

Keysight Technologies

Моделирование систем NB-IoT

Устройства



Должны
моделироваться



До передачи
в облако



Технический обзор

Аннотация

В этой статье представлен метод моделирования и оценки новых систем NB-IoT (узкополосный интернет вещей) в комбинированной мультидоменной среде. В связи со сложностью аналоговых и цифровых компонентов коммуникационных систем, точное моделирование играет особо важную роль в понимании их поведения. В статье использовались реальные примеры моделирования с применением новых симуляторов для глубокого изучения ВЧ-трансиверов, расширенных модемных технологий и искажений сигнала.

Автор: Сангкио Шин (Sangkyo Shin)
Keysight Technologies, Inc.

Несколько слов о стандарте NB-IoT

Разработка нового стандарта

Когда необходимость разработки нового стандарта становится очевидной, группа экспертов создаёт технический комитет для обсуждения предварительного предложения. После создания чернового варианта он передаётся более широкой группе членов для комментирования и, в конечном итоге, для утверждения. Обсуждаются все элементы предложения, включая область применения, ключевые определения и содержание. Причём для изучения новых технологий с целью ускорения разработки стандарта и снижения стоимости оборудования, всё чаще применяются программные средства моделирования.

Стандартизация узкополосного интернета вещей – новой узкополосной технологии, основанной на принципах сотовой связи, началась в 2014 году в виде пункта исследований 3GPP. Первая версия была выпущена в июне 2016 года в рамках 13-го выпуска глобального стандарта 3GPP. Этот стандарт призван решить следующие проблемы:

- Улучшенное покрытие внутри помещений
- Расширенная поддержка большого числа устройств с малой пропускной способностью
- Малая чувствительность к задержкам
- Малое энергопотребление
- Сверхнизкая цена
- Оптимизированная архитектура сети, работающая поверх радиointерфейса и сети LTE

Предполагается, что спецификации NB-IoT будут развиваться и после 13-го выпуска, и обеспечат поддержку мультимедийной передачи и переход к новому стандарту 5G NB-IoT.

Спецификация физического уровня

Выпуск 13 стандарта 3GPP TS 36.211 – V13.2.0 (2016-06) – определяет физический канал и технические характеристики NB-IoT. Новая категория устройств – Cat-NB1 – поддерживает скорость в несколько десятков кбит/с при ширине канала 200 кГц. До этого выпуска скорость передачи данных eMTC (расширенный тип межмашинной связи) могла достигать 1 Мбит/с при полосе 1,4 МГц для категории M1 (Cat-M1).

Общий узкополосный физический восходящий канал поддерживает два варианта разнесения поднесущих: 15 кГц и 3,75 кГц. Дополнительный вариант 3,75 кГц обеспечивает лучшее покрытие в проблемных местах, например, в глубине зданий, где мощность сигнала ограничена. Поднесущие данных модулируются с применением двоичной фазовой манипуляции (BPSK) и квадратурной фазовой манипуляции (QPSK) с поворотом фазы на $\pi/2$ и $\pi/4$ соответственно. Для единичного ресурса можно выбрать 1, 3, 6 или 12 поднесущих, что обеспечивает поддержку однотоновой и многотоновой передачи.

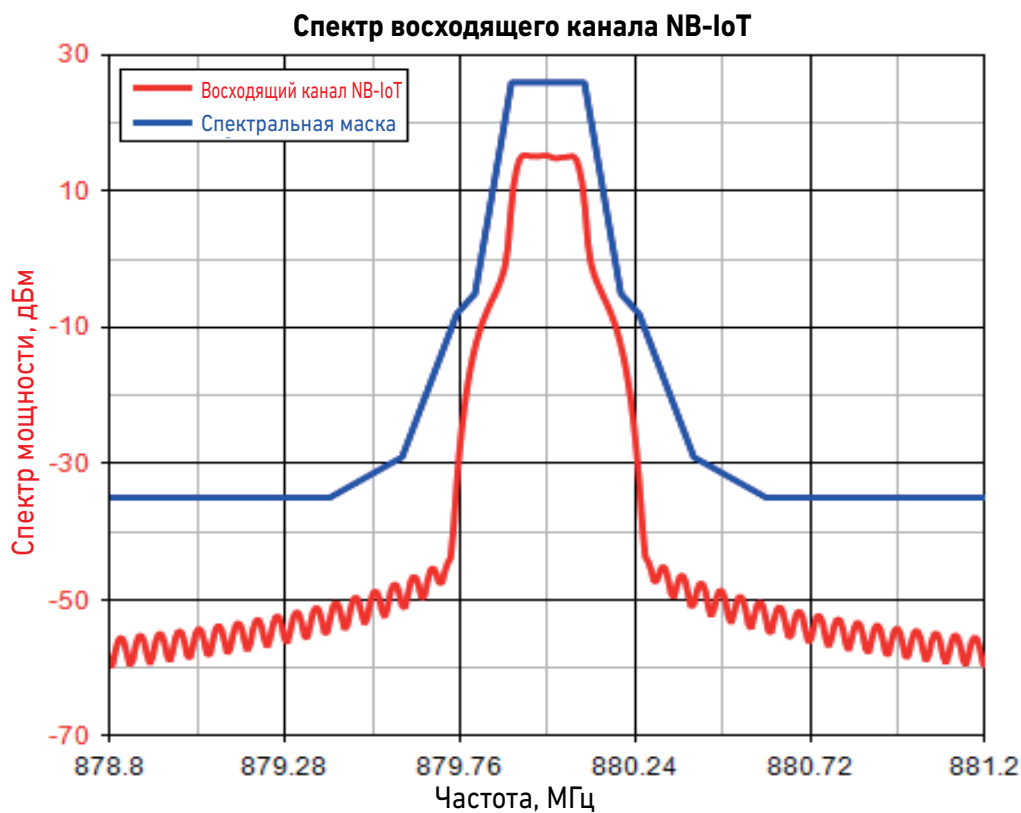


Рисунок 1. Пример передаваемого сигнала в восходящем канале NB-IoT: разнесение поднесущих 15 кГц, формат NPUSCH, 1, 12 поднесущих. Синим цветом показана спектральная маска.

Узкополосный физический блок ресурсов нисходящего канала содержит 12 поднесущих с разнесением 15 кГц, что обеспечивает полосу передачи 180 кГц. Он поддерживает только схему модуляции QPSK. Для облегчения декодирования нисходящего канала в устройствах пришлось отказаться от турбо-кодирования в пользу свёрточного кодирования со значащими хвостами.

Радиопередача и приём

Чтобы обеспечить эффективное использование спектра, устройства NB-IoT могут работать в трёх различных режимах: автономном, внутриполосном и в режиме с защитной полосой. Автономный режим призван заменить несущие GSM несущими NB-IoT, тогда как внутриполосный режим использует блок ресурсов внутри обычной несущей LTE. Режим с защитной полосой использует защитную полосу несущей LTE.

Для поставщиков услуг LTE внутриполосный режим работы обеспечивает максимально эффективное развёртывание NB-IoT. Например, при отсутствии трафика NB-IoT, блок физических ресурсов (PRB), доступный для несущей NB-IoT, можно использовать для других целей, поскольку NB-IoT полностью интегрирован в существующую инфраструктуру LTE. Это позволяет планировщику базовой станции мультиплексировать трафик LTE и NB-IoT в один и тот же спектр.

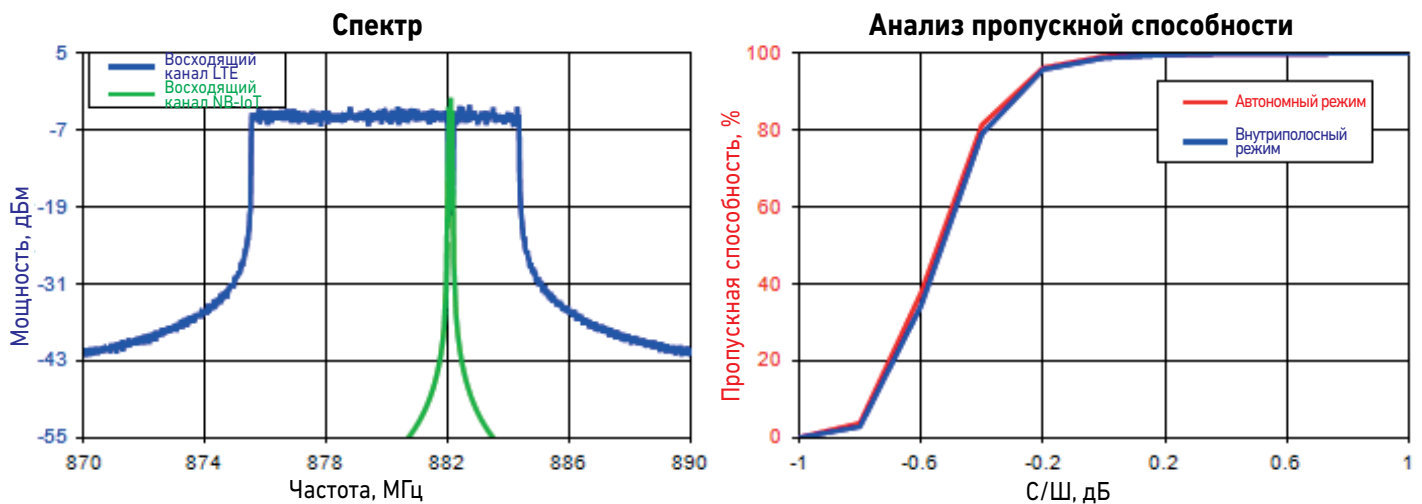


Рисунок 2. Анализ сосуществования восходящего канала во внутриполосном режиме работы. В роли средства, подверженного воздействию помех, выступает LTE (10 МГц), а в роли источника помех – устройство NB-IoT. Две спектральные кривые (слева) намеренно разделены и наложены на общий график. Для анализа пропускной способности было передано 1000 субфреймов LTE.

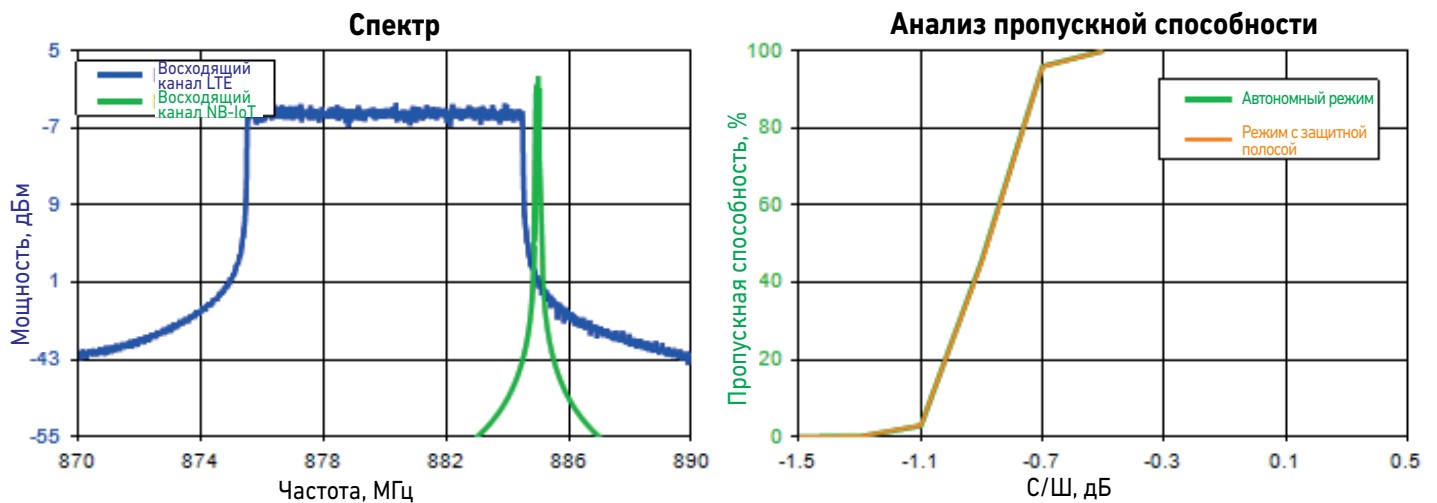


Рисунок 3. Анализ сосуществования восходящего канала в режиме с защитной полосой. В роли средства, подверженного воздействию помех, выступает LTE (10 МГц), а в роли источника помех – устройство NB-IoT. Две спектральные кривые (слева) намеренно разделены и наложены на общий график. Для анализа пропускной способности было передано 1000 субфреймов LTE.

Моделирование сосуществования NB-IoT и LTE в различных режимах работы является типичной задачей для организаций, непосредственно занятых стандартизацией 3GPP. Примеры, показанные на рисунках 2 и 3, получены для автономного режима и режима с защитной полосой в сценарии, где система LTE играла роль средства, подверженного воздействию помех, а NB-IoT – роль источника помех. Учитывая, что поднесущие NB-IoT в нисходящем канале ортогональны LTE PRB, и оба сигнала передаются с одной базовой станции, их сосуществование оценивалось только для восходящего канала. В качестве среды моделирования было использовано ПО моделирования физического уровня коммуникационных устройств Keysight SystemVue и его типовая библиотека LTE-A.

Результаты моделирования, выполненного разными компаниями, могут отличаться из-за различий методов моделирования. Отличия могут быть обусловлены такими факторами, как утечка мощности, модуляция и фильтрация. Тем не менее, основной вывод, который можно сделать из приведённого выше примера моделирования 3GPP TR 36.802 V13.0.0, заключается в том, что NB-IoT может сосуществовать с LTE.

По результатам моделирования можно сделать следующие выводы:

- Снижение пропускной способности не превышает 5 %.
- NB-IoT создаёт некоторую помеху для первого соседнего LTE PRB, тогда как для других PRB помеха несущественна или приемлема.
- Сосуществование в режиме с защитной полосой даёт несколько лучшие результаты по сравнению с внутрисполосным режимом.

Особенности архитектуры

Аспекты проектирования

Спецификации NB-IoT содержат ряд целевых параметров для проектирования: большая область покрытия, большее время работы от аккумулятора и меньшая стоимость устройства, которые вытекают из более редких сеансов передачи данных, носящих спорадический характер. Сниженные требования к пиковой скорости передачи позволяют использовать упрощённые технологии в радиотракте и в тракте модулирующего сигнала приёмника. Учитывая полудуплексный режим работы NB-IoT, можно заменить дуплексный фильтр типичных устройств LTE простым коммутатором и уменьшить число задающих генераторов. Используя упрощённое свёрточное кодирование в нисходящем канале вместо турбо-кодирования, можно упростить процесс декодирования в низкочастотном тракте.

В ходе разработки были приложены немалые усилия к снижению цены и обеспечению малого энергопотребления. В настоящее время основными претендентами являются приёмники с нулевой и низкой промежуточной частотой, которые сочетают в одном кристалле аналоговый входной интерфейс и цифровую обработку модулирующего сигнала. Тем не менее, каждая из этих архитектур обладает некоторыми структурными проблемами, которые предстоит разрешить. В приёмнике с нулевой ПЧ полезный сигнал подвержен воздействию изменяющегося во времени постоянного смещения, вызванного утечкой гетеродина и самосмещением. В приёмнике с низкой ПЧ искажение сигнала порождает амплитудное и фазовое рассогласование между сигналами I и Q. Это ухудшает полезный сигнал в результате проникновения помехи. Чтобы лучше понять недостатки этих архитектур, давайте смоделируем архитектуру системы с применением нашего ПО моделирования.

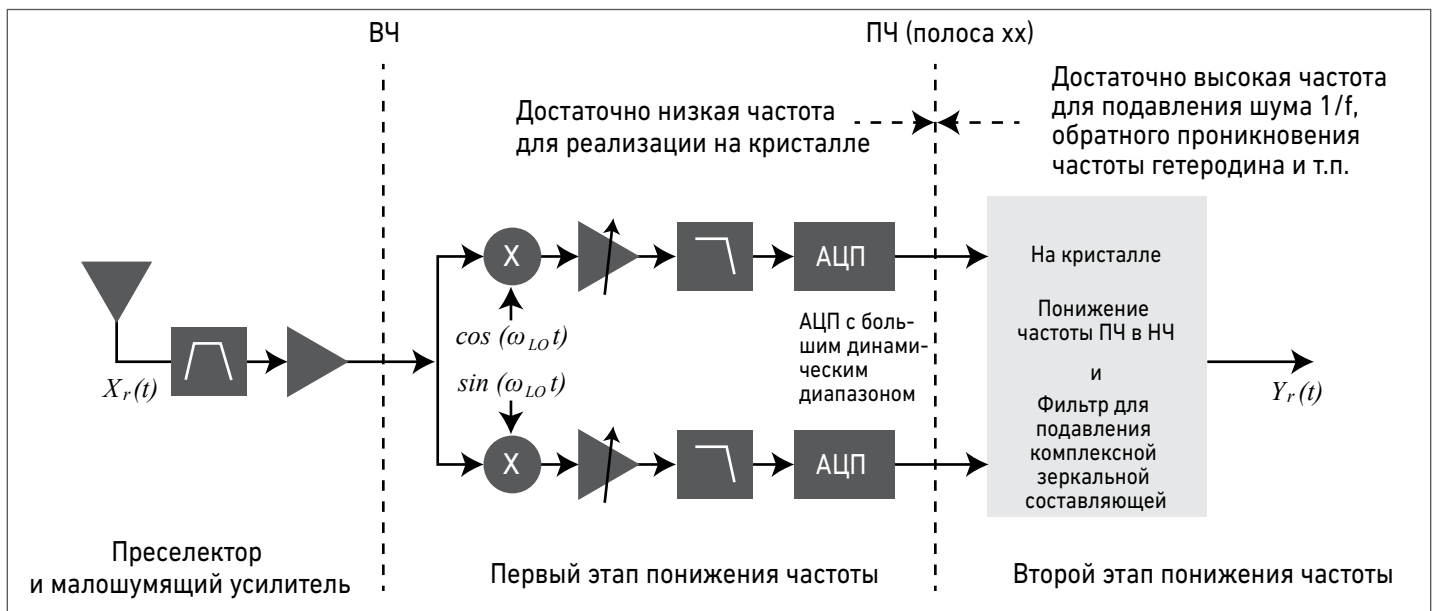


Рисунок 4. Архитектура приёмника с низкой ПЧ.

В показанной на рисунке 4 типовой архитектуре приёмника с низкой ПЧ, поступающий на антенну ВЧ сигнал фильтруется фильтром канальной селекции и усиливается малошумящим усилителем. Квадратурный демодулятор понижает частоту ВЧ сигнала до комплексного сигнала низкой ПЧ, который представлен синфазным и квадратурным сигналами. Сигналы промежуточной частоты проходят через фильтры нижних частот (ФНЧ) и затем оцифровываются аналого-цифровым преобразователем. После АЦП оцифрованный сигнал ПЧ преобразуется в диапазон модулирующего сигнала, в результате чего получаются комплексные цифровые сигналы. Используя умеренно низкую промежуточную частоту, эта архитектура может исключить постоянное смещение и шум $1/f$, которые часто возникают в приёмниках с нулевой ПЧ. Тем не менее, эта архитектура по-прежнему порождает проблемы зеркальных составляющих. Подавление зеркальных составляющих можно выполнить после малошумящего усилителя (рисунок 4), но это потребует узкополосной полосовой фильтрации, что значительно повысит сложность и стоимость устройства. Проблему зеркальных составляющих в приёмниках в низкой ПЧ можно решить за счёт комплексного смещения и последующей фильтрации.

На рисунке 5 приведён наглядный пример моделирования архитектуры с низкой ПЧ, учитывающий различные эффекты неидеального оборудования. Полезный сигнал и сигнал помехи генерируются и суммируются в формате с комплексной огибающей, как показано в левой части схемы. В центре расположен блок квадратурного демодулятора, моделирующий рассогласование I/Q. Демодулированный сигнал разделяется на верхнюю и нижнюю составляющие, пропускается через ФНЧ и преобразуется в цифровую форму. В правой части цифровой сигнал обрабатывается с целью компенсации разбаланса I/Q, при этом рассчитывается амплитуда вектора ошибки (EVM) до и после компенсации.

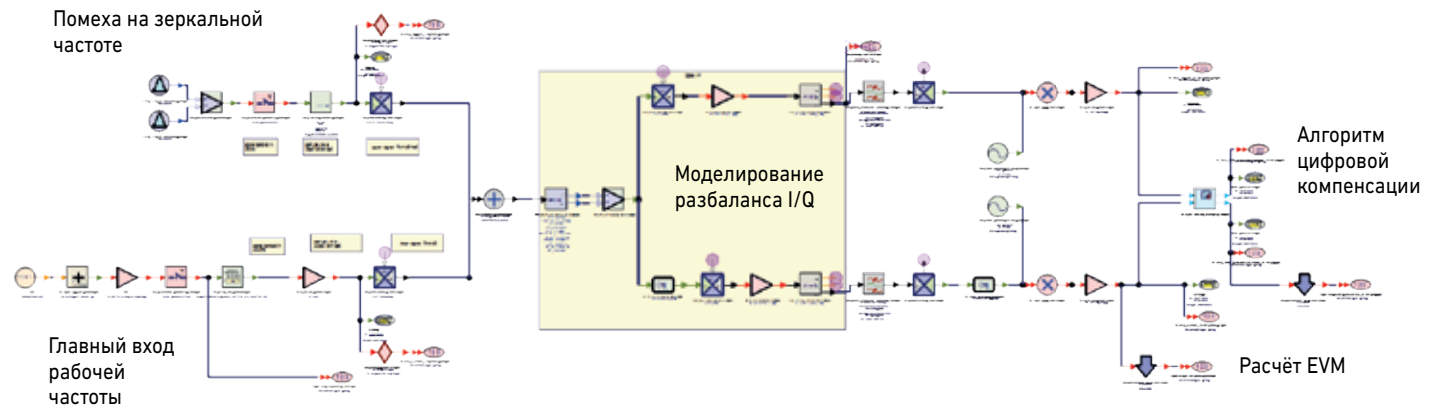


Рисунок 5. Схема моделирования компенсации разбаланса I/Q в приёмнике с низкой ПЧ.

Такой тип системного проектирования и моделирования очень важны для разработчиков ИС и должны выполняться до схемотехнического проектирования устройства. Среда моделирования должна поддерживать эффективные методы:

- Аналоговой и цифровой обработки сигнала
- Анализа поведения во временной и частотной областях
- Динамического моделирования с адаптивным обновлением параметров
- Моделирования искажения сигнала из-за следующих особенностей и эффектов:
 - Нелинейность (усилитель мощности)
 - Групповая задержка (фильтр)
 - Фазовый шум (задающий генератор)
 - Отстройка по частоте
 - Рассогласование I/Q (модулятор/демодулятор)
 - Джиттер
 - Дискретные состояния активных компонентов

В этом примере мы использовали ПО моделирования физического уровня коммуникационных устройств Keysight SystemVue.

Создание ВЧ системы на кристалле

Чтобы уложиться в жёсткие требования бюджета для приложений NB-IoT и обеспечить успешное внедрение этой технологии, нужно разработать недорогой продукт на одном кристалле. Интеграция усилителя мощности (УМ) с коммутатором антенны упрощает разводку за счёт сокращения числа ВЧ компонентов входного интерфейса. Кроме того, это сокращает занимаемую площадь печатной платы. УМ с малым отношением пиковой мощности к средней (PAPR) можно создать с помощью метода однотоновой передачи. Это упрощает реализацию ВЧ кристалла системного уровня, содержащего УМ с высоким КПД, который может работать вблизи области насыщения при максимальной входной мощности.

И хотя выбор между интегрированным на кристалле и внешним УМ связан с определёнными компромиссами, мы проанализируем эффекты нелинейности EVM усилителя мощности в восходящем канале NB-IoT с помощью метода междоменного моделирования ВЧ и модулирующих сигналов. Давайте рассмотрим схему моделирования, показанную на рисунке 6. Модулирующий сигнал генерируется с помощью библиотеки SystemVue LTE-A, которая поддерживает однотоновую и многотоновую передачу. Модулирующий сигнал фильтруется двумя цифровыми фильтрами и подаётся на модулятор, в котором генерируется спектр, центрированный относительно несущей частоты. Затем сигнал усиливается с помощью поведенческой модели усилителя. Линейность УМ можно задать через точку компрессии на 1 дБ. После усиления сигнала в УМ он демодулируется приёмником, а затем измеряется значение EVM. Для оценки нелинейных эффектов УМ и качества передаваемого сигнала мы моделируем зависимость EVM от точки компрессии на 1 дБ.

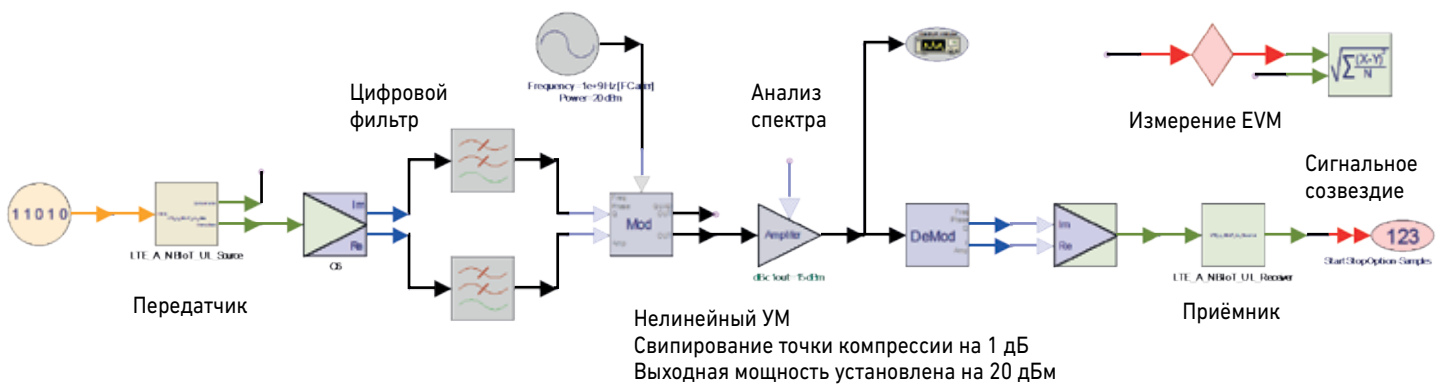


Рисунок 6. Схема моделирования восходящего канала NB-IoT.

Для однотоновой передачи значения EVM очень малы (менее 0,08 % для разнесения поднесущих 3,75 кГц и менее 0,9 % для разнесения 15 кГц). Таким образом можно сделать вывод, что для однотонового разнесения поднесущих нелинейность УМ мало влияет на EVM.

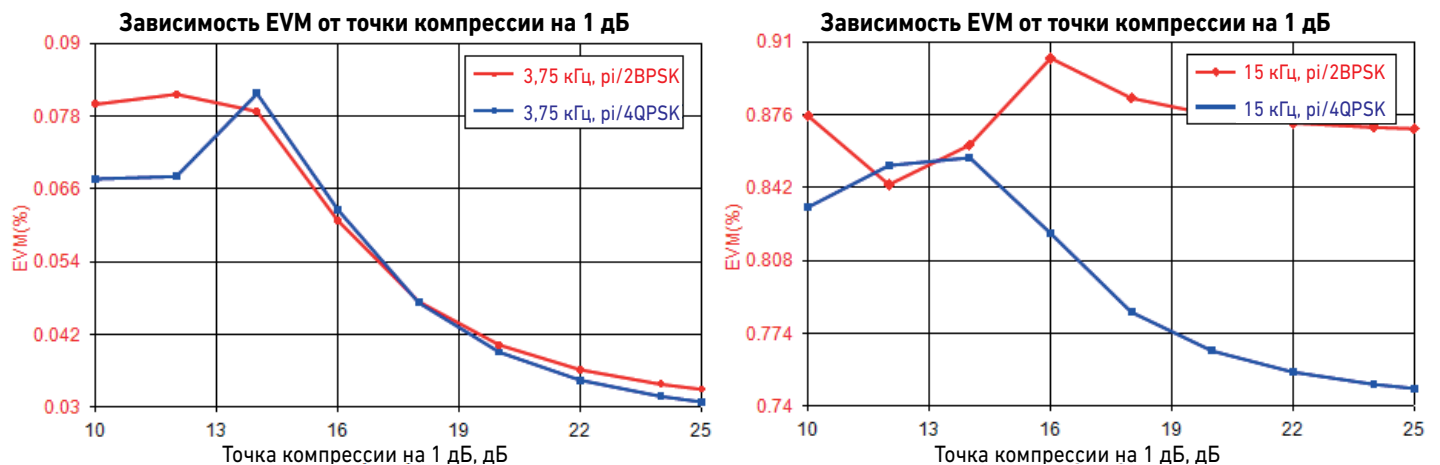


Рисунок 7. Зависимость EVM от точки компрессии на 1 дБ для УМ с потерями в режиме насыщения при однотоновой передаче с разнесением поднесущих 3,75 кГц (слева) и 15 кГц (справа). Использован цифровой полосовой фильтр. Входная мощность УМ равнялась 20 дБм, усиление было намеренно установлено на 0 дБ.

Согласно моделированию, PAPR равняется 4,8 дБ, 5,7 дБ и 5,6 дБ для сигнала с числом тонов 3, 6 и 12 соответственно. На рисунке 8 видно, что EVM значительно возрастает с уменьшением точки компрессии на 1 дБ усилителя мощности. Таким образом, можно сделать вывод, что для многотональной передачи нелинейность УМ неблагоприятно влияет на EVM.

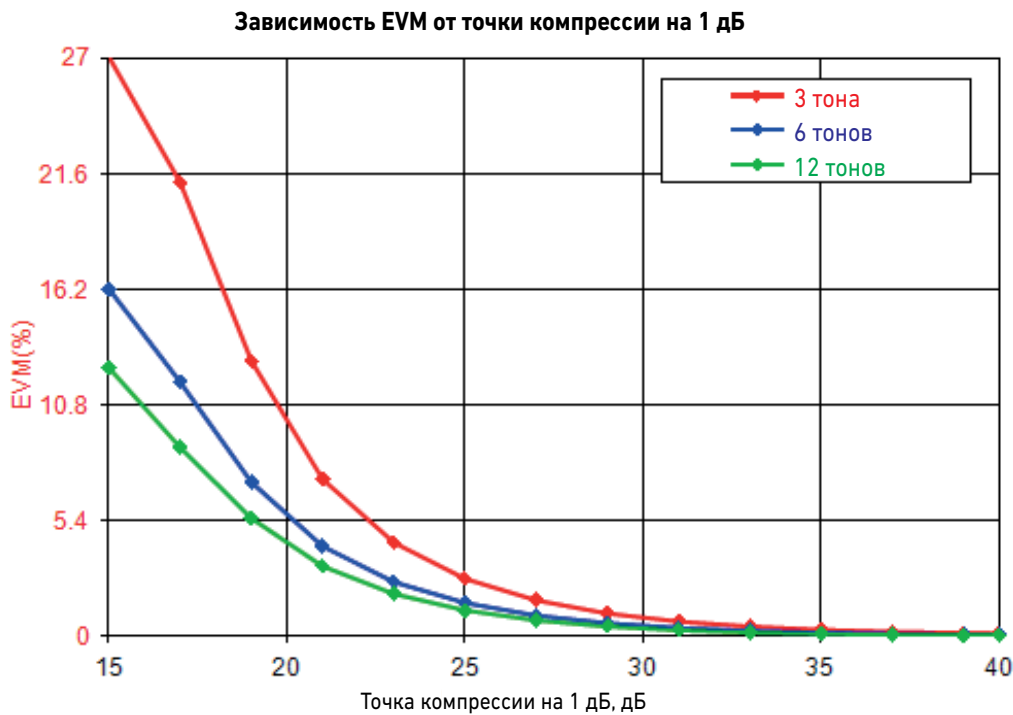


Рисунок 8. Зависимость EVM от точки компрессии на 1 дБ для УМ с потерями в режиме насыщения при разнесении поднесущих 15 кГц. Цифровой фильтр отключён. Входная мощность УМ равнялась 20 дБм, а усиление было намеренно установлено на 0 дБ.

В результате моделирования мы узнали, что для однотоновой передачи можно убрать некоторые цепи, необходимые для снижения PAPR, что значительно уменьшает сложность кристалла. Учитывая ключевые аспекты приложений NB-IoT, можно сказать, что устройства, поддерживающие только однотоновую передачу в сочетании с нелинейным, расположенным на кристалле УМ, имеют существенные преимущества для сверхмаломощных и недорогих приложений.

Заключение

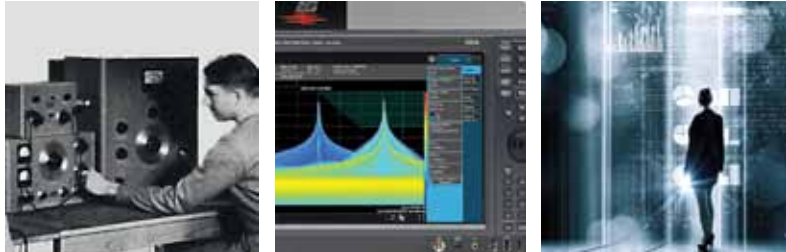
Первая спецификация NB-IoT была предложена в выпуске 13 стандарта 3GPP. Её целью было создание недорогого устройства, расширение области покрытия и обеспечение большего времени работы от аккумулятора для достижения продолжительной доступности. И хотя приложения NB-IoT имеют пониженные требования к производительности и используют общую инфраструктуру с LTE, разработка новых продуктов оказалась непростой задачей и потребовала чёткого определения целей проектирования.

В процессе разработки недорогого устройства нужно учитывать разные топологии трансивера и методы интеграции компонентов, а также оценивать значения выбранных характеристик системы. На первых этапах проектирования инженеры должны тестировать устройства в виртуальной среде с помощью многофункциональных средств моделирования, а также выполнять проверку устройств после изготовления кристалла. В данной статье приводятся примеры предварительного моделирования и измерения параметров устройств NB-IoT с помощью САПР Keysight SystemVue.

Развиваемся с 1939 года

Уникальное сочетание наших приборов, программного обеспечения, знаний и опыта наших инженеров позволит вам воплотить в жизнь новые идеи. Мы открываем двери в мир технологий будущего.

От Hewlett-Packard и Agilent к Keysight



Российское отделение Keysight Technologies

115054, Москва, Космодамианская
наб., 52, стр. 3

Тел.: +7 (495) 7973954

8 800 500 9286 (Звонок по России
бесплатный)

Факс: +7 (495) 7973902

e-mail: tmo_russia@keysight.com

www.keysight.ru

Сервисный Центр Keysight Technologies в России

115054, Москва, Космодамианская
наб., 52, стр. 3

Тел.: +7 (495) 7973930

Факс: +7 (495) 7973901

e-mail: tmo_russia@keysight.com

myKeysight

myKeysight

www.keysight.com/find/mykeysight

Персонализированная подборка только нужной вам информации.

http://www.keysight.com/find/emt_product_registration

Зарегистрировав свои приборы, вы получите доступ к информации о состоянии гарантии и уведомлениям о выходе новых публикаций по приборам.

KEYSIGHT SERVICES *Accelerate Technology Adoption. Lower costs.*

Услуги Keysight

www.keysight.com/find/service

Центр сервиса и метрологии Keysight готов предложить вам свою помощь на любой стадии эксплуатации средств измерений – от планирования и приобретения новых приборов до модернизации устаревшего оборудования. Широкий спектр услуг ЦСМ Keysight включает услуги по поверке и калибровке СИ, ремонту приборов и модернизации устаревшего оборудования, решения для управления парком приборов, консалтинг, обучение и многое другое, что поможет вам повысить качество ваших разработок и снизить затраты.

Планы технической поддержки Keysight

www.keysight.com/find/AssurancePlans

ЦСМ Keysight предлагает разнообразные планы технической поддержки, которые гарантируют, что ваше оборудование будет работать в соответствии с заявленной производителем спецификацией, а вы будете уверены в точности своих измерений.

Торговые партнеры компании Keysight

www.keysight.com/find/channelpartners

Получите двойную выгоду: глубокие профессиональные знания в области измерений и широкий ассортимент решений компании Keysight в сочетании с удобствами, предоставляемыми торговыми партнерами.

DEKRA Certified
ISO 9001 Quality Management System

www.keysight.com/go/quality

Система управления качеством
Keysight Technologies, Inc.

сертифицирована DEKRA по ISO 9001:2015



Unlocking Measurement Insights

Технические характеристики и описания
продуктов могут изменяться без
предварительного уведомления.

© Keysight Technologies 2017
Published in USA, December 01, 2017
5992-1734RURU
www.keysight.com