiCo потребуются заказная разработка.

Большинство представленных на рынке изделий, в которых беспроводная передача энергии применяется для зарядки аккумуляторов, выполнены в соответствии с тем или иным признанным стандартом (например, Qi¹ [1] или AirFuel² [2]), чтобы соблюсти требования к функциональной совместимости и техническим характеристикам. Но эти стандарты предназначены, главным образом, для применения в мобильных гаджетах и бытовой электронике. В некоторых случаях ту же аппаратную часть можно было бы приспособить для других целей, но при этом придется столкнуться с ограничениями — например, наводки, скорость передачи данных, спецификация и т. д., поскольку конструкция системы с WiCo зависит от ряда факторов:

- Радиус действия, т. е. максимально допустимое расстояние (воздушный промежуток) между передатчиком и приемником по всем трем осям (X, Y, Z).
- Потребная выходная мощность приемника (стабилизированное выходное напряжение и максимальный ток нагрузки, которые должен обеспечивать соединитель).
- Тепловые режимы. Этот фактор тесно связан с полным КПД системы (отношением мощности на выходе к мощности на входе). В некоторых применениях не допускается повышение температуры сверх некоторого значения.
- Габариты. Геометрические размеры передатчика и приемника являются зачастую одним из ключевых ограничений.
- Стойкость к воздействию внешних факторов. К примеру, WiCo не страшен контакт с жидкостями.

¹ Стандарт, разработанный и развиваемый Консорциумом беспроводной электромагнитной энергии (WPC). На сегодня эта технология является основной, в своих продуктах ее используют ASUS, HTC, Huawei, LG, Samsung, Sony и др. В теории, Qi обеспечивает зарядку мощностью до 5 Вт и силой тока 1 или 2 А при напряжении 5 В. Эти параметры сопоставимы с проводными зарядными устройствами, но питание идет намного медленнее. — Прим. ред.

² Оригинальный стандарт PMA, продвигаемый с 2015 г. AirFuel Alliance — организацией, объединившей A4WP (Alliance for Wireless Power) и PMA (Power Matters Alliance). Он менее распространен, но некоторые производители мобильных устройств его поддерживают. Отличия между AirFuel и Qi — частота передачи и протоколы соединения. — Прим. ред.

• Себестоимость. В зависимости от применения она может играть значительную роль. Отметим, что для WiCo может не требоваться функциональная совместимость, поскольку системы, в которых они применяются, обычно «закрытые», т. е. всегда комплектуются известными (подобранными друг к другу) передатчиком и приемником. Это открывает разработчикам возможности для индивидуальной модификации и оптимизации себестоимости.

Несмотря на вышесказанное, можно предположить, что некоторые классы WiCo будут стандартизированы, как это произошло с USB в случае электрических соединителей. При этом, чтобы получить статус стандарта, соединитель должен решать некоторую задачу, которая часто встречается в одной или нескольких отраслях.

NFMC и связь

В системах NFMC (Near Field Magnetic Coupling) применяются рамочные антенны самых разных размеров — обычно диаметром более 25 мм. Предпочтительный диапазон частот — от 10 кГц примерно до 13,56 МГц. Высокоуровневое обсуждение системотехнических аспектов и стандартов, определяющих внедрение этой технологии в бытовой электронике, можно найти в [1–4].

Приблизительный максимальный теоретический радиус действия устройства NFMC — это эффективная граница ближнего поля на рабочей частоте. Она определяется как $\lambda/2\pi$, где λ — эффективная длина волны. Например, на частоте 10 кГц максимальный радиус действия приблизительно равняется 4,7 км, а на частоте 13,56 МГц — 3,5 м. Реальный радиус действия гораздо меньше и определяется такими факторами, как среда, размеры антенн, требуемый КПД, уровни мощности, нормативные соображения и т. д.

В обычном и резонансном методах электромагнитной индукции используется один и тот же физический принцип: переменный ток в передающей антенне создает переменное магнитное поле, под действием которого наводится напряжение в приемной антенне. Различать эти

два метода принято по использованию реактивных компонентов для снижения реактивного сопротивления антенной цепи: в резонансном методе электромагнитной индукции они используются, а в обычном нет. В реальности все известные авторам системы содержат емкостные компоненты, изменяющие эффективное полное сопротивление антенной цепи — как на стороне приемника, так и на стороне передатчика.

Обнаружение

Для беспроводной передачи электроэнергии по любому методу потребуются обеспечить обнаружение и управление в той или иной форме. В самом элементарном варианте передатчик обнаруживает присутствие приемника, а тот начинает потреблять электричество, как только выпрямленное напряжение превышает некоторое пороговое значение. Механизм обнаружения может быть предельно простым — например, одиночный бит, сигнализирующий о присутствии или отсутствии приемника и устанавливаемый по изменению полного сопротивления, которое регистрируется как изменение напряжения. Может он быть и относительно сложным, с требованием уникальной идентификации и последующего управления энергопотреблением. Потоки идентификационных битов могут кодироваться путем модуляции нагрузкой сигнала несущей (внутриполосная связь) или реализовываться в отдельном канале связи.

В случае внутрисполосной связи применяются такие виды модуляции, как амплитудная (ASK), частотная (FSK) и фазовая (PSK). Амплитудная манипуляция относительно проста в реализации, но отличается пониженной помехоустойчивостью, что может быть проблемой при малых значениях коэффициента связи. Большей помехоустойчивости можно добиться, используя частотную или фазовую манипуляцию, но эти схемы сложнее.

Для связи по отдельному каналу можно применять несколько стандартных беспроводных технологий, например Transfer Jet, BLE и NFMI. Отдельный канал, скорее всего, обеспечит большую помехоустойчивость и скорость передачи данных, но его реализация потребует дополнительных затрат на разработку, усложнит систему и увеличит ее габариты.

При решении задач, связанных с передачей данных через любую среду, всегда приходится сталкиваться с теми или иными трудностями. Соображения, с которыми необходимо считаться при передаче данных через электрические соединители и WiCo, перечислены в таблице 1.

Конструктор должен учитывать в своей работе те из них, которые применимы к проектируемому изделию. Как и любые конструктивные решения, беспроводные и традиционные механические соединители имеют сравнительные преимущества и недостатки (табл. 2).

Пример решения

Предлагаемый миниатюрный WiCo для передачи электроэнергии можно использовать как поверхностно-монтажный компонент с возможностью автоматической установки в печатных узлах, где неприменимы традиционные соединители. При этом следует учитывать, что все многообразие возможных применений потребует индивидуальной адаптации. Мотивом к разработке данного соединителя послужила необходимость заменить электрический соединитель со штыревыми контактами для работы в жестких условиях эксплуатации, связанных с воздействием жидкостей и механическими перемещениями.

На рис. 1 приведена обобщенная блок-схема системы с WiCo, а на рис. 2 — физическая реализация таких соединителей и их размещение на основной плате.

Для размещения соединителя было доступно пространство размерами приблизительно 11×5 мм. Требовалось передавать 50–200 мВт мощности на расстоянии от 0,5 до 2 мм. Ввиду миниатюрных размеров необходимо было реализовать работу системы в высокочастотном режиме, чтобы получить достаточно высокий коэффициент усиления по напряжению для питания микроконтроллера на приемной стороне. Помимо нормативных соображений, при выборе частоты для передачи электроэнергии через небольшой объем пространства нужно также учитывать потери в материалах, так как на высоких частотах сильнее вихревые токи. Исходя из широких пределов изменения полного сопротивления,

Таблица 1. Передача данных через беспроводные и электрические соединители: факторы, подлежащие учету

	Беспроводные	Электрические
Электрические факторы	<ul style="list-style-type: none"> • Электропитание — сбор энергии из окружающей среды или питание от местного источника. • Тип канала данных — аналоговый или цифровой. • Топология соединения: <ul style="list-style-type: none"> – «точка-точка»; – «точка — много точек». • Направленность: <ul style="list-style-type: none"> – однонаправленная передача; – двунаправленная передача (полудуплексная или дуплексная). • Скорость передачи данных в канале физического уровня. • Центральный интерфейс. • SDIO, UART, SPI и т. д. • Требования к экранированию. 	<ul style="list-style-type: none"> • Омические потери сигнала. • Нарушение целостности сигнала, обусловленное следующими факторами: <ul style="list-style-type: none"> – паразитная связь между контактами; – паразитная связь между контактами и проводящим слоем платы; – переходная помеха на ближнем конце линии связи (NEXT); – переходная помеха на дальнем конце линии связи (FEXT); – суммарная переходная помеха на ближнем конце линии связи (PSNEXT); – сторонняя переходная помеха (AXT).
Механические факторы	<ul style="list-style-type: none"> • Требования к монтажу, диктуемые характером изделия (близость к металлическим объектам). • Геометрические размеры. • Данные о долговременной надежности. 	<ul style="list-style-type: none"> • Усталость материалов: <ul style="list-style-type: none"> – ограничение на количество циклов сочленения/расчленения; – высыхание резины. • Ударные и вибрационные нагрузки. • Требования к монтажу, диктуемые характером изделия (вращающиеся поверхности). • Стойкость к воздействию внешних факторов (попадание внутрь воды, пыли, газа, масла и т. п.). • Добавление и удаление каналов данных.
Затраты	<ul style="list-style-type: none"> • Длительное (от 8 недель) время поставки, только заказные решения. • Объем. 	<ul style="list-style-type: none"> • Длительное (от 6 недель) время поставки заказной системы соединителей.

Таблица 2. Преимущества и недостатки соединителей

	Беспроводные	Механические/физические
Преимущества	<ul style="list-style-type: none"> • Возможность создавать сложные промышленные конструкции (без отверстий в корпусе): <ul style="list-style-type: none"> - недорогое решение для обеспечения степени защиты IP68. • Свобода перемещения: <ul style="list-style-type: none"> - отсутствие необходимости совмещать части соединителя; - невосприимчивость к вибрации; - защита от попадания внутрь посторонних объектов. • Целостность сигнала, передаваемого через соединитель. • Высокая плотность данных: <ul style="list-style-type: none"> - возможность объединения множества низкоскоростных потоков данных на одной высокоскоростной линии передачи. • Защищенность (шифрование, зона прямой видимости, близость, расстройка антенны). 	<ul style="list-style-type: none"> • Себестоимость. • Зрелая технология: <ul style="list-style-type: none"> - производство с высоким выходом годных изделий; - общепринятое в отрасли решение; - высокооптимизированные решения под конкретное применение. • Независимость от типа сигнала (аналоговый, цифровой, конкретный протокол связи, питание и т. д.).
Недостатки	<ul style="list-style-type: none"> • Себестоимость: <ul style="list-style-type: none"> - первичная разработка (механической, электрической и программной частей), испытания и сертификация; - «интеллектуальные» составляющие, повышающие себестоимость. • Стандартизация и повторное использование: <ul style="list-style-type: none"> - решение не унифицируется для всех типов и скоростей передачи данных; - для передачи данных необходим транспортный протокол, например I²C, UART, SDIO и т. д. • Эмиссия излучаемых помех и восприимчивость к таким помехам. • Температурная чувствительность. 	<ul style="list-style-type: none"> • Существенное повышение себестоимости на скоростях выше 1 Гбит/с. • Сложность конструирования изделий промышленного назначения. • Непригодность для некоторых специализированных применений (высокий уровень вибрации, вращение и т. д.). • Возможность попадания внутрь посторонних объектов. • Ухудшение характеристик, обусловленное циклическим режимом работы, воздействием окружающей среды (коррозия) и другими факторами. • Нарушение целостности сигнала при передаче через соединитель: <ul style="list-style-type: none"> - омические потери сигнала; - паразитная связь между контактами; - паразитная связь между контактами и проводящим слоем платы; - переходная помеха на ближнем конце линии связи (NEXT); - переходная помеха на дальнем конце линии связи (FEXT); - суммарная переходная помеха на ближнем конце линии связи (PSNEXT); - сторонняя переходная помеха (AXT). • Незащищенность (возможность атаки «человек посередине»).

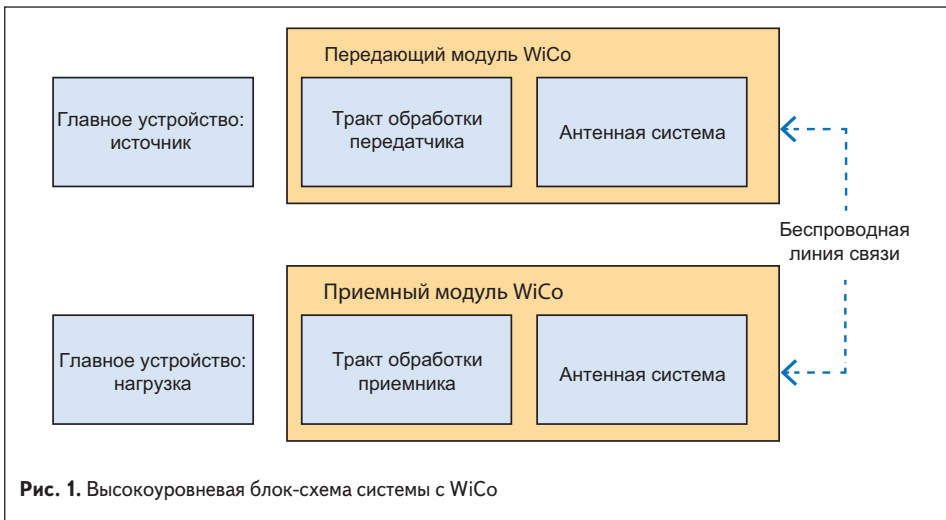


Рис. 1. Высокоуровневая блок-схема системы с WiCo

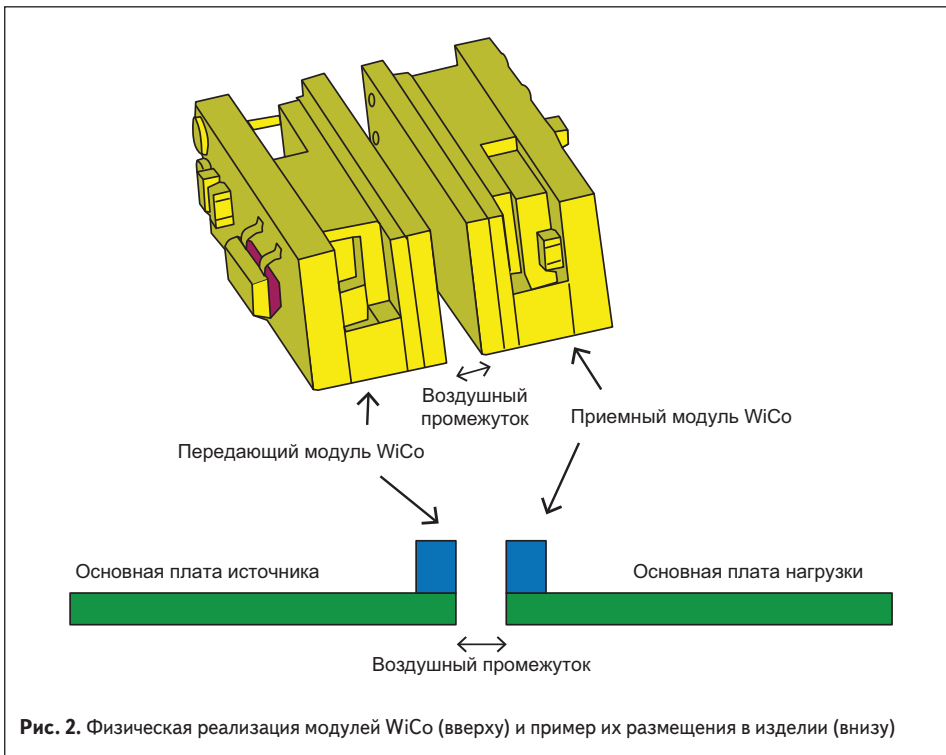


Рис. 2. Физическая реализация модулей WiCo (вверху) и пример их размещения в изделии (внизу)

обусловленных требованиями к нагрузке, и заданного радиуса действия было сочтено оправданным применить нестандартный выпрямитель с параллельно-последовательной нерезонансной емкостной настройкой.

Для монтажа системы использовались стандартные и гибкие печатные платы. На них располагались инверторный каскад, цепь согласования полного сопротивления, цепь обнаружения присутствия приемника и антенна. «Мозг» системы — микроконтроллер — размещался на основной плате, к которой был припаян этот соединитель. В рассматриваемом изделии микроконтроллер отвечал также за выполнение других функций системы.

В миниатюрных NFMC-системах магнитные явления могут быть одним из основных факторов, определяющих рабочую частоту и топологию. Например, высокочастотный режим работы пришлось избрать ввиду миниатюрных размеров соединителя. Магнитные явления становятся сложной проблемой из-за усиления эффектов близости на высокой рабочей частоте и малых размеров антенны. Для поддержания высокого межантенного КПД во всем рабочем диапазоне расстояний без защитного отключения при перегреве необходимо использовать грамотные методы и качественные технологии проектирования.

Выводы

Беспроводные соединители — великолепный выбор для передачи электроэнергии и/или данных в жестких условиях эксплуатации с возможностью свободного перемещения. По мере развития технологии беспроводной передачи электроэнергии и снижения стоимости соответствующих технических решений следует ожидать их более широкого применения. ■

Литература

1. www.wirelesspowerconsortium.com/
2. www.airfuel.org/
3. www.wirelessdesignmag.com/article/2016/10/wireless-charging-standards-reading-tarot-cards
4. www.androidauthority.com/wireless-charging-qi-pad-technology-580015/