Развитие «Интернета вещей»:

проблемы и их решения

Для разработчиков и компаний, занятых внедрением устройств IoT, проблемы возрастают по мере перехода с уровня компонентов на уровень схем и далее до уровня систем. Какие инструменты и решения им доступны? Какие соображения по тестированию могут помочь сократить время на разработку и развертывание и сэкономить общие затраты? В статье рассмотрены проблемы и причины их возникновения, а также решения от компании Keysight Technologies.

Владимир Рентюк
по материалам компании Keysight

Темпы развития и внедрения «Интернета вещей» (Internet of Things — IoT) уже похожи на шторм, но скоро эта тенденция перейдет просто в ураган [1]. Предполагается, что повсеместно и постоянно будут подключены более 30 млрд «вещей», или «умных» объектов, строительных блоков для IoT. Приложения IoT в таких сферах, как «умные» дома и здравоохранение, уже завоевывают популярность на потребительском рынке, а в Южной Корее близок к завершению целый «умный» город, и это лишь начало. Постоянный прогресс в технологиях, позволяющих внедрение IoT, не уступает волне новых и невообразимых прежде приложений для потребительского и корпоративного рынков. В то же самое время мы наблюдаем и бурное развитие программного обеспечения, сервисов, оборудования и связи. Для того чтобы в полной мере использовать эти достижения, разработчикам IoT-устройств, их производителям и компаниям, занятым внедрением IoT на уровне систем, нужно четкое понимание и видение всех сложностей на пути проектирования и интеграции. Только так можно идти в ногу со временем и только это позволит им быстро и, главное, успешно разрабатывать и развертывать IoT-устройства.

Вступление

Термин «Интернет вещей» придумал Кевин Эштон (Kevin Ashton) в 1999 году при обсуждении приложений для RFID-меток (RFID — Radio Frequency Identification, технология радиочастотной идентификации). Благодаря простому отслеживанию и подсчету объектов с RFID, «Интернет вещей» стал популярным с помощью технологий межмашинного взаимодействия M2M (M2M — Machine-to-Machine, общее название технологий, которые позволяют машинам обмениваться информацией между собой или же передавать ее в одностороннем порядке). Далее в игру вступили так называемые большие данные (Big Data — общее название для структурированных и неструктурированных данных огромных объемов, которые эффективно обрабатываются с помощью масштабируемых программных инструментов) и машинное обучение. Все это в совокупности позволило реализовать такие приложения, как «умное» здание и сети электроснабжения, интеллектуальные транспортные системы и «умные» предприятия.

Устройства IoT на конечных узлах (на периферии или границах сети) подключаются к облаку или серверу для их интеллектуальной обработки и последующей аналитики. Одни решения подсоединяются напрямую, другие — через шлюзы, как показано на рис. 1. Шлюзы объединяют трафик из энергоэффективной сети дальнего радиуса действия LPWAN[1] в локальные и глобальные сети с большей пропускной способностью. Как правило, они содержат более мощные источники питания и значительные вычислительные ресурсы, чем конечные узлы. Краевые или туманные приложения, действующие через шлюзы, обрабатывают информацию от датчиков и исполнительных механизмов как облачных, так и конечных узлов. Конечные узлы часто рассчитаны на длительное время автономной работы, что требует эффективного использования встраиваемых компьютеров и радиопередающих устройств. Интеллектуальные пороговые триггеры в шлюзах делают трафик более эффективным, передавая полезную

[1] LPWAN — Low-power Wide-area Network, беспроводная технология передачи небольших по объему данных на дальние расстояния, разработанная для распределенных сетей телеметрии, межмашинного взаимодействия и «Интернета вещей». LPWAN является одной из беспроводных технологий, обеспечивающих среду сбора данных с различного оборудования: датчиков, счетчиков и сенсоров.

информацию центральным облачным серверам. Шлюзы взаимодействуют с облаком и конечными узлами через разнообразное сочетание беспроводных технологий, как сотовых, так и не сотовых. С этой целью, для удовлетворения различных потребностей приложений в зависимости от зоны покрытия, времени задержки, пропускной способности, энергоэффективности и стоимости, разработчикам доступен целый ряд радиоинтерфейсов [4], различных по характеристикам и возможностям.

Однако широкое масштабирование гетерогенного сочетания технологий беспроводной связи создает такие проблемы, как функциональная несовместимость и помехи, которые необходимо учитывать при проектировании и разработке устройств IoT. Кроме того, при проектировании системы, помимо выполнения требований по ее соответствию сети и стандартам беспроводной связи, необходимо учитывать такие аспекты, как энергопотребление и срок службы батарей. От устройств IoT часто ожидают, что они будут работать без вмешательства персонала в течение многих лет.

Проблемы в самом «Интернете вещей»

Резкое увеличение количества и плотности устройств IoT, развернутых для приложений и связанных с ними сервисов, порождает множество проблем, которые для обеспечения успешной реализации конечного проекта необходимо решать, не дожидаясь последствий. В этой статье обсуждаются конкретные проблемы, которые возникают вследствие природы устройств «Интернета вещей» и с которыми сталкиваются разработчики, изготовители и компании, занятые их внедрением.

Более высокий, чем обычно, уровень интеграции цепей и компонентов

Последние достиженияв технологии интегральных микросхем со смешанными сигналами, стали ключевым фактором поддержки устройств IoT. При этом меньшее количество компонентов позволяет получить и меньшие по размерам печатные платы и, таким образом, переходить к уровню носимой (буквально: нательной) электроники. Кроме того, благодаря большей интеграции достигается снижение общих затрат (себестоимости и цены) и энергопотребления, но, что немаловажно, одновременно мы имеем и повышение производительности. Однако интеграция разнородных по своей природе сигналов может привести и к новым трудностям и проблемам при проектировании IoT-устройств.

Современные микросхемы со смешанными сигналами сочетают цифровые, аналоговые и радиочастотные функции на одном кристалле. Системы на кристалле (Systems on chip — SoC) объединяют отдельные компоненты системы на одной подложке. Кроме того, во многих приложениях IoT используются и беспроводные микроконтроллеры с низким энергопотреблением и встроенными интерфейсами беспроводной связи, схемами обработки сигналов датчиков и выработки команд управления.

Еще один важный момент — интегрированные в печатную плату антенны. Они часто применяются для замены не столь эффективных чиповых или эффективных, но габаритных внешних антенн. Как правило, антенны, выполненные на печатных платах, предназначены для носимых и компактных недорогих устройств, таких как, например, «умные» часы [2].

Но здесь мы сталкиваемся с другой проблемой. В связи с тем что в устройствах все чаще используются печатные антенны, причем обычно это несколько антенн и несколько приемопередатчиков, становится все более сложным, но и более важным моделировать и измерять характеристики антенны и собственные помехи в различных реальных условиях эксплуатации. При этом необходимо оценивать соответствие каждой такой антенны рабочему частотному диапазону, оценивать ее эффективность (КПД) и диаграмму излучения и разрабатывать высокоэффективные и устойчивые схемы приемника. Часто все это требуется выполнять с учетом влияния стен, монтажных конструкций или, в случае носимых устройств, влияния одежды и тела человека.

В связи с постоянным увеличением сложности устройств следует более полно оценить электрические, тепловые и механические характеристики. Это делается с учетом того, что они могут повлиять на производительность и надежность других подсистем устройства. Для решения данной проблемы понадобятся инструменты проектирования и моделирования, которые поддерживают точный и бесперебойный анализ совместного моделирования в нескольких сферах и технологиях — от компонентов до системного уровня. Только такой подход поможет добиться успеха и дать глубокое представление о конструкции устройства в реальной среде его эксплуатации.

Программное обеспечение Electronic Design Automation (EDA) от Keysight EEsof решает проблемы, возникающие при проектировании систем, схем и устройств физических уровней,

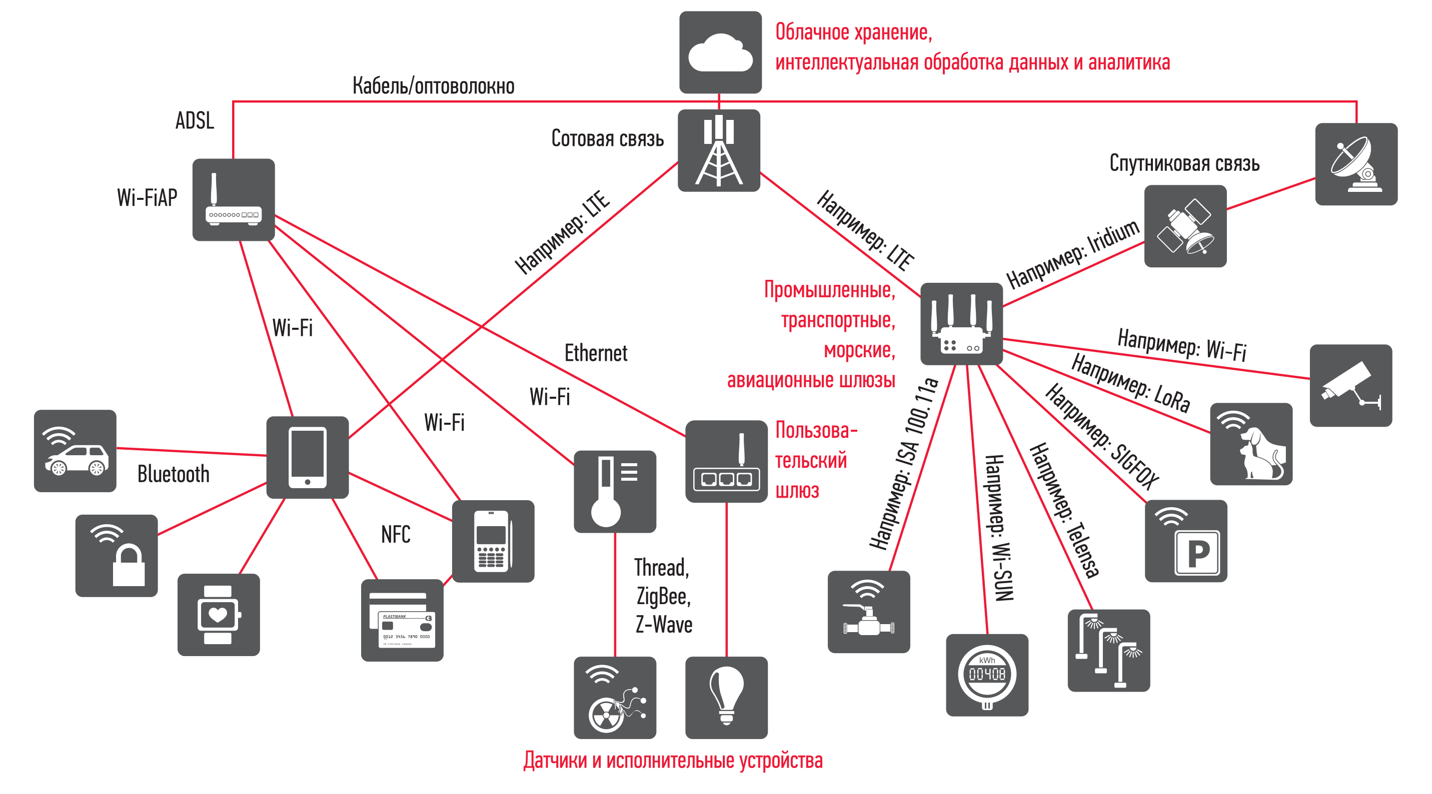

Рис. 1. Доступ к облаку обеспечивается через различные шлюзы по самым разнообразным путям

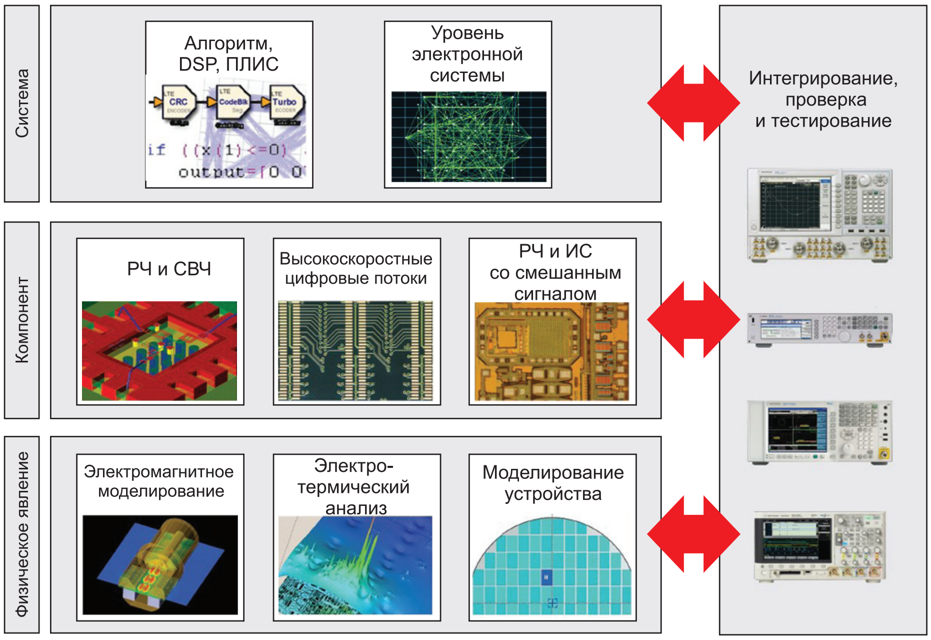

Рис. 2. Программное обеспечение компании Keysight для проектирования предоставляет инженерам полный цикл разработки проекта от начала проектирования до тестирования на подтверждение соответствия (валидации)

предлагая решения для полного процесса проектирования, как это показано на рис. 2. Используя процессы проектирования, построенные на этих системах, компонентах и инструментах для физического уровня, инженеры-разработчики могут не только быстрее создавать продукты, но и находить для них наилучшие решения. Кроме того, программное обеспечение EDA от компании Keysight полностью совместимо с ее контрольно-измерительным оборудованием, предлагая разработчикам комплексное решение на всем пути создания конечного продукта — от проектирования до тестирования на подтверждение его соответствия (валидации) требованиям стандартов.

В начале процесса разработки новый продукт может быть смоделирован с помощью программного обеспечения для проектирования на системном уровне SystemVue, специализированной среды EDA для проектирования на уровне ESL (ESL — electronic system level, проектирование беспроводных электронных устройств на системном уровне). Как видно на рис. 3, ПО SystemVue позволяет системным архитекторам и разработчикам алгоритмов внедрять системы беспроводной связи на физическом (PHY) уровне, что имеет уникальную ценность для разработчиков радиочастотных устройств, цифровых сигнальных процессоров (DSP) и вентильных программируемых матриц (Field Programmable Gate Array, FPGA — программируемая пользователем вентильная матрица) или заказных специализированных интегральных схем (Application-Specific Integrated Circuit, ASIC). Программное обеспечение SystemVue также содержит виртуальные инструменты для измерения, которые в ходе симуляции можно подключать к различным узлам системы для прогнозирования ее производительности.

Поскольку рано или поздно проект переходит от моделирования к реализации, в моделировании модели могут быть заменены на фактические модули конечного устройства. В этом случае виртуальные инструменты заменяют реальные измерения или встроенное аппаратное обеспечение, что позволяет разработчикам сравнивать моделируемую и фактически измеренную, как сейчас принято говорить, производительность. Для большей наглядности симуляция может использоваться для интерполяции и экстраполяции сигналов в местах, недоступных для измерительных зондов. Для обеспечения непрерывности от проектирования до валидации прототипа компания Keysight предлагает широкий выбор лабораторного испытательного оборудования — от настольного до модульного и портативного.

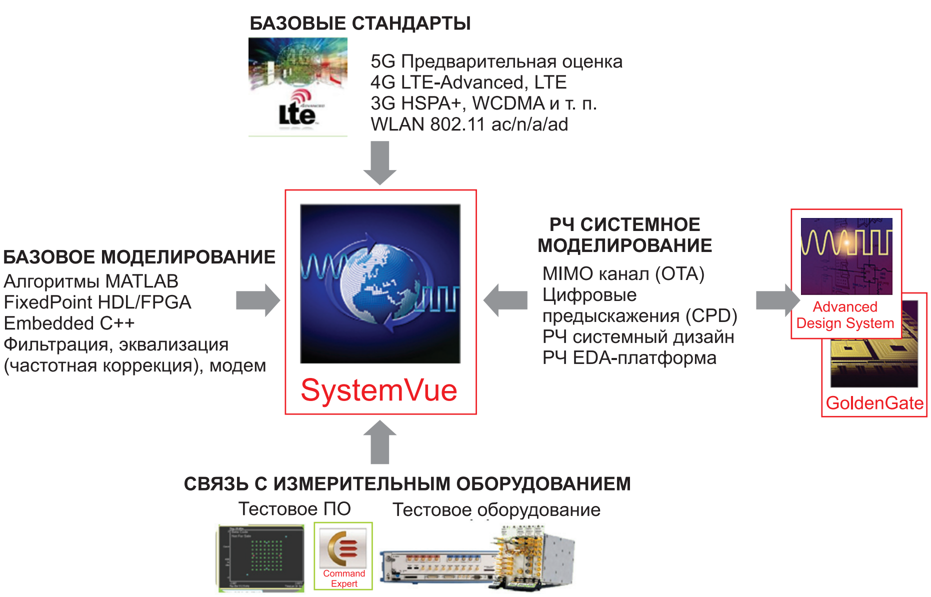

Рис. 3. Программное обеспечение SystemVue — ядро для междоменной среды разработки

Энергоэффективность и срок службы батареи

Одиночные устройства, такие как датчики, часто работают от встроенных батарей и, естественно, имеют ограниченный запас энергии. В сетях с крупномасштабным развертыванием сенсорных узлов или медицинских имплантатов срок службы этих устройств должен составлять месяцы или годы. В некоторых условиях эксплуатации частая замена батарей становится дорогостоящей и нецелесообразной, а подчас и просто невозможной. Поэтому в целях экономии энергии устройства (например, сенсорные узлы) обычно функционируют с очень коротким рабочим циклом и большее время находятся в основном в режиме ожидания или в спящем режиме, активируясь лишь при необходимости или в соответствии с расписанием.

В высокопроизводительных устройствах и шлюзах на процессор, дисплей и беспроводные модули приходится большая часть общего энергопотребления. Дело в том, что эти устройства оснащены несколькими беспроводными интерфейсами, и чаще всего они, для выполнения более сложных задач обработки, должны находиться в активном режиме. Чтобы правильно оценить энергопотребление этих устройств, необходимо надлежащим образом рассмотреть управление питанием и учесть сложное взаимодействие различных компонентов и модулей, как это показано на рис. 4.

Для того чтобы оптимизировать срок службы батареи, важно знать текущие условия ее эксплуатации и продолжительность каждого режима работы IoT-устройства. Количество потребляемой электроэнергии определяет срок службы батареи. Для его прогнозирования необходимо знать эффективность и результат каждого типа измерения датчиком или, если это актуатор, действия, говоря в общем — активности. Измерение тока может быть единственным доступным хорошим и приемлемым способом определения продолжительности определенного события обработки или действия. Ключевой проблемой здесь является необходимость измерения тока в широком динамическом диапазоне — менее чем от микроампер в спящем режиме до сотен миллиампер в активном режиме. При этом и разработчику системы, и ее интегратору требуется анализ разряда батареи с непрерывным (так называемым бесшовным) диапазоном измерения тока. Это требуется для захвата максимального (пикового) потребления, причем при минимальных рабочих циклах, и оценки низких средних значений.

В итоге все это применяется при моделировании условий функционирования сети. Независимо от того, используется настоящая батарея или источник питания, разработчик должен убедиться, что устройство подключено к питанию должным образом. Это нужно, чтобы результаты разряда батареи были характерны для устройства, когда оно фактически действует в реальных условиях.

Здесь необходимо учитывать еще один момент. Благодаря таким достижениям, как сбор свободной энергии (energy harvesting — процесс, с помощью которого энергия извлекается из внешних источников, например электромагнитного излучения, тепла, вибрации, света и пр.), новые технологии батарей и конструкции с низким энергопотреблением, срок службы батареи продлевается. Применение ячеек меньшего размера, узких полос пропускания и сетей связи с низким энергопотреблением также помогает снизить энергетические ограничения. Для того чтобы достичь заданного срока службы и решить проблемы тепла, необходимо проводить систематический энергетический анализ. Это помогает поддерживать хорошее управление для достижения высокой аппаратной и программной производительности устройства. Сказанное особенно важно в реальной работе, где условия окружающей среды и поведение сети могут значительно сократить срок службы IoT-устройства.

Двухквадрантные измерительные источники питания (Source Measure Unit, SMU — вид измерительных приборов, использующих одновременно прецизионные источники тока и напряжения) N6781A и N6786A специально разработаны компанией Keysight для анализа разряда батареи беспроводных устройств [9–11]. Измерительный источник питания N6781A обеспечивает высокую точность измерений при низком токе с напряжением до 20 В и током до 3 А при выходной мощности 20 Вт. А измерительный источник питания N6786A подходит для устройств с более высокой мощностью, таких как новейшие смартфоны/фаблеты (гаджет, сочетающий функции смартфона и планшетного компьютера), планшеты и ноутбуки, с напряжением до 20 В и током до 8 А при выходной мощности 80 Вт.

Наиболее важной особенностью измерительных источников питания является их плавный диапазон измерений, который

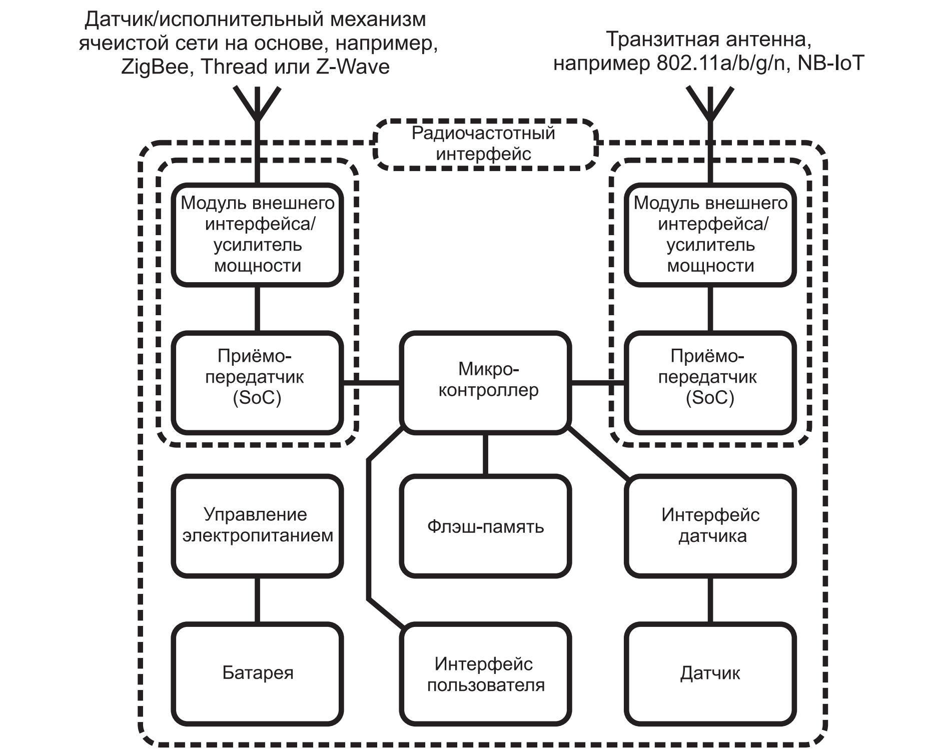

Рис. 4. Типичные компоненты шлюза/датчика IoT, например термостат нагревателя, дымовой сигнализации, охранной сигнализации или шлюз счетчика учета потребления (электроэнергии, воды, тепла)

охватывает более семи декад, что весьма полезно, поскольку позволяет проводить точные измерения динамического потребления тока (рис. 5). Они также имеют настраиваемые характеристики для эмуляции батареи, что обеспечивает результаты моделирования поведения устройств, сравнимые с их функционированием от реальной батареи. Кроме того, они имеют режим работы амперметра с нулевой нагрузкой и регистрацию данных вольтметра для выполнения проверки при разряде с реальной батареей, когда это необходимо. Быстрый отклик с незначительным переходным процессом сводит к минимуму падение напряжения при импульсном потреблении тока, расходуемого беспроводными устройствами, а частота дискретизации, равная 200 кГц, обеспечивает детальное понимание поведения источника питания при измерениях.

Целостность сигналов и целостность питания

Проблему целостности передачи сигналов (Signal Integrity, SI — наличие достаточных

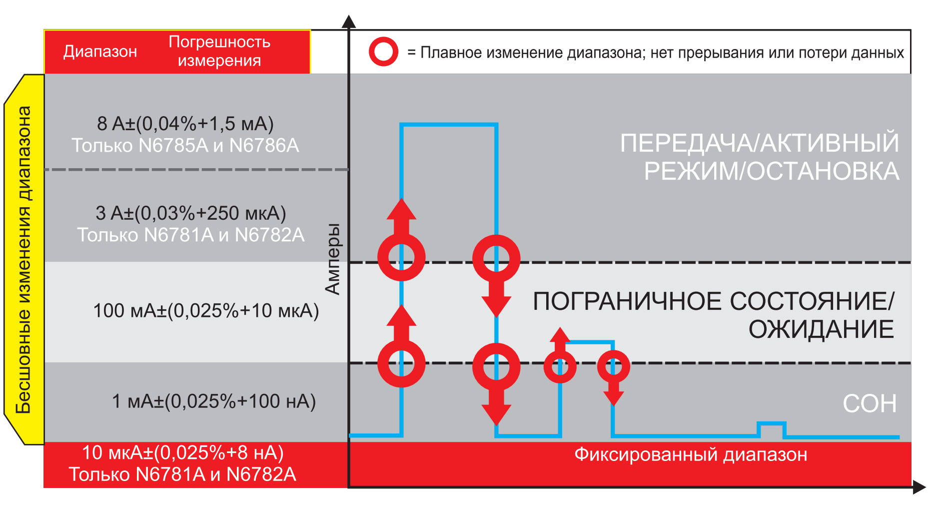

Рис. 5. Плавный переход между диапазонами измерения при использовании измерительных источников питания компании Keysight позволяет отслеживать уровни динамического изменения тока в режиме реального времени и применять наиболее оптимальный диапазон измерения для данного уровня тока и напряжения

для безошибочной передачи качественных характеристик электрического сигнала) можно разделить на четыре группы проблем:

1. Проблемы, связанные только с сетью передачи данных.
2. Проблемы связи между несколькими сетями.
3. Проблемы, связанные с путями подачи питания и заземления в распределительной сети электропитания (power distribution network, PDN).
4. Электромагнитные помехи (ЭМП), из которых мы имеем сопутствующую проблему — электромагнитную совместимость (ЭМС) [3, 8].

Методы минимизации проблем целостности передачи сигналов предусматривают поддержание контролируемых импедансов в местах межсоединений, уделяют особое внимание расстоянию между трассами для минимизации взаимной индуктивной или емкостной связи (они приводят к перекрестным помехам), предполагают коррекцию, организацию близких к идеальным путей возврата тока, минимизацию импеданса PDN и, естественно, обеспечение хорошего заземления и экранирования.

По мере развития полупроводниковой технологии и получения транзисторов с меньшей площадью затвора или длиной канала и, соответственно, с более быстрым переключением время нарастания и спада фронтов сигнала уменьшается, а тактовые частоты увеличиваются, что делает проблемы целостности передачи сигналов неизбежными. Тут утешает лишь то, что в цепях с низким энергопотреблением в совокупности проблем целостности сигналов не столь заметны негативные влияния от перекрестных помех.

Обеспечение целостности питания (Power Integrity, PI) подразумевает анализ того, насколько эффективно в данной системе энергия преобразуется и подается от источника к нагрузке, а в общем понимании — это анализ, направленный на то, чтобы проверить, соблюдаются ли требуемые напряжение и ток от источника к месту назначения. Питание в рассматриваемой нами сфере техники, как уже было сказано, подается через распределительную сеть электропитания PDN, которая состоит из пассивных компонентов и соединений, неизбежных на пути передачи энергии от источника питания к нагрузке. С переходом на маломощную электронику уровни напряжения постоянного тока и допуски были уменьшены. В некоторых случаях допуски на уровни напряжения сократились с ±5 до ±1%. Пульсация, шумы, помехи и переходные процессы на этих низковольтных шинах могут отрицательно повлиять на передачу тактовой частоты, поддерживающей синхронизацию сигналов, и передачу данных. Для обеспечения чистоты линий электропередачи необходимо проверить качество и целостность линий питания. Задача состоит в том, чтобы можно было измерять все более и более быстрые сигналы переменного тока, идущие поверх сигналов от источников напряжения постоянного тока.

С расширенными функциональными возможностями, более высокой плотностью размещения, более высокой скоростью и более низкой мощностью электроники проблемы обеспечения целостности сигналов и целостности питания становятся все более распространенными и весомыми. Использование инструментов системного моделирования и симуляции для прогнозирования производительности, дополненных инструментами измерения для оценки реализаций, позволяет командам разработчиков снизить как риски проектирования, так и время выхода конечного продукта на рынок.

Существует широкий спектр измерительных инструментов, доступных для проверки и корреляции при моделировании и предназначенных для оценки целостности сигнала и целостности питания и сравнения полученных результатов с фактическими измерениями. Например, для проверки приемника можно использовать тестовую установку на основе векторного анализатора цепей серии ENA с функцией рефлектометра кабельных линий (time-domain ref lectometry, TDR — измерение коэффициента отражения методом совмещения прямого и отраженного испытательных сигналов), осциллографы Infiniium и измеритель коэффициента битовых ошибок (Bit Error Ratio Test, BERT). Для повышения качественных показателей измерений с помощью этих инструментов служит вспомогательное программное обеспечение.

Для измерений на физическом уровне предназначено программное обеспечение Physical Layer Test System (PLTS) [12], специально созданное для оценки целостности сигналов в межсоединениях. Оно работает с векторными анализаторами типов PNA, ENA и PXI, а также с TDR-осциллографами. PLTS помогает пользователям в настройке и калибровке оборудования и контролирует сбор данных, а также обеспечивает создание встроенной модели для автоматического удаления лишних элементов, что позволяет инженерам исследовать только интересующий их компонент. Благодаря тому что тестирование на соответствие осуществляется одним нажатием кнопки, эта система достаточно проста в эксплуатации.

Гетерогенное сочетание беспроводных технологий и многопротокольных устройств

Для того чтобы удовлетворить разнообразные потребности приложений IoT, появилось множество беспроводных технологий и стандартов [1, 4–7]. Это разнообразие сетевых технологий предоставило возможность поддерживать самые разные приложения, начиная от простых датчиков с питанием от батареи и заканчивая высокопроизводительными критически важными сервисами для автономных автомобилей. На рис. 1 показаны устройства, в частности смартфон, поддерживающие сотовые и не сотовые радиоинтерфейсы, такие как NFC, Wi-Fi, Bluetooth и LTE. Однако тот факт, что существует так много стандартов, доступных для IoT, уже само по себе представляет проблему измерения. Используемые стандарты содержат много разных физических уровней, каждый из которых имеет свои уникальные требования к радиочастотным испытаниям. Ситуация усугубляется тем, что каждый физический уровень может потенциально поддерживать, кроме основной, еще несколько типов модуляции.

Поскольку все большее число устройств поддерживают одновременно несколько стандартов, их тестирование превращается во все более сложную задачу. Известно, что каждый стандарт (или протокол) имеет свой набор требований и, соответственно, проблем тестирования. Разработчики также должны убедиться, что устройства хорошо взаимодействуют между собой и могут одновременно обрабатывать несколько стандартов. Тем не менее испытательное оборудование может быть весьма дорогостоящим, когда для каждого отдельного стандарта требуется отдельный прибор. Более рентабельный подход состоит в том, чтобы иметь единый инструмент, способный тестировать все необходимые стандарты

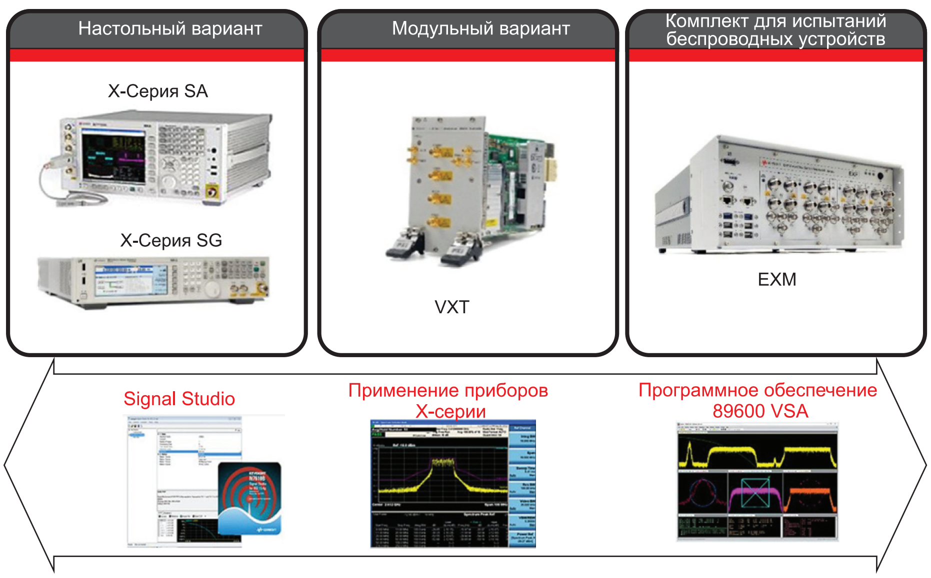

Рис. 6. Научный подход компании Keysight в области настольного, модульного и беспроводного тестирования. Аппаратные средства (вверху) дополняет программное обеспечение (внизу), обеспечивая более широкие возможности и понимание измерений

и поддерживать добавление новых стандартов по мере их появления.

Для тех, кто разрабатывает устройства IoT и ищет решения для поддержки беспроводных форматов не только на сегодня, но и на завтра, компания Keysight предлагает целый ряд аппаратных платформ, а именно настольные, модульные и однокамерные тестеры (рис. 6). Эти продукты дополняются программным обеспечением, которое предоставляет более широкие возможности и понимание результатов измерений. Преимущество решений Keysight заключается в том, что используемые компанией общие научные подходы к измерениям обеспечивают согласованные и сопоставимые результаты измерений на протяжении всего жизненного цикла продукта, от этапа исследований и разработки до его серийного производства.

В качестве альтернативы интегрированным тестовым наборам некоторые малые и средние производители для таких реализаций, как ASK/FSK могут выбрать экономически эффективные решения [13–16] и самые дешевые для Bluetooth и ZigBee. В качестве экономически эффективного варианта для тестирования недорогих устройств и модулей может использоваться базовый анализатор спектра (Basic Spectrum Analyzer, BSA) N9320B/N9322C. Он идеально подходит для исследований, разработок и производства бытовой электроники, а также для ремонта, и может применяться как учебное оборудование в лабораториях университетов и колледжей. Кстати, данное оборудование предназначено и для мониторинга спектра общего назначения.

Анализ спектра в реальном времени бывает нужен для решения целого ряда проблем, включая устранение падения производительности в реальных условиях и захват мешающих сигналов (преднамеренных или непреднамеренных), которые могут присутствовать и влиять на производительность, даже если они очень коротки по продолжительности. Возможности анализа можно улучшить с помощью опции на анализаторах сигналов серий UXA, PXA и MXA. Опция анализатора спектра в реальном времени (Real-Time Spectrum Analyzer, RTSA) [17, 18] позволяет обнаруживать сигналы длительностью лишь 3,33 нс и сканировать полосу пропускания в реальном времени с частотой до 510 МГц с анализом сигналов в реальном времени, а с использованием внешнего микширования диапазон увеличивается и до терагерцевой частоты. Эффективный запуск позволяет инженерам сосредоточиться на интересующем сигнале в сложных сигнальных средах и даже видеть небольшие сигналы на фоне присутствующих сигналов большого уровня.

Взаимное влияние (совместимость), соответствие требованиям и согласованность

При высокой плотности передачи сигналов подключенных устройств «Интернета вещей», в случае использования беспроводных технологий, работающих на одних и тех же полосах частот, могут появляться взаимные помехи в совмещенном и соседнем каналах. Так, в целях экономии все большее число IoT-устройств использует не требующий лицензирования ISM-диапазон (ISM — Industrial, Scientific and Medical, выделенные частоты устройств малой мощности промышленной, научной и медицинской сферы). В результате диапазон 2,4 ГГц, который, кроме ISM, используется беспроводными телефонами, беспроводными видеокамерами, микроволновыми печами и носимыми устройствами, становится довольно-таки насыщенным. Вот почему здесь крайне важно тщательно протестировать IoT-устройства. Это необходимо для того, чтобы убедиться в их соответствии сетевым требованиям и нормативным стандартам, а также в способности работать в данной среде с большим числом сигналов. Такое тестирование предполагает проверку не только на соответствие стандартам, но и на совместимость — возможность одновременно функционировать в определенной среде с другими устройствами, не создавая им помех и не блокируясь от их воздействия. Кроме того, анализ спектра в реальном времени позволяет обнаруживать и захватывать спектральную среду, что представляется ценным способом выявления изменяющихся во времени источников помех.

Еще одна проблема связана с большим количеством IoT-устройств, работающих одновременно и в непосредственной близости друг от друга, — это электромагнитные помехи (ЭМП), которые приводят нас к проблеме электромагнитной совместимости (ЭМС) [8]. Существует четыре основных типа испытаний на электромагнитную совместимость: испытания на собственное излучение и кондуктивные (наведенные) помехи, а также испытания на устойчивость к внешнему излучению и помехам, наведенным внешним источником. Проще говоря, первое направлено на то, чтобы избежать создания нежелательного излучения, а второе направлено на гарантирование устойчивости к нежелательным внешним помехам. Для проведения сертификационных измерений соответствия требуются решения, отвечающие регламентам конкретного стандарта.

Вопросы электромагнитных помех (ЭМП) и, как следствие, электромагнитной совместимости (ЭМС) чрезвычайно сложны и требуют самого внимательного подхода уже на ранних стадиях проектирования [8]. С этой целью уже в начале цикла разработки для моделирования излучений электронных схем и компонентов можно использовать программное обеспечение Keysight EDA EMPro. Расчетные результаты помогают определить, находятся ли выбросы в пределах уровней, определенных общими стандартами ЭМС, такими как CISPR, FCC Part 15 и MIL-STD-461G. Моделирование позволит дизайнерам оценить уровни выбросов еще до разработки аппаратного обеспечения.

Чтобы избежать дорогостоящих задержек при выполнении проекта из-за его несоответствия требованиям ЭМС, команды разработчиков проводят предварительное тестирование на соответствие требованиям для своих новых проектов. Это помогает идентифицировать проблемы ЭМП и ЭМС на максимально ранних стадиях и принять превентивные меры [20], а в случае выявленного несоответствия должным образом исправить ситуацию [21]. Приложение для измерения электромагнитных помех — это ПО для испытаний на электромагнитную совместимость N/W6141A для анализаторов сигнала серии X (PXA/MXA/EXA/CXA). С помощью широкого набора инструментов сбора и анализа данных, ориентированных на ЭМС, программное обеспечение облегчает проведение испытаний на соответствие этим важным требованиям.

Успех тестирования на соответствие ЭМС зависит от быстрого и эффективного перемещения продуктов через очередь испытаний. Полное, совместимое со стандартами тестирование может проводиться согласно CISPR [19] и MIL-STD [19] с помощью обновляемого приемника электромагнитных помех N9038A MXE, выполняющего измерения в диапазоне частот 3–44 ГГц. В качестве комплексного решения для тестирования электромагнитных помех партнеры Keysight Solutions предоставляют единую точку контакта для объединения MXE с камерами, антеннами, программным обеспечением, интеграцией с добавленной стоимостью, пробниками и многим другим. На рис. 7

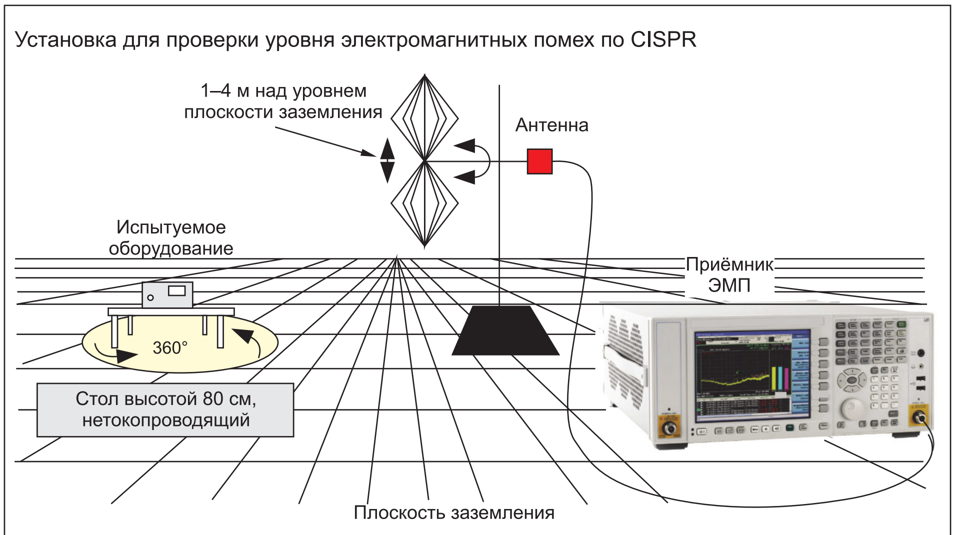

Рис. 7. Эта тестовая установка используется для проведения измерений излучаемых электромагнитных помех

показана тестовая установка для измерений излучаемых электромагнитных помех.

Решение растущих проблем, с которыми сталкиваются разработчики устройств IoT, требует надежных и точных решений для испытаний и измерений. Используя продукты компании Keysight, инженеры могут не только быстрее выйти на рынок и получить преимущество, но и повысить вероятность того, что их устройства будут успешно внедрены на рынке, что, собственно, и является конечной целью любого проекта. ■

Литература

1. The Internet of Things: Enabling Technologies and Solutions for Design and Test (5992-1175EN). www.literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5992-1175EN.pdf?id=2666018
2. Sojuyigbe S.; Daniel K, Wearables/IOT devices: Challenges and solutions to integration of miniature antennas in close proximity to the human body. Electromagnetic Compatibility and Signal Integrity, 2015 IEEE Symposium, March 2015. www.ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7107662
3. Understanding Signal Integrity (5988-5978EN). www.cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5988-5978EN.pdf
4. Рентюк В. Краткий путеводитель по беспроводным технологиям «Интернета вещей». Часть 1. Сети, шлюзы, облака и протоколы // Control Engineering Россия. 2017. №6. www.controleng.ru/besprovodny-e-tehnologii/putivoditel-iot-1/
5. Рентюк В. Краткий путеводитель по беспроводным технологиям «Интернета вещей». Часть 2. Ближний радиус действия // Control Engineering Россия. 2018. №61www.controlengrussia.com/besprovodny-e-tehnologii/putivoditel-iot-2/
6. Рентюк В. Краткий путеводитель по беспроводным технологиям «Интернета вещей». Часть 3. Wi-Fi // Control Engineering Россия. 2018. №2 www.controlengrussia.com/besprovodny-e-tehnologii/putivoditel-iot-3-wi-fi/
7. Рентюк В. Краткий путеводитель по беспроводным технологиям «Интернета вещей». Часть 4. Большой радиус действия // Control Engineering Россия. 2018. №3 www.controlengrussia.com/besprovodny-e-tehnologii/putivoditel-iot-4/
8. Рентюк В. Электромагнитная совместимость: проблема, от решения которой не уйти // Компоненты и технологии. 2017. № 7.
9. Enhance the Battery Life of your Mobile or Wireless Device (5991-0519EN). www.literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5991-0519EN.pdf
10. 10 Tips to Optimize a Mobile Device's Battery Life (5991-0160EN). www.literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5991-0519EN.pdf
11. Battery Life Challenges in IoT Wireless Sensors and the Implications for Test (5991-2698EN). www.literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5992-1192EN.pdf?id=2713814
12. Physical Layer Test System (PLTS) 2018 (5989-6841EN). www.literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5989-6841EN.pdf
13. A Cost-effective Way to Test Sub 1-GHz Wireless Modules (5992-1142EN). www.literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5992-1142EN.pdf?id=2671318
14. A Cost-effective Way to Test BluetoothModules on Smart Devices (5992-1118EN). www.literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5992-1118EN.pdf
15. A Flexible Test Solution for 2.4 GHz ZigBee Transmitter and Receivers (5992-0464EN). www.literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5992-0464EN.pdf
16. A Cost-Effective Solution to Test Zigbee-enabled Smart Home Devices (5992-1298EN). www.literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5992-1298EN.pdf?id=2705780
17. Real-Time Spectrum Analyzer, X-Series Signal Analyzers (5991-1748EN). www.keysight.com/upload/cmc_upload/All/5991-1748ENfinal_temp.pdf
18. Real-Time Spectrum Analysis for Troubleshooting 802.11n/ac WLAN Devices (5991-2652EN). www.literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5991-2652EN.pdf?id=2373039
19. Рентюк В. Что нужно знать об испытаниях на выполнение требований по ЭМС для изделий коммерческого назначения // Компоненты и технологии. 2017. № 7.
20. Петит Г. Что требуется при подготовке изделия для испытаний, как их проводят и чем они заканчиваются. // Компоненты и технологии. 2017. № 9.
21. Уайт К. Устранение проблем, выявленных в ходе испытаний изделия на выполнение требований по ЭМС // Компоненты и технологии. 2017. № 10.