

Построение систем IoT и 5G

из серийно выпускаемых компонентов

В статье рассказывается о возможностях и способах моделирования ВЧ-систем для технологий мобильной связи 5G и приложений IoT с использованием серийно выпускаемых компонентов и быстрого синтеза многокаскадных схем согласования импеданса на печатных платах.

Хау-Сян Яп (How-Siang Yap)

5G — это перспективное поколение радиосетей мобильной связи, работающих в диапазоне 24–95 ГГц. Данная технология обещает чрезвычайно высокие скорости передачи данных по радиоканалу, например передачу видеопотоков для телевидения сверхвысокой четкости 4K/8K. Другим быстроразвивающимся приложением беспроводных технологий является «Интернет вещей» (IoT). По прогнозам, к 2020 г. к Сети будет подключено более 50 млрд объектов IoT. Все это создаст огромную нагрузку на радиоинженеров, вынуждая их быстро проектировать и выпускать продукты 5G и IoT, чтобы успешно конкурировать на рынке.

Моделирование ВЧ-систем 5G на частоте 28 ГГц

Проектирование и построение ВЧ-систем, работающих на частоте 24 ГГц и выше, связано с определенными проблемами из-за паразитных эффектов межсоединений в печатной плате, взаимовлияния компонентов и отсутствия моделей новых компонентов для моделирования на уровне системы. Использование электронных таблиц для оценки характеристик системы и последующее макетирование на макетных

платах с помощью реальных элементов обходится очень дорого, отнимая много времени, требуя множества приборов и значительной трудоемкости на каждую итерацию.

Однако теперь появилась эффективная возможность проектировать, создавать прототип и налаживать производство законченной ВЧ-системы за один цикл без лишних итераций, и эта возможность иллюстрируется приведенным ниже примером. На рис. 1 показана структурная схема системы с входным сигналом 28 ГГц и двумя гетеродинами 22 и 7 ГГц, понижающими частоту до промежуточной частоты 1 ГГц. Структурная схема смоделирована в системе Keysight Genesys Spectrasys, причем системные блоки моделировались следующим образом:

- X-параметры для нелинейных цепей;
- поведенческие модели устройств на основе системных параметров Keysight Sys-parameters, описывающих характеристики отдельных узлов системы в зависимости от частоты, смещения и температуры;
- S-параметры для линейных цепей;
- поведенческие модели, описанные уравнениями.

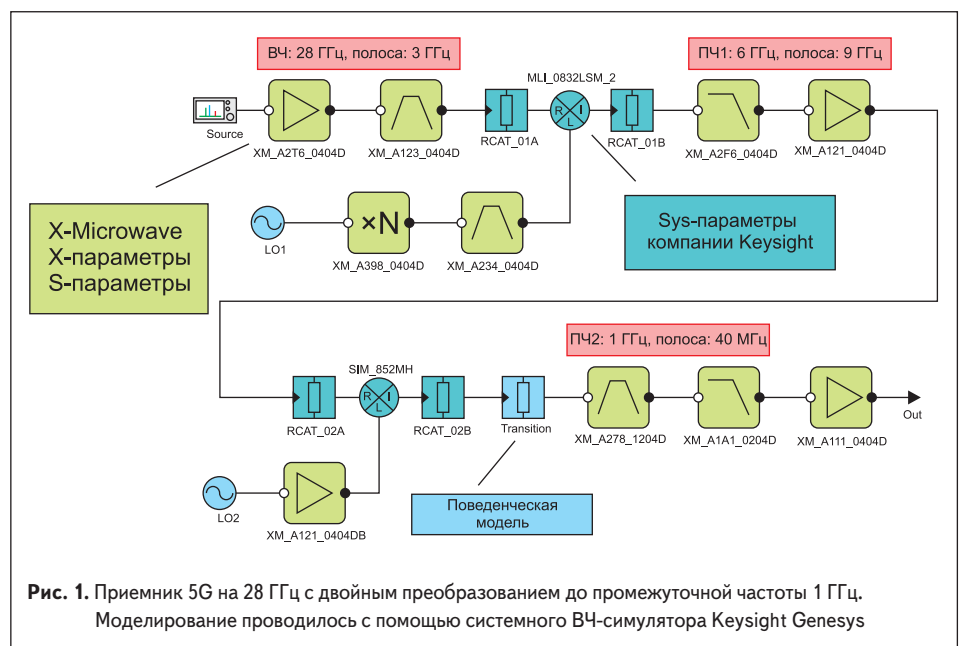


Рис. 1. Приемник 5G на 28 ГГц с двойным преобразованием до промежуточной частоты 1 ГГц. Моделирование проводилось с помощью системного ВЧ-симулятора Keysight Genesys

Технология моделирования ВЧ-систем прошла долгий путь развития. Примеры произведенных улучшений включают идентификацию происхождения составляющих спектра, расчет нелинейной интермодуляции, определение того, какие системные блоки и их характеристики при подаче на вход ВЧ-сигнала с цифровой модуляцией вносят вклад в ухудшение таких параметров, как модуль вектора ошибки (EVM), коэффициент битовых ошибок (BER) и соотношение мощностей соседнего и основного канала (ACPR).

На рис. 2 показан анализ зависимости EVM от расположения системных компонентов, который позволяет мгновенно выявлять основные причины деградации EVM, такие как фазовый шум гетеродина и нелинейность смесителей и усилителей. Щелкнув мышью на подозреваемом компоненте, можно настроить его параметры и улучшить характеристики системы. Это позволяет выбрать оптимальное расположение системных компонентов, избегая чрезмерного их сближения или разнесения, и достичь наилучших характеристик при минимальных затратах.

Определение характеристик на этапе проектирования и последующий поиск реальных компонентов, обладающих такими характеристиками, на этапе реализации является широко распространенным, но неэффективным подходом, который неизбежно порождает необходимость в нескольких итерациях. Sys-параметры, представляющие собой поведенческие модели реальных серийных компонентов, или X-параметры нелинейных компонентов могут непосредственно использоваться в ВЧ-моделировании, и в результате к концу проектирования компоненты будут уже определены и проверены на работоспособность в системе. После этого система готова к аппаратной реализации.

Построение систем 5G из серийно выпускаемых компонентов

В конструкции приемника 5G на 28 ГГц использовались серийно выпускаемые компоненты таких производителей, как Mini-circuits, Analog Devices, Qorvo, Marki и Avago, реализованные в виде модулей X-Microwave, как показано на рис. 3. Все модули, называемые X-блоками, включают необходимые внешние цепи питания и пассивные периферийные компоненты для таких активных устройств, как гетеродины, смесители и усилители. Они характеризуются моделями X-параметров на основе измерений или моделями на основе Sys-параметров, что позволяет точно моделировать их применение в реальной системе. Модули представляют собой печатные платы с компонентами поверхностного монтажа, соединенными между собой посредством термокомпрессионного метода без пайки, что обеспечивает надежную работу в диапазоне до 67 ГГц. Измерительные разъемы 1,9 мм тоже закреплены термокомпрессией, поэтому X-блоки можно использовать повторно без повреждения. Когда сборка прототипа завершена, такую же композитную топологию можно использовать в производстве, поскольку все

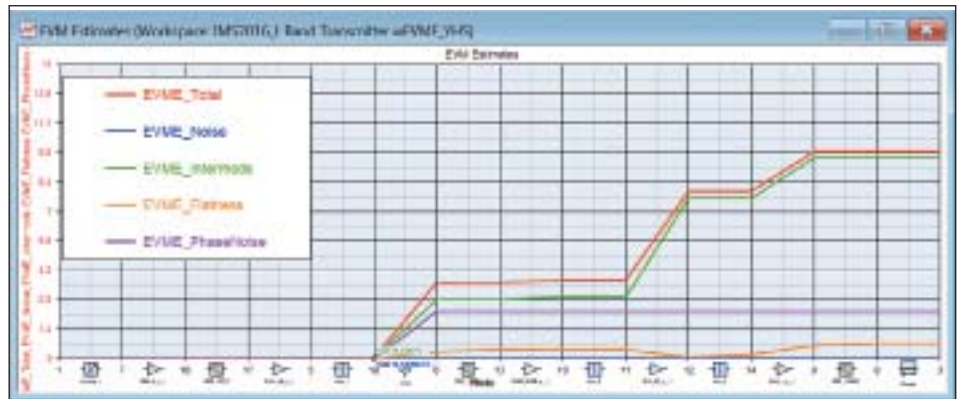


Рис. 2. Новейший метод анализа амплитуды вектора ошибки позволяет выявить компоненты, вызывающие деградацию ВЧ-сигналов с цифровой модуляцией, и исключить дорогостоящие итерации в процессе создания прототипа

компоненты располагаются на аналогичной многослойной подложке.

Измеренные параметры системы соответствуют смоделированным, как показано в таблице, разница объясняется погрешностью измерений на векторном анализаторе сигналов. Как видно, имеет место превосходная корреляция в пределах погрешности измерительных приборов.

Проектирование для IoT

Для IoT разрабатывается несколько стандартов, отличающихся зоной покрытия, полосой

передачи данных и рабочей частотой. Рабочие частоты IoT обычно подразделяются на две категории: нижние и верхние, а именно — диапазоны ISM 2,4 ГГц и 5,8 ГГц (диапазон для промышленного, научного и медицинского применения). С точки зрения проектирования физических радиоканалов IoT, работающих в этих частотных диапазонах, основной упор должен делаться на согласование импеданса чипсета IoT с антенной. Для увеличения дальности действия между чипсетом и антенной можно включать усилители.

Таблица. Сравнение измеренного и смоделированного модуля вектора ошибки для разной входной мощности

Входная мощность, дБм	Измеренная EVM, % ср.кв.	Оценка EVM, % ср.кв.
-50	1,8	2,2
-60	3,1	3,5
-70	9,3	9,3
-75	17,9	16,3
-78	20,0	22,9

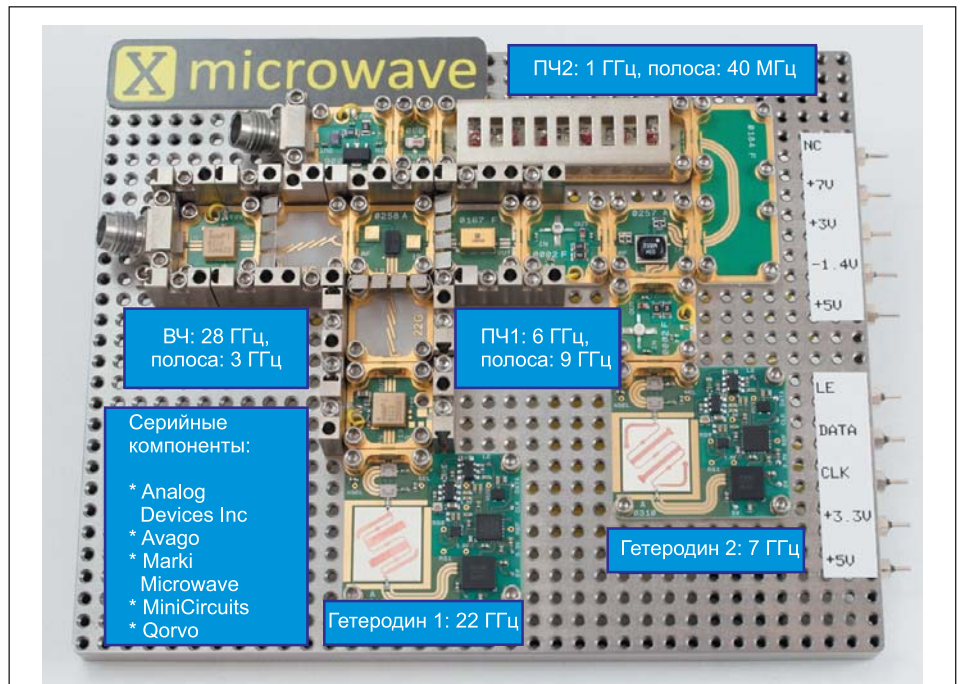
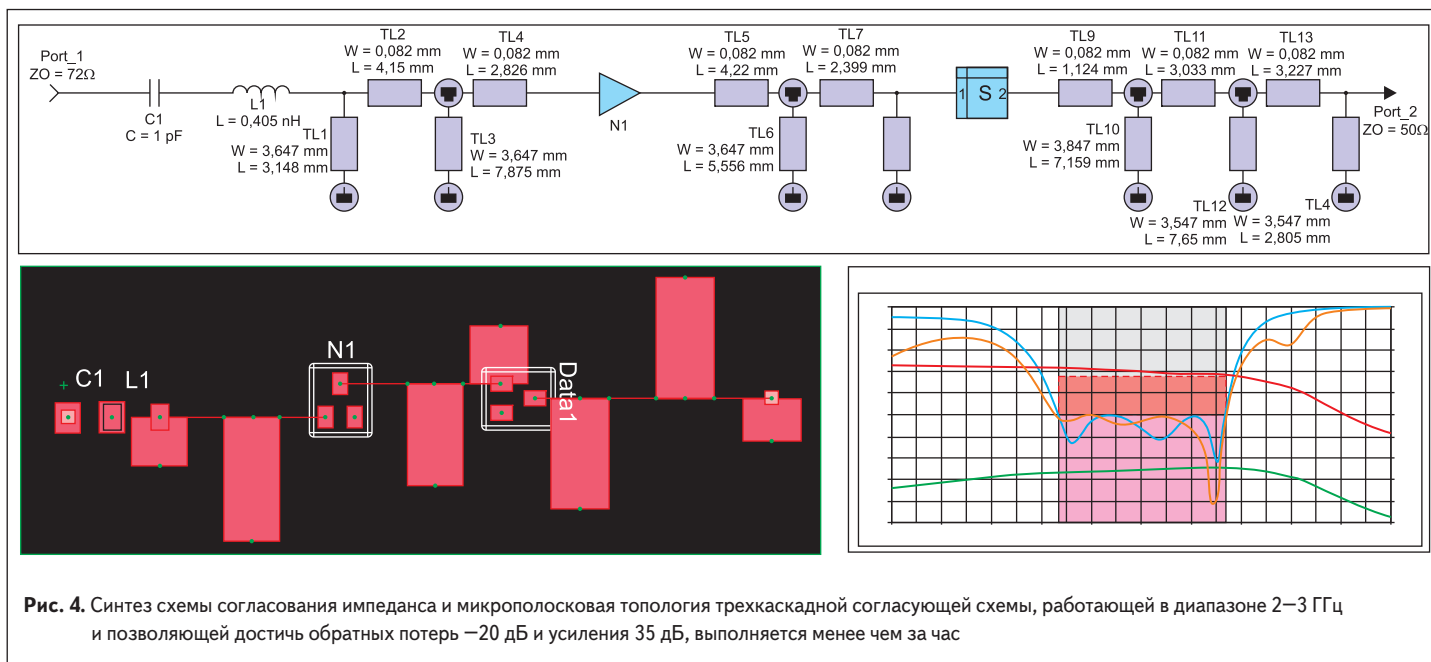


Рис. 3. Аппаратный прототип приемника 28 ГГц, использующий X-блоки из X-Microwave



В идеале схема согласования импеданса должна быть компактной и недорогой. Многокаскадные схемы, согласующие импеданс в широкой полосе частот (30% и более) со сложными частотно-зависимыми импедансами таких устройств, как антенны, измеренными S -параметрами чипсетов IoT или нестабильными не-однонаправленными усилителями на дискретных транзисторах, чрезвычайно сложно рассчитать с помощью традиционной диаграммы Смита или методом проб и ошибок.

Более эффективный подход заключается в применении автоматического синтеза согласующей схемы, который использует для решения упомянутых выше сложных случаев согласования несколько методов — от простых Т-образных схем до метода *real frequency*. Поскольку такой синтез позволяет выполнять сложные одновременные много-

каскадные согласования в считанные секунды с помощью цепей с распределенными или сосредоточенными параметрами, разработчики IoT могут быстро опробовать несколько многокаскадных вариантов и выбрать из них наиболее экономичный. На рис. 4 показаны результаты одновременного синтеза трехкаскадной схемы, согласующей антенну с маломощным стабилизированным транзисторным усилителем, с последующим измерением S -параметров чипсета усилителя мощности. В результате этого синтеза удалось получить обратные потери –20 дБ в диапазоне от 2 до 3 ГГц при усилении 35 дБ. Кроме того, были синтезированы размеры микрополосковой топологии с автоматической вставкой неоднородностей, таких как Т-образные соединения и разомкнутые шлейфы. Весь процесс занял менее часа.

ВЧ-системы для приложений 5G и IoT можно эффективно моделировать, создавать их прототипы и изготавливать из серийно выпускаемых компонентов благодаря революционным диагностическим функциям, позволяющим выявлять компоненты с неподходящими параметрами. Точные модели X - и Sys -параметров для серийно выпускаемых ВЧ-компонентов позволяют эффективно получать то, что было смоделировано, на всех этапах — от проектирования до создания прототипа и производства, причем без лишних итераций. Синтез согласующих цепей заменяет сложную ручную разработку и оптимизацию мгновенным выбором нескольких подходящих согласующих топологий, позволяющих получить наиболее экономичную реализацию. ■