КИТ БЕНСОН (KEITH BENSON)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КВЧ-ДИАПАЗОНА В СИСТЕМАХ 5G-СВЯЗИ

В статье рассматриваются преимущества использования технологии КВЧ-диапазона, ее влияние на процессы выпуска высокочастотных микросхем и их соответствие новым требованиям. Кроме того, мы увидим, как миллиметровый диапазон позволяет решить насущные задачи, а также приведем примеры решений компании Analog Devices, которые помогают реализовать эти технологии.

ВВЕДЕНИЕ

Системы связи 5G во многом основаны на многолетних исследованиях, проведенных оборонными компаниями в разных сферах применения, где имеются схожие потребности. В области телекоммуникационных приложений, где существующие методы по-прежнему не удовлетворяют потребность в более высоких скоростях передачи данных, в настоящее время внедряются решения на рабочих частотах 28 и 39 ГГц.

В результате развития высокочастотных микросхем появилось больше технологий, которые могут использоваться в оборонной отрасли. Например, при спасении потерявшегося в море члена экипажа применяются высокочастотные радары с повышенным разрешением, которые точно распознают объекты. Кроме того, многие микросхемы, предназначенные для телекоммуникационного оборудования, должны быть недорогими и подходить для массового производства, чтобы их было легче внедрять в конечную продукцию. Побочным положительным эффектом в рамках разработки и внедрения высокочастотных микросхем является спрос на контрольно-измерительное оборудование для проверки работоспособности этих решений в определенных условиях.

ВЗАИМОСВЯЗАННЫЙ МИР БЕСПРОВОДНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Преимуществами технологий, которые были разработаны для одних сфер применения, в определенных случаях могут воспользоваться и другие отрасли. Считается, что своим появлением на свет микроволновые печи обязаны инженеру, работавшему над созданием радаров, который заметил, что его обед разогревается при проведении испытаний. Нечто подобное происходит и ныне, когда при разработке и вводе в строй сетей 5-го поколения пытаются реализовать преимущества и функциональные возможности, которые оборонная промышленность получила благодаря фазированным антенным решеткам (ФАР). Весьма вероятно, что в будущем оборонная промышленность, в свою очередь, сможет реализовать новые технологии, разработка которых станет возможной благодаря достижениям в области 5G, и между этими отраслями образуется циклический обмен технологиями.

В спутниковой связи тоже наблюдается смена технологий, заключающийся в переходе от спутников, работающих на геостационарных экваториальных орбитах (GEO), к спутникам на низких околоземных орбитах (LEO), которые обеспечат более высокую пропускную способность данных и расширят покрытие планеты. Идея такого перехода заключается в замене одного или нескольких геостационарных спутников тысячами спутников одной сети. В настоящее время многие операторы работают над созданием новых созвездий околоземных спутников для организации широкополосного доступа к интернету. При этом многие компании, соперничающие за поставку таких спутников, в свое время усовершенствовали геостационарные спутники в военных целях для работы систем наблюдения и связи. Такой цикл использования преимуществ технологий, разработанных для других сфер применения, наблюдался и будет наблюдаться в дальнейшем.

Теперь же перейдем к вопросу, почему частоты КВЧ-диапазона используются и в военной, и в коммуникационной технике.

БОЛЕЕ ВЫСОКИЕ СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ И РАСШИРЕНИЕ ПОЛОСЫ ПРОПУСКАНИЯ

За последние 20 лет мы наблюдали повсеместное распространение мобильной связи. По мере этого распространения возрастали требования к скорости передачи данных. Каждые несколько лет вводился новый стандарт беспроводной связи, в рамках которого определялись новые протоколы, позволявшие увеличить пропускную способность. С целью повышения пропускной способности зачастую разрабатывались и применялись более сложные схемы модуляции, которые позволяют одновременно передавать несколько фрагментов информации. По мере усложнения схем модуляции растет пропускная способность. Однако наступает момент, когда усложнение способа модуляции не дает существенного прироста скорости передачи. Стандартный способ модуляции сигнала состоит в его распределении в диапазоне частот вблизи несущей (см. рис. 1).

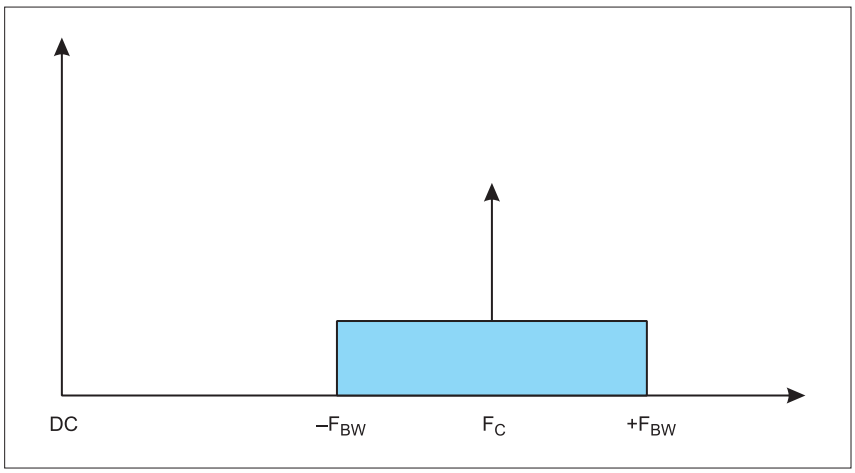

Рис. 1. Полоса модуляции с центром на несущей частоте

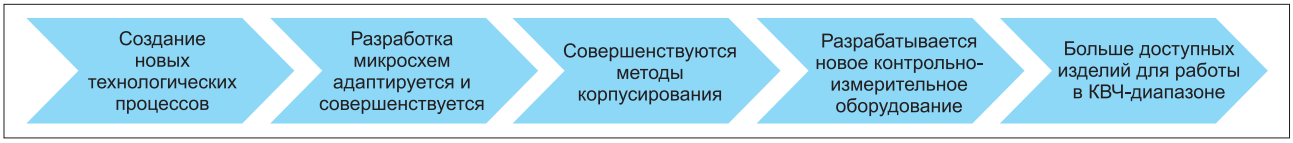

Рис. 2. Цепочка процессов, обеспечивающая выпуск микросхем для оборудования 5G

Другой способ улучшения пропускной способности заключается в увеличении ширины полосы модулируемого сигнала F_{BW} путем его распределения в более широком частотном диапазоне. Чтобы иметь возможность постоянно расширять полосу сигнала, необходимо увеличивать несущую частоту F_C, избегая расширения в область ниже НЧ-диапазона. Такая возможность передачи большего количества данных одновременно за счет перехода на более высокие частоты вызывает необходимость в использовании КВЧ-диапазона.

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ 5G НА МЕТОДЫ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ БОРЬБЫ

В современных военных конфликтах все чаще используются средства радиоэлектронной борьбы (РЭБ). Одним из ключевых элементов этой технологии является радар, который отправляет сигнал и ожидает его возврата, формируя поле зрения. Радарные системы разрабатываются уже более 100 лет. Их основное преимущество заключается в возможности обнаружения и определения местоположения объектов, которые находятся за пределами видимости человека. Это дает оператору такой системы значительное преимущество над противником, у которого нет радаров. По этой причине радиолокационная технология постоянно совершенствуется на протяжении многих лет. Теперь радары используются для формирования ежедневных метеорологических сводок, управления воздушным движением, а также в новых областях применения, среди которых автомобильная промышленность, где радары определяют расстояние между автомобилями и объектами. Традиционные низкочастотные радиолокационные системы, работающие в ДМВ- и УКВ-диапазонах, используются в качестве радаров раннего обнаружения, позволяющих обнаруживать объекты на очень больших расстояниях. Оборудование высокоскоростных самолетов зачастую работает на частотах X-диапазона (8–12 ГГц), что позволяет значительно повысить разрешение и уменьшить размеры антенн. Радиолокационные системы, используемые в истребителях для наведения ракет, в основном работают с частотами Ka-диапазона (33–37 ГГц).

В настоящее время также ведется активная разработка управляемых боеприпасов и ракет, работающих на частоте 94 ГГц. Переход на более высокие частоты в радарных системах дает ряд преимуществ, которые позволяют существенно увеличить разрешение по дальности и угловое разрешение для более эффективного распознавания объектов. Одно из преимуществ перехода на более высокие частоты заключается в уменьшении размеров антенны с целью обеспечения заданного углового разрешения. Благодаря такой миниатюризации систему можно будет установить в небольшой боеприпас. С другой стороны, по мере увеличения частоты при заданном размере антенны растет и угловое разрешение. Разрешающая способность радара по дальности пропорциональна ширине полосы модуляции и, как уже отмечалось, она повышается с увеличением частоты. Поскольку многие приложения нуждаются в более высоком разрешении радиолокационных систем, уместнее перейти на более высокие частоты.

Стандартные системы радиоэлектронной борьбы работают на частотах 2–18 ГГц, которые охватывают S-, C-, X- и Ku-диапазоны. По мере появления новых угроз будут создаваться соответствующие системы противодействия. Современное оборудование 5G-сетей функционирует на частотах 28 и 39 ГГц, что близко к частотам Ka-диапазона, используемым системами наведения ракет. Новые требования к системам РЭБ будут охватывать частоты 5G в диапазоне 24–44 ГГц. Ожидается, что на этих частотах будет работать гораздо больше военной техники. Основной задачей средства РЭБ является распознание источника угрозы и его подавление, при котором это средство остается незаметным. Поскольку источник угрозы может использовать разные частоты, оборудование для прослушивания и создания помех должно функционировать в широком диапазоне частот.

Ключевая технология, которая использовалась в электронном оборудовании для военных целей в течение многих лет, стала востребованной сетями связи 5G. Фазированные антенные решетки отлично подходят для применения в оборудовании связи 5-го поколения благодаря ряду функциональных возможностей, которые широко используются в военных системах. К таким возможностям относится передача нескольких потоков данных или формирование диаграмм направленности, которая позволяет, например, истребителям вести несколько целей одновременно, а в оборудовании сетей 5G — передавать данные нескольким пользователям одновременно. Аналогично, использование луча в военных системах, в котором энергия направлена в одном направлении, позволит значительно снизить вероятность перехвата или влияние помех. В телекоммуникационном оборудовании сокращение величины рассеиваемой мощности позволит более эффективно направлять информацию пользователю.

В обоих вариантах применения имеется возможность почти мгновенно изменять положение луча. Кроме того, эта технология имеет множество дополнительных преимуществ, которые могут быть востребованы и в телекоммуникационной, и в оборонной отраслях.

ВЛИЯНИЕ 5G НА ПРОИЗВОДСТВО МИКРОСХЕМ

Современный мир уже практически невозможно представить без мобильной связи. Инновационная технология, составляющая основу инфраструктуры сотовой связи 5G, обещает большие перспективы роста многим поставщикам телекоммуникационного оборудования и их цепочек процессов, обеспечивающих производство и поставку микросхем (см. рис. 2). Такой существенный потенциал привлекает инвестиции объемом в миллионы, а возможно, и миллиарды долларов для реализации систем нового поколения. Основными компонентами этих систем являются микросхемы, которые маршрутизируют данные по сетям. Из рисунка 2 видно, что каждый элемент цепочки производства и поставок микросхем адаптируется и развивается. Мы видим существенное инновационное развитие технологий, составляющих основу создания этих изделий, начиная с изготовления полупроводников и заканчивая контрольно-измерительными решениями для проверки выпускаемой продукции.

Полупроводниковые компании, предлагающие услуги по изготовлению кремниевых пластин, создают основной материал для производства микросхем. Многие такие компании разработали инновационные технологические процессы, чтобы преуспеть в конкурентной борьбе и участвовать в создании продукции для технологии 5G. В качестве примера инновации можно привести переход на более рентабельную оптическую литографию, которая выгоднее

электронно-лучевой. Еще одним преимуществом является интеграция новых функциональных возможностей в один технологический узел, чтобы продукция была конкурентоспособна на этом чувствительном к цене рынке.

Разработка микросхем совершенствуется по мере появления новых технологических процессов. Благодаря новым функциональным возможностям, обеспечиваемым одним технологическим узлом, разработчик ИС интегрирует определенные функции в одно изделие или повышает его эффективность. В конечном итоге появляются микросхемы с большей степенью интеграции, которые значительно проще внедрять в конечную продукцию. Наряду с тенденцией по расширению рабочей полосы частот до КВЧ-диапазона также имеется привлекательная возможность создавать недорогие корпуса микросхем, чтобы упростить сборку. В стандартных сборках для военной электроники, работающей в КВЧ-диапазоне, использовался проволочный монтаж ИС, которые устанавливались в металлические корпуса. Такой метод сборки не подходит для производства продукции в больших объемах и часто обходится дороже по сравнению со сборкой методом поверхностного монтажа. Прежде основным доводом в пользу сборок с проволочным монтажом ИС была сложность миниатюризации. Однако теперь благодаря высокой степени интеграции функций микросхем в более компактных корпусах с улучшенными характеристиками поверхностный монтаж становится намного более привлекательным.

К настоящему времени появилось беспроводное контрольно-измерительное оборудование для испытаний фазированных антенных решеток и их микросхем, работающих на частотах 28 и 39 ГГц. Прежде для проведения испытаний ФАР требовалась безэховая камера, которая является большой, сложной в изготовлении, дорогостоящей и т. д. Современное контрольно-измерительное оборудование стало гораздо более доступным, компактным и готовым к эксплуатации, что позволяет значительно расширить число производителей, которые предлагают полноценные антенные решения, что исключает необходимость в значительных вложениях в средства и испытания конечного изделия. Если прежде испытания ФАР могли, в основном, позволить себе поставщики военного оборудования и университеты, то теперь такие исследования стали намного доступнее. В результате появилась возможность повысить уровень информационной защиты и безопасности сетей. Теперь многие задачи можно решить гораздо быстрее благодаря точным методам измерения, которые обеспечивают стандартные контрольно-измерительные приборы.

На рынке появилось гораздо больше изделий, предназначенных для работы в КВЧ-диапазоне, которые можно использовать и в системах связи, и в военном оборудовании. Очень часто продукция, используемая для создания инфраструктуры сотовой связи, по своим техническим характеристикам и функциональным возможностям практически отвечает требованиям, которые предъявляются в военной сфере и отрасли при-

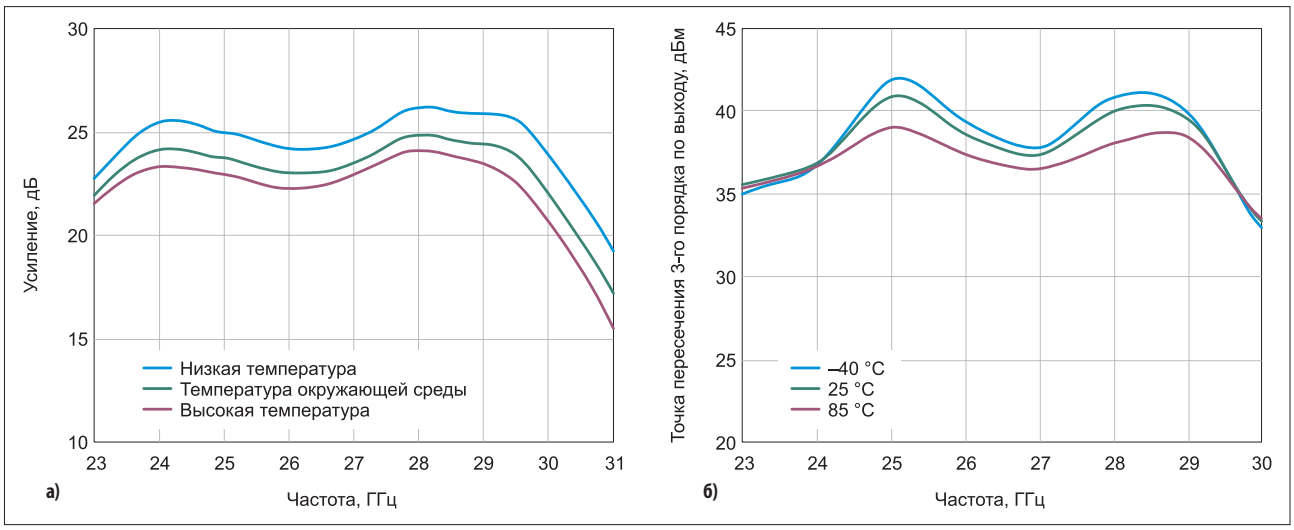

Рис. 3. а) измеренное усиление; б) точка пересечения 3-го порядка усилителя HMC863A в зависимости от температуры

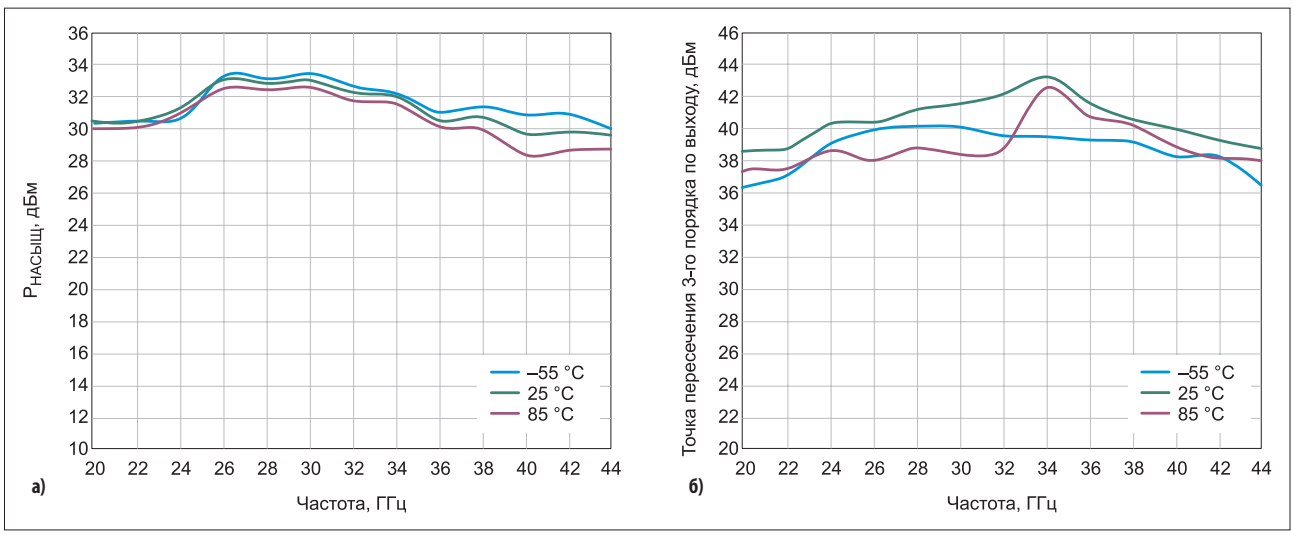

Рис. 4. а) измеренная мощность в режиме насыщения; б) точка пересечения 3-го порядка усилителя ADPA7005 в зависимости от температуры

боростроения. Благодаря такой доступности микросхем и контрольно-измерительных приборов, позволяющих ускорить выпуск конечного изделия, значительно повышается уровень безопасности военно-технических систем, работающих в КВЧ-диапазоне.

ПРЕИМУЩЕСТВА 5G-РЕШЕНИЙ ОТ ANALOG DEVICES

Компания Analog Devices вложила значительные средства в разработку решений для телекоммуникационного оборудования сетей 5G, а также схожих решений в области приборостроения и оборонной промышленности. Изделия для телекоммуникационного рынка, как правило, представляют собой более узкополосные устройства, характеристики которых легче оптимизировать. В оборонной промышленности часто требуются решения с широкой полосой пропускания, т. к. оборудование противника может работать на разных частотах.

Ярким примером усилителя мощности (УМ), используемого в оборудовании связи 5G на частоте 28 ГГц, является HMC863ALC4. Диапазон рабочей частоты УМ: 24–29,5 ГГц; мощность ВЧ-сигнала: более 0,5 Вт. Этот усилитель выпускается в компактном корпусе для поверхностного монтажа размером 4×4 мм; точка пересечения 3-го порядка: около 40 дБм. Графики его характеристик представлены на рисунке 3.

Кроме того, Analog Devices разработала решения для оборонной промышленности и приборостроительной отрасли, например усилитель мощности ADPA7005 с диапазоном рабочей частоты 20–44 ГГц. Полоса пропускания ADPA7005 охватывает больше октавы; выходная мощность усилителя в режиме насыщения: более 1 Вт во всем диапазоне. Номинальное усиление 15 дБ, обеспечиваемое во всем рабочем диапазоне частот, позволяет легко интегрировать этот усилитель в радиосистему. Кроме того, УМ с точкой пересечения 3-го порядка более 40 дБ идеально подходит для измерения или генерации высокомодулированных входных сигналов. Графики точки пересечения 3-го порядка и мощности в режиме насыщения представлены на рисунке 4.