Окончание. Начало в № 4'2020

Современный подход к тестированию оборудования и сети 5G.

Часть 2

Эффективность технологии 5G в большой степени зависит от того, насколько тщательно проверены и откалиброваны пользовательское оборудование и сама сеть. Во второй части статьи продолжаем рассматривать проблемы, которые могут возникнуть при тестировании 5G-устройств и сети, и способы их решения.

Аликс Паултре (Alix Paultre)

Перевод и дополнения: Владимир Рентюк

Точность и эффективность тестирования

Когда речь зашла об отраслевых проблемах, д-р Хуман Заррикуб (Houman Zarrinkoub), главный продукт-менеджер по оборудованию беспроводной связи в компании MathWorks [1], отметил, что сегодня основные проблемы связаны с точностью и эффективностью, поэтому разработчикам требуется найти точные и надежные векторы сигналов и охватить все тестовые сценарии, чтобы проверить систему на соответствие стандарту 5G. Пакет 5G Toolbox [2] от компании MathWork обеспечивает стандартизованные формы сигналов и эталонные примеры для моделирования и проверки физического уровня систем связи 3GPP 5G. Это именно тот инструмент, который предоставляет надежный доступ к тестовым векторам, тщательно проверенным инженерами компании MathWork.

Что касается эффективности, тестирование подсистем физического уровня (PHY) устройств 5G со всеми режимами, частотами и параметрами занимает значительное время. Любая среда и инструмент, способные выполнять генерацию тестовых векторов, создание сценариев и более эффективную передачу по эфиру, могут сделать работу инженеров-испытателей значительно более результативной.

Именно для таких целей специалисты MathWork и спроектировали приложение Wireless Waveform Generator. Формируя сигналы в интерактивном режиме, создавая сценарии MATLAB, которые фиксируют процесс генерации сигналов в качестве тестового сценария, а затем подключая формы сигналов непосредственно к ВЧ-прибору, приложение быстрее проходит весь долгий путь решения этих проблем.

5G Toolbox — флагманский продукт MathWork для 5G, который содержит тестовые модели NR-TM и сигналы фиксированного опорного канала (fixed-reference channel, FRC), определенные как часть, указанная в документации по стандартам 5G. Это помогает разработчикам точно проверять и подтверждать свои проекты. Возможность генерации сигналов — важное требование для тестирования любой конструкции, но для 5G она имеет особое значение.

Недавно представленный беспроводной генератор сигналов в виде заданных волновых форм (Wireless Waveform Generator) делает процесс тестирования еще более простым и интерактивным. В качестве интерактивного и графического инструмента для тестирования это приложение генерирует, визуализирует и интегрирует тестовые сигналы 5G в свою тестовую среду. В результате любой пользователь, даже не являющийся программистом MATLAB, может легко создать тестовые векторы 5G.

Приложение поддерживает не только широкий спектр стандартных сигналов беспроводной связи, таких как 5G, Wi-Fi и Bluetooth, но и стандартные тестовые сигналы, определенные в документах по стандартизации, включая тестовые модели, и фиксированные эталонные каналы. Начиная с версии 2021a в приложение включено создание пользовательских сигналов 5G, что позволяет инженерам указывать любой произвольный набор параметров и генерировать все типы сигналов 5G.

Кроме того, приложение Wireless Waveform Generator напрямую подключается к ВЧ-приборам (генераторам сигналов) от различных поставщиков. Это позволяет передавать сгенерированный сигнал 5G методом OTA — буквально одним щелчком мыши. Однако данная функция в сочетании с 5G Toolbox требует наличия

определенного инструментария управления измерительным прибором.

Мы опять возвращаемся к тому, что стандарты 5G представили новые частоты в миллиметровом диапазоне (выше 24 ГГц). Из-за ограничений, имеющихся при распространении сигналов миллиметрового диапазона, при передаче на этих частотах обычно используются большие антенные MIMO-решетки, усиливающие сигнал и, следовательно, увеличивающие дальность действия. Тенденции, связанные с использованием миллиметрового диапазона и методами тестирования этих типов сигналов, а также объединение тестирования радиочастотных каналов с антенными решетками MIMO, подчеркнем это еще раз, являются одними из наиболее серьезных проблем в этой области.

Приходится собирать все по кусочкам

Джон Семанчик (Jon Semancik), директор по маркетингу компании Marvin Test Solutions [3], однажды сказал, что при тестировании полупроводниковых устройств миллиметрового диапазона эффективность производства имеет решающее значение и является одной из самых серьезных проблем, с которыми сталкивается большинство предприятий-изготовителей. Производственный набор для тестирования GENASYS Semi TS-900e-5G [4] позиционируется как самый быстрый и доступный в настоящее время, при этом некоторые тесты показывают время выполнения, на порядок меньшее общепринятого (рис. 1). Достичь такого результата удалось за счет реализации архитектуры параллельного тестирования максимум с 20 независимыми портами векторного анализатора цепей (vector network analyser, VNA) на систему, что приводит к исключительной эффективности тестирования и сокращению общего времени испытаний.

Флагманское предложение Marvin Test Solutions — тестовая система TS-900e-5G 5G mmWave — является частью набора гибких конфигурируемых полупроводниковых тестовых решений GENASYS Semi с поддержкой наиболее популярных инструментов для автоматизации производства и погрузочно-разгрузочных работ. Система весьма удобна для тестирования как пластин, так и корпусированных продуктов. Для доставки сигнала 44 ГГц на испытуемое устройство она может поддерживать до 20 независимых портов VNA, что соответствует требованиям к пропускной способности, предъявляемым производством к приемо-сдаточным испытаниям.

Рис. 1. Испытательная система TS-900e-5G с манипулятором

Кроме того, модульная архитектура тестовой системы хорошо подходит для удовлетворения растущих потребностей микроволнового тестирования, с расширением до 53 ГГц. Выпуск такой системы начался в конце второго квартала 2021 года. Сегодня базовая система TS-900e-5G содержит анализаторы цепей с высокой пропускной способностью от компаний Keysight и ATEasy, полный набор программных инструментов от компании Marvin Test Solutions, который позволяет инженерам быстро проектировать и легко поддерживать тестовые приложения, а также ICEasy, который упрощает разработку и определение характеристик устройств. Базовая система TS-900e-5G включает высокопроизводительный динамический цифровой ввод/вывод с сигнально-питающим блоком PMU для каждого контакта, что необходимо для обмена данными между устройствами SPI/I²C и параметрического тестирования постоянного тока.

Кроме того, компания Marvin Test Solutions предлагает новейший векторный анализатор цепей и приборов цифрового ввода/вывода и комплект расширения для тестирования MTEK (Marvin Test Expansion Kit), предоставляя возможность модернизировать существующие громоздкие системы тестирования аппаратного обеспечения. Сегодня это особенно актуально, поскольку индустрия продолжает двигаться в сторону все более высокочастотных устройств. Однако даже простой переход с 44 на 53 ГГц оказывает существенное влияние на многие элементы тестового оборудования, начиная с контрольно-измерительных приборов, включая кабели, межкомпонентные соединения, интерфейсы слепого сопряжения и заканчивая калибровкой на уровне всей системы. С распространением и внедрением 5G спрос на эти устройства будет продолжать расти, однако потребность в устройствах миллиметрового диапазона выходит за рамки 5G и распространяется на другие области, в том числе военные применения, визуализацию и проверку безопасности.

Поддержка экосистемы

Джесси Кавазос (Jessy Cavazos), специалист по маркетингу отраслевых решений 5G в компании Keysight Technologies [5], рассказала о своих партнерских отношениях с ведущими производителями чипсетов, такими как компании Qualcomm и Mediatek, производителями сетевого оборудования Nokia и Ericsson и ведущими NTT Docomo и Verizon. Эти отношения крайне важны для того, чтобы успешно реализовать начальный этап внедрения 5G и перейти к широкому внедрению систем сотовой связи пятого поколения. Кроме давно и хорошо зарекомендовавших себя игроков на рынке аппаратуры связи, компания Keysight Technologies сотрудничает и с новичками, стремящимися к инновациям, в частности O-RAN (Open Radio Access Network — открытые сети радиодоступа). Концепция Open RAN является инициативой альянса O-RAN — некоммерческой организации, основанной крупнейшими мировыми операторами мобильной связи. Свою задачу альянс видит в выработке открытых требований, архитектуры и семейства стандартов, описывающих сеть радиодоступа (RAN) нового поколения.

Компания Keysight Technologies также участвует в различных организациях по стандартизации, таких как 3GPP и O-RAN Alliance, и является редактором спецификаций тестов на соответствие O-RAN в рабочей группе 4 (WG4) O-RAN Alliance. Кроме того, Keysight Technologies участвует в нескольких университетских программах по всему миру, работая над перспективными технологиями, и сотрудничает с такими проектами, как флагманская программа по шестому поколению сотовой связи 6G Университета Оулу, Финляндия.

Еще один пример — Keysight Open RAN Architect (KORA), комплексный портфель решений для открытой сети радиодоступа O-RAN (рис. 2). Это решение позволяет участникам экосистемы имитировать любую часть сети 5G O-RAN. Сетевые поставщики и операторы мобильной связи могут проверять совместимость, производительность и безопасность мультивендорных сетей 5G на основе стандартных интерфейсов O-RAN. Переход к сетям RAN от различных поставщиков приводит к повышению функциональной совместимости и увеличению производительности.

Выполняя всестороннее тестирование в гетерогенной сети, поставщики сетевого оборудования могут расширять возможности своих проектов, а операторы — предлагать решения, поддерживающие инновационные предложения услуг. KORA предоставляет интегрированные программные решения, ускоряющие разработку, интеграцию и развертывание оборудования, совместимого с O-RAN. Каждый набор адаптирован к потребностям участников цепочки поставок — от производителей наборов микросхем, производителей сетевого оборудования, операторов мобильных сетей до открытых центров тестирования и интеграции. KORA включает Open RAN Studio, UeSIM, RuSIM, CoreSIM, DuSIM, CuSIM, RIC Test, ATI Pentest, CyPerf, Breaking Point, Vision Edge, IxNetwork, CloudPeak, Nemo Outdoor и решения для эмуляции каналов.

Одним из ключевых дополнений к портфелю 5G компании Keysight Technologies в 2021 году стало приобретение компании Sanjole. Беспроводные анализаторы Sanjole — это ведущие в отрасли анализаторы связи OTA, служащие источником истины для поиска аномалий, выявления узких мест и быстрого определения первопричины проблем в сложных беспроводных системах. Эти программные решения позволяют производителям модемов, наборов микросхем и RAN выполнять тестирование на совместимость с проверенными стандартами связи, оперативно устранять проблемы и сокращать время развертывания сети. Инструменты

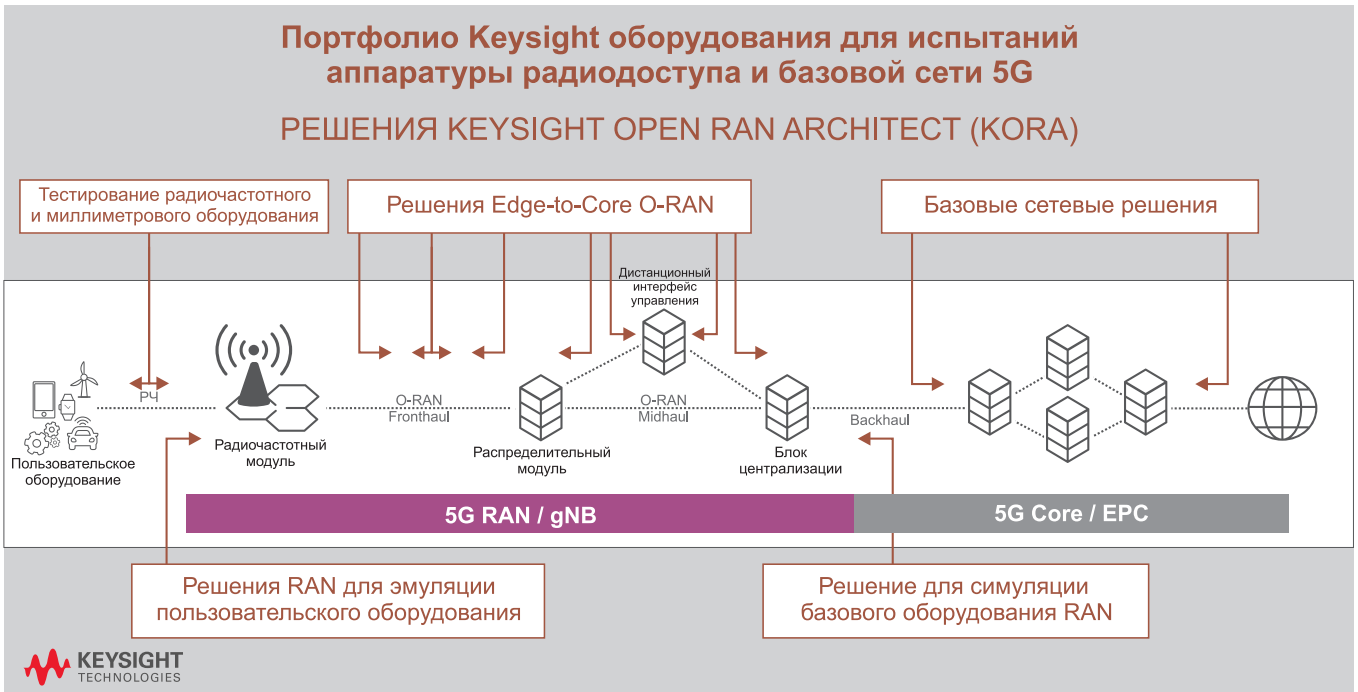

Рис. 2. KORA — комплексный портфель решений от компании Keysight Technologies для открытой сети радиодоступа (O-RAN), позволяет участникам экосистемы эмулировать любую часть сети 5G O-RAN. Примечание. Fronthaul, Midhaul и Backhaul — транспортные сети

глубокого анализа обеспечивают видимость событий, охватывающих несколько уровней, что позволяет обнаруживать ошибки обмена протоколами, которые не удается выявить в логах конечного оборудования, и понимать, как физический уровень влияет на производительность верхнего уровня.

Набор доступных инструментов от компании Keysight Technologies включает S8708A Advanced Performance Test Toolset (набор инструментов для расширенного тестирования 5G) и S8709A Virtual Drive Test Toolset (набор инструментов для тестирования виртуального диска 5G), которые добавляют реальные условия радиоканала для тестирования производительности устройств 5G, содержат функциональный набор инструментов KPI S8703A и набор инструментов S8710A Device Benchmarking Toolset. Решения состоят из программного обеспечения, эмулятора сети UXM 5G, эмулятора канала PROPSIM и оборудования для диапазона FR2 (экранированная камера, общий интерфейсный блок и удаленные излучающие радиоголовки).

Программная платформа P7000 для тестирования соответствия базовых станций, также предлагаемая компанией Keysight Technologies, предоставляет предварительно настроенные тестовые примеры, чтобы помочь производителям сетевого оборудования проверять производительность своих базовых станций на соответствие требованиям последних стандартов 3GPP. С помощью P7000 инженеры, которые занимаются исследованиями и разработками, интеграцией и верификацией сетевого оборудования, и операторы, работающие над малыми ячейками, макроячейками и тестированием O-RAN (как дезагрегированными компонентами базовых станций), могут относительно легко внедрять новые стандарты и быстрее создавать сложные тестовые комплекты.

Набор инструментов для эмуляции спутниковых и аэрокосмических каналов S8825A — это решение для эмуляции каналов, необходимых для тестирования спутниковых каналов связи в неземных сетях 5G (nonterrestrial network, NTN). Включенный в предстоящий выпуск 17 3GPP (Rel-17) 5G NTN стимулирует деятельность по разработке в компаниях сотовой и спутниковой широкополосной связи для создания необходимых технологий. Запуск первого такого решения ожидается уже в 2023 году. Для этого компаниям сотовой связи необходимо интегрировать спутниковую связь и спутниковый доступ, в то время как спутниковые компании должны обеспечить подключение к сотовым сетям. С этой целью эмулятор канала 5G компании Keysight, PROPSIM, был обновлен для поддержки вариантов использования спутников и помощи данным организациям в преодолении описанных проблем.

Что касается систем сотовой связи 6G, исследователям для того, чтобы получить представление о производительности своих проектов по мере развития 6G, требуется гибкий и масштабируемый стенд для тестирования. Определение уровня производительности системы вектора ошибок (error-vector-magnitude, EVM), возможного в полосах частот субтерагерцевой области и экстремальных полосах частот модуляции, является ключевой областью исследований. Испытательный стенд компании Keysight определяет качество формы сигналов с помощью измерений EVM для диапазонов D (110–170 ГГц) и G (140–220 ГГц) с полосой модуляции до 10 ГГц. Но характеристики канала — это второе неизвестное. Испытательный стенд компании Keysight для субтерагерцевой области диапазона частот может выполнять исследования по зондированию каналов 6G с широкой полосой пропускания в D-диапазоне. На испытательном стенде используется программное обеспечение для генерации и анализа сигналов зондирования канала с той же аппаратной настройкой, которая использовалась для измерений EVM-качества сигнала.

В связи с внедрением технологии 5G, уплотнением и более требовательными приложениями сети становятся все более сложными. Но одновременно операторы мобильной связи хотят сократить капитальные затраты и ускорить предоставление абонентам инновационных услуг. Дезагрегация gNB также необходима для расширения виртуализации в RAN, и такой переход вызывает значительные нарушения в области тестирования и проверки. 5G продолжает развиваться. Второй выпуск стандарта 3GPP с релизом 6 не похож ни на один другой второй выпуск стандарта сотовой связи, поскольку расширяет охват 5G в новых вертикалях, вызывая новую волну проблем при тестировании и проверке.

Мощные решения

Брайан Уокер (Brian Walker), руководитель отдела проектирования радиочастот в компании Copper Mountain Technologies [6], пояснил, что их последние решения для тестирования и оценки 5G включают векторные анализаторы цепей в миллиметровых диапазонах, необходимых для измерения компонентов систем 5G (рис. 3). Так, последняя компактная модель S5243 работает в диапазоне 10 МГц — 44 ГГц. Ее небольшой форм-фактор делает этот контрольно-измерительный прибор отличным дополнением к испытательному стенду 5G или компонентом для встраивания непосредственно в испытательную станцию. Ни для кого не секрет, что более высокие частоты требуют дорогостоящего и тонкого калибровочного оборудования, и это серьезный вызов для потребителей. Чтобы

ответить на новые вызовы, компания Copper Mountain Technologies работает над методами автоматизации этого процесса и предоставляет точные и надежные решения.

У компании Copper Mountain Technologies есть решения и для измерения широко разнесенных антенн. Как известно, миллиметровые волны сильно затухают в длинных коаксиальных кабелях. Система удлинителя частоты mmWave CobaltFx получает гораздо более слабый микроволновый сигнал и генерирует миллиметровые волны непосредственно на тестируемом устройстве, что значительно снижает потери сигнала и улучшает динамический диапазон измерения. Испытание усилителя мощности — это еще одно распространенное требование, и здесь векторный анализатор цепей является ключевой частью испытательного оборудования. Он модулирует тестовый сигнал таким образом, что усилитель мощностью 10 Вт или более может быть оценен при средней рассеиваемой мощности всего в несколько сотен милливатт.

При обслуживании области преобразователей с повышением или понижением частоты, вспомогательных компонентов, усилителей мощности и антенн, а также других приложений возможность сдвига частоты векторных анализаторов цепей компании позволяет оценить коэффициент усиления или потери преобразования преобразователя с повышением или понижением частоты. Измерение с синхронизацией и импульсной модуляцией позволяет измерять усилители большой мощности при низкой средней мощности. Однопортовый векторный анализатор цепей, предназначенный для быстрого и простого измерения обратных потерь с заводской калибровкой по умолчанию, можно установить на антенный кабель, что избавляет от необходимости использовать дополнительный кабель для подключения оборудования.

Тестирование на соответствие требованиям стандартов 5G

Среди недавно представленных решений для тестирования есть система тестирования нормативных требований к радиочастотам ME7803NR от компании Anritsu [7] — это экономичное и простое в использовании единое решение для проведения испытаний радиочастотного FR1 в соответствии с требованиями ARIB/ETSI/FCC для пользовательского оборудования 5G. Интегрируя MT8000A с другим оборудованием и специальным программным обеспечением, оно поддерживает сертифицированные североамериканские, европейские и азиатские диапазоны, а также новые региональные диапазоны, включая диапазоны 5G и диапазоны LTE в автономном режиме 5G (NSA), используемые в качестве якорей LTE.

Тестовый модуль TRX MU887002A для универсального беспроводного тестового набора MT8000A/MT8872A повышает эффективность проверки производственных линий устройств 5G. Имея 24 ВЧ-разъема, MU887002A поддерживает 5G-тесты для спектра радиочастот, лежащие ниже 6 ГГц, а также различные одновременные тесты беспроводной связи, включая WLAN, Bluetooth и глобальную навигационную спутниковую систему (global navigation satellite system, GNSS).

Рис. 3. Решения для тестирования и оценки 5G от компании Copper Mountain Technologies включают векторные анализаторы цепей, работающие в миллиметровом диапазоне, необходимые для измерения компонентов 5G

Безэховая экранированная камера CATR MA8172A (рис. 4), предлагаемая компанией Anritsu, поддерживает тестирование мобильных устройств 5G, использующих миллиметровые диапазоны частотного диапазона FR2 в соответствии с отраслевыми стандартами. Новая опция температурных испытаний MA8172A-010 облегчает ранее сложные температурные испытания для пользовательского оборудования 5G, работающего в области миллиметровых волн, помогая обеспечить его соответствие. Безэховая экранированная камера CATR, предназначенная для облегчения подтверждения характеристик радиочастотного пользовательского оборудования 5G, работающего в области миллиметровых волн, в условиях контролируемой температуры интегрируется с испытательной станцией радиосвязи MT8000A и новой системой проверки соответствия радиочастотного излучения ME7873NR.

Кроме всего прочего, внимания заслуживает и предлагаемый компанией Anritsu анализатор спектра в реальном времени Field Master Pro MS2090A, разработанный для выездных технических специалистов сетевых операторов и национальных регулирующих органов, которым необходимо проверять радиочастотные характеристики базовых станций 5G по мере их развертывания. Анализатор спектра в реальном времени Field Master Pro MS2090A имеет частотное покрытие до 54 ГГц для работы во всех используемых в настоящее время диапазонах 5G, а для поддержки всех несущих 5G — полосу мгновенного захвата шириной в 110 МГц. Доступны пакеты демодуляции 5G и LTE, необходимые для установки и обслуживания; кроме того, MS2090A имеет возможность анализа спектра в реальном времени для улавливания узких, прерывистых помех или взаимных сигнальных помех.

Виртуализация и O-RAN создают собственный набор препятствий. Хотя он использует открытый интерфейс, инженеры должны протестировать его и убедиться в том, что интерфейс правильно запрограммирован производителем. Также необходимо провести тестирование для проверки, что интерфейс совместим с аппаратным и программным обеспечением от разных поставщиков. Решение для тестирования, такое как MT8000A, должно иметь спецификации стека протоколов, правильно реализованные в соответствии со спецификациями, а также надежное оборудование, которое обеспечивает воспроизводимые результаты. Все сказанное крайне важно при измерении задержки, поскольку разница

Рис. 4. Безэховая экранированная камера CATR MA8172A от компании Anritsu поддерживает тестирование мобильных устройств 5G, использующих частотный диапазон миллиметровых волн FR2

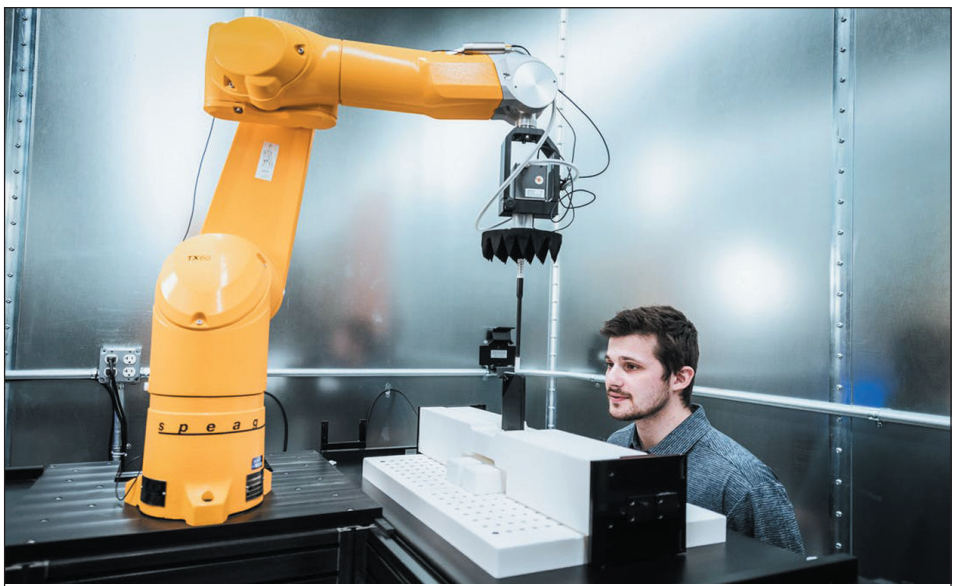

Рис. 5. Тестирование и оценка 5G должны соответствовать последним требованиям к оборудованию и его радиочастотным характеристикам

в миллисекундах может быть критичной для прохождения сигнала и привести к его потере, а с ним и передаваемой информации.

Кроме того, в ряде стран требуется полноценное тестирование на соответствие радиочастотам при установке вышек 5G. Основная потребность здесь заключается в поиске помех постфактум. Когда сообщается о проблемах с производительностью сети, используется тестовое оборудование для отслеживания и обнаружения несанкционированных источников помех, включая передатчики. Новые стандарты таких отраслевых организаций, как 3GPP, — это лишь несколько фрагментов головоломки в проектировании сетей 5G.

Постоянно меняющиеся условия приема и тестирования на соответствие — это еще один фактор, на который необходимо обратить внимание при тестировании. Field Master Pro MT8000A предназначен для ВЧ-тестирования характеристик сигналов физического уровня. Обычно это полезно при установке и обслуживании вышек. Кроме того, компания Anritsu предлагает тестирование уровня мощности для карт покрытия и измерения напряженности магнитного поля для проверки на безопасность.

Хочешь победить на рынке — будь на шаг впереди

Майкл Дерби (Michael Derby) и Стив Хейс (Steve Hayes) из группы Connected Technology компании Element Materials Technology [8] объяснили, что ключевые проблемы, с которыми сталкиваются их клиенты, заключаются в том, что время цикла выполнения НИОКР постоянно сокращается. Инженерам также приходится решать проблемы, связанные с проведением испытаний и сертификацией продуктов в соответствии с нормативными требованиями, когда новые функции 5G телефона еще не стандартизированы или стандарты находятся в разработке и еще не приняты. И здесь особое значение приобретает производительность испытательной лаборатории.

Еще одна проблема связана с новыми функциями и возникает в том случае, если сетевой оператор желает развернуть их в своей сети. Телефон, планшет, носимое устройство или другое оборудование с поддержкой 5G должно поддерживать эти функции, а значит, не только испытательные лаборатории, но и поставщики испытательного оборудования должны постоянно обновлять планы испытаний, оборудование и программное обеспечение в нем для подтверждения, что все подключенные устройства отвечают новым требованиям.

Представители компании Element Materials Technology заявили, что их испытательные лаборатории имеют необходимый опыт и полностью готовы оценить устройства 5G для радиопередатчиков и приемников, производительность по технологии OTA, провести оценку невосприимчивости к электромагнитным помехам, необходимую в рамках сертификации по электромагнитной совместимости (ЭМС), проверить безопасность оборудования и определить влияние радиочастотного воздействия сигналов 5G (рис. 5). Одна из основных тенденций в области тестирования, которую видит компания Element Materials Technology, — это растущие потребности в более широких возможностях лабораторий тестирования.

Сложность новых функций сети и телефона означает, что капиталовложения в лаборатории растут. Производители, стимулируемые операторами сетей, требуют множества новых функций, что увеличивает сложность тестирования, но при этом сокращается время, отведенное на тестирование и сертификацию. Еще одна тенденция заключается в том, что не только производители телефонов проявляют интерес к связи 5G. Многие из тех, кто делает запрос на тестирование радиочастотной продукции, не являются экспертами в области радиосвязи и не разбираются в тонкостях ее сертификации, однако при разработке радиочастотного оборудования они должны обращаться за помощью к специалистам.

В любом случае компания Element Materials Technology обладает всем необходимым опытом в области тестирования и сертификации FCC, ISED, ETSI и MIC, тестирования CTIA OTA, оценки воздействия радиочастотного излучения, удельного коэффициента поглощения (Specific Absorption Rate, SAR), плотности мощности, тестирования электромагнитной совместимости, совместимости со слуховыми аппаратами, тестирования радио, кибербезопасности, тестирования безопасности, тестирования на соответствие, TCB/FCB и является нотифицированным органом, выполняющим верификацию по PTCRB/GCF и CTIA.

Заключение

Как приемочные испытания, которые являются финишной стадией НИОКР, так и различные производственные испытания (основные из которых приемо-сдаточные и периодические) — это важные этапы для любого продукта, но путевку в жизнь ему дают сертификационные испытания, проводимые в специализированных аккредитованных лабораториях или испытательных центрах. Здесь подтверждаются не просто технические характеристики конечного продукта на соответствие базовым стандартам, но и его безопасность и совместимость (о том, что ждет вас на этом пути, — в цикле статей [9]). Все эти испытания представляют собой весьма затратный и непростой этап и, что вполне естественно, требуют наличия соответствующего оборудования. Пятое поколение сотовой связи постепенно входит в нашу жизнь и, чтобы не подвести производителей оборудования и потребителей услуг, ведущие игроки рынка тестового оборудования делают все, чтобы пользовательское оборудование, базовая станция и сама сеть были должным образом оценены, откалиброваны и проверены. Насколько все сказанное в предлагаемой статье серьезно и сложно — можно узнать в публикациях, посвященных различным проблемам технологии сотовой связи пятого поколения, которая в полном смысле оправдывает свое название «Новое радио» (New Radio), например в [10–12]. ■

Литература

1. www.mathworks.com
2. 5G Toolbox. www.docs.exponenta.ru/5g/index.html
3. www.marvintest.com
4. TS-900e-5G Series 5G mmWave Semiconductor Production Test Systems. www.marvintest.com/Product/TS-900e-5G
5. www.keysight.com
6. Copper Mountain Technologies www.coppermountaintech.com
7. www.anritsu.com
8. www.element.com
9. Рентюк В. Электромагнитная совместимость: проблема, от которой не уйти. Сб. «Электромагнитная совместимость в электронике-2018».
10. Дурнан Г., Анусич З., Ахмед Абдулрахман М. С. Требования к широкополосным усилителям мощности, используемым в mMIMO-приложениях // СВЧ-электроника. 2020. № 2.
11. Рентюк В. От структуры сигналов к MIMO: пять важных моментов для понимания проблем 5G New Radio // Беспроводные технологии. 2020. № 1.
12. Рентюк В. 5G и миллиметровые волны // СВЧ-электроника. 2019. № 4.