

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕРИЙНО ВЫПУСКАЕМОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ГЕНЕРИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ВЫСОКОГО КАЧЕСТВА

USING PROVEN COMMERCIAL EQUIPMENT TO GENERATE HIGH QUALITY MILLIMETER-WAVE SIGNALS

Эрик Диез (Erik Diez), Agilent Technologies

Разработчики оборудования для высокоскоростной передачи данных в системах ближней связи рассматривают возможности работы в миллиметровом диапазоне (30...300 ГГц). Такое оборудование можно использовать в межспутниковых линиях связи, радиорелейных линиях и защищенных системах связи.

В настоящее время привлекательность более высоких частот связана с меньшей загрузкой спектра в диапазоне частот от 30 до 300 ГГц. Более широкая полоса модуляции в этом диапазоне позволяет увеличить скорость передачи данных.

Переход в миллиметровый диапазон и расширение полосы модуляции приводят к усложнению измерений характеристик сигналов и устройств. При попытках создания собственных решений могут появиться проблемы, связанные с отсутствием в лаборатории необходимого оборудования или необходимостью привлечения к работе специалистов по разработке изделий, работающих в миллиметровом диапазоне.

Однако серийно выпускаемое оборудование для этого диапазона становится все более доступным. Например, можно использовать стандартные внешние приборы для расширения диапазона частот генераторов СВЧ сигналов, анализаторов сигналов и векторных анализаторов цепей. Это позволит не только экономить время и силы, но и повышать достоверность результатов измерений.

РАБОТА В МИЛЛИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ

Диапазон частоты от 30 до 300 ГГц соответствует длинам волн от 10 до 1 мм. Размеры антенн для столь коротких волн могут быть значительно уменьшены по сравнению с размерами СВЧ антенн, то есть системы приемопередатчиков могут быть очень компактными. Кроме того, можно использовать узконаправленные антенны.

ПРЕВРАЩЕНИЕ НЕДОСТАТКОВ В ПРЕИМУЩЕСТВА

Проблемы, связанные с атмосферным поглощением в миллиметровом диапазоне, могут свести на нет преимущества этого диапазона. Например, в наземных приложениях эти сигналы быстро поглощаются атмосферой, осо-



Agilent Technologies

бенно на резонансных частотах молекул кислорода, воды и углекислого газа.

В результате сигналы миллиметрового диапазона могут оказаться полезными только в системах ближней связи. Для радиорелейных линий, беспроводных магистральных каналов и радиоастрономических систем рекомендуется использовать участки спектра с низким поглощением.

Анализ сигналов и анализ цепей

На основе имеющихся на рынке анализаторов СВЧ сигналов можно создавать точные и надежные измерительные решения для миллиметрового диапазона. Для этого используются гармонические смесители и понижающие преобразователи, которые преобразуют сигналы миллиметрового диапазона в сигналы, подаваемые на высококачественные анализаторы спектра. Для анализаторов цепей используются модули расширения диапазона частот, чтобы измерять характеристики подсоединенных устройств или выполнять измерения на полупроводниковой пластине в миллиметровом диапазоне.

Другие приложения рассчитаны на участки спектра с высоким поглощением. Например, при работе с узконаправленными антеннами, типовое атмосферное поглощение можно использовать при создании систем защищенной связи, в которых минимизирована вероятность перехвата сообщений.

ПРАКТИЧЕСКИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ

Повышение частоты приводит к

уменьшению физических размеров оборудования, работающего на этой частоте. В результате размеры всех компонентов уменьшаются, сами компоненты становятся более хрупкими и производственные допуски ужесточаются. Все эти факторы приводят к усложнению технологии изготовления и сборки устройств миллиметрового диапазона. Спрос на изделия этого диапазона постепенно растет, а стоимость компонентов, узлов и устройств остается высокой.

Что касается измерений, то следует отметить отсутствие прослеживаемой калибровки мощности на частотах выше 110 ГГц. Некоторые конечные пользователи пытаются решить эту проблему, создавая измерители мощности, например болометры, чтобы гарантировать воспроизводимость и согласованность измерений. Тем не менее, точное определение уровней мощности остается проблематичным.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕРИЙНО ВЫПУСКАЕМОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Серийно выпускаемые СВЧ генераторы являются основой для создания эффективных измерительных решений в миллиметровом диапазоне. Генератор сигналов с внешними устройствами, такими как умножители и повышающие преобразователи частоты, позволяет перейти от стандартных испытательных сигналов к сигналам с более высокими частотами.

Компания Agilent предлагает множество смесителей, преобразующих частоту для анализа сигналов до 110 ГГц. Компании OML, Inc. и Virginia Diodes, Inc. (VDI), партнеры Agilent Technologies, предлагают множество серийно выпускаемых устройств расширения диапазона частот до 1 ТГц для генерации и анализа сигналов, а также для векторного анализа цепей. Основанные на умножении и

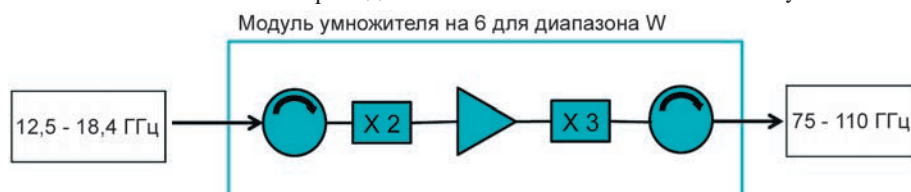


Рис. 1. Упрощенная блок-схема модуля умножителя частоты на 6. В модуле используются дополнительные элементы, такие как усилители, фильтры, цепь развязки и входная цепь защиты

повышающем преобразовании частоты подходы, используемые компаниями OML и VDI для генерации сигналов, имеют преимущества и недостатки, влияющие на возможность их использования в конкретных приложениях.

ТРИ ПОДХОДА К ГЕНЕРАЦИИ СИГНАЛОВ

При выборе решения для генерации сигналов необходимо учитывать три фактора: требования приложения, преимущества и недостатки известных методов генерации сигналов и стоимость оборудования. Естественно, что основное — это требования приложения, причем особое внимание уделяется четырем параметрам: диапазону частот, выходной мощности, модуляции, полосе пропускания и паразитным сигналам.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УМНОЖЕНИЯ

Широкое использование умножителей обусловлено простотой конфигурации: один или несколько умножителей подсоединяют к СВЧ генератору и повышают частоту выходного сигнала в соответствии с требуемым диапазоном. Для умножения частоты на 6, выходной сигнал генератора подают на модуль, содержащий последовательно соединенные удвоитель и утроитель частоты. Если частота исходного сигнала лежит в диапазоне от 12,5 до 18, 4 ГГц, то частота результирующего сигнала будет составлять от 75 до 110 ГГц.

Модули умножителя легко настраивать и использовать, применяя внешний источник питания и только один входной ВЧ кабель, соединенный с выходом генератора сигналов. Для дальнейшего упрощения пользования некоторые генераторы сигналов выполняют совместимыми с модулями источников сигналов миллиметрового диапазона, чтобы вводить в них коэффициент умножения и устанавливать точную частоту на экране прибора.

Зная преимущества и недостатки модулей умножителей, можно оценить, насколько они подходят для конкретного приложения. Такой подход имеет четыре важных преимущества:

- Простота настройки и использования, как отмечено выше.
- Хорошая работа с немодулированными сигналами и сигналами с импульсной модуляцией.
- Модули рассчитаны на фиксированную выходную мощность; на выходе некоторых модулей установлен аттенюатор.
- Имеется широкий выбор модулей в номенклатуре различных производителей.

Эти модули имеют пять существенных недостатков:

- Работа в режиме насыщения на выходе.
- Проблемы при работе с большинством типов модулированных сигналов.
- Невозможность использования с большинством цифровых модулированных сигналов, в частности, с

изменяющейся амплитудой (из-за режима насыщения на выходе).

- Изменение угловой модуляции (например, увеличение ЧМ и ФМ девиации).
- Нелинейность.
- Большие искажения АМ сигналов (включая QAM сигналы) из-за режима насыщения на выходе.
- Создание паразитных гармонических, субгармонических и негармонических составляющих.
- Изменение времен нарастания и спада импульсно-модулированных сигналов (например, более резкое изменение по сравнению с исходным сигналом).
- Увеличение фазового шума генератора сигналов.

Последняя проблема может стать основной, так как фазовый шум генератора сигналов увеличивается на 6 дБ при каждом удвоении частоты (на $20 \cdot \log(n)$). На рис. 2 показано, как увеличивается фазовый шум генератора СВЧ сигналов при его использовании с разными модулями источников на частотах до 450 ГГц.

ПРОСТОЕ ПОВЫШАЮЩЕЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ

Конфигурация повышающего преобразования значительно сложнее, чем умножение, поскольку даже в самом

простом случае необходимы смеситель и два генератора сигналов, один из которых используется в качестве гетеродина, а другой — в качестве источника сигнала ПЧ (рис. 3). В некоторых конфигурациях повышающего преобразования тракт гетеродина содержит умножитель, что позволяет использовать в качестве гетеродина генератор сигналов меньшей стоимости, работающий на более низких частотах.

Такой подход имеет четыре важных преимущества:

- Хорошая работа с модулированными сигналами.
- Поддержка широкополосных сигналов.
- Приемлемая выходная мощность.
- Незначительное увеличение фазового шума генераторов сигналов гетеродина и ПЧ.

В отличие от умножения, повышающее преобразование не искажает модулированные сигналы, даже если они широкополосные. В зависимости от потерь на преобразование, в этой конфигурации поддерживается достаточно высокая выходная мощность для большинства приложений.

К числу отрицательных факторов повышающего преобразования относятся следующие:

Зависимость фазового шума от частоты
(при умножении на $20 \cdot \log(n)$)

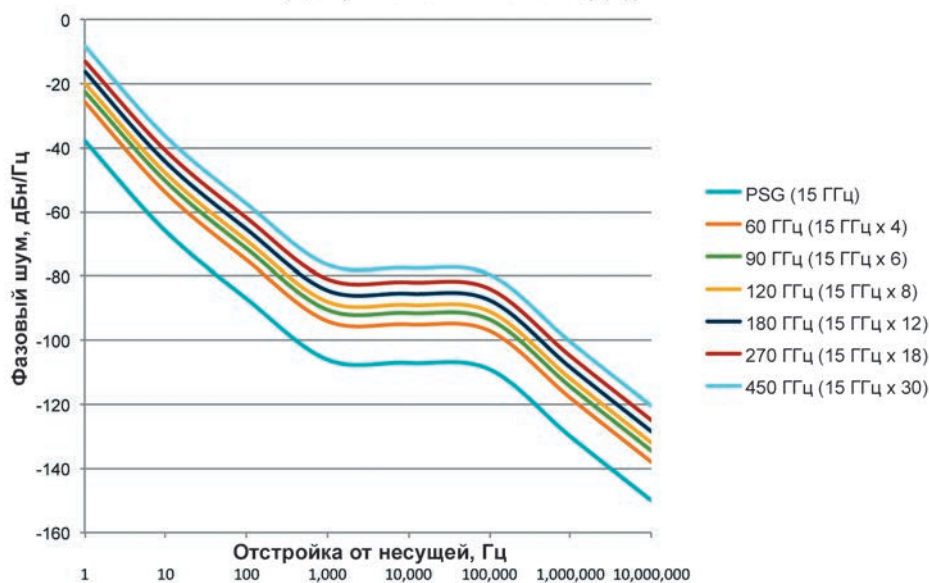


Рис. 2. Фазовый шум выходного сигнала с частотой 15 ГГц СВЧ генератора заметно возрастает при увеличении коэффициента умножения

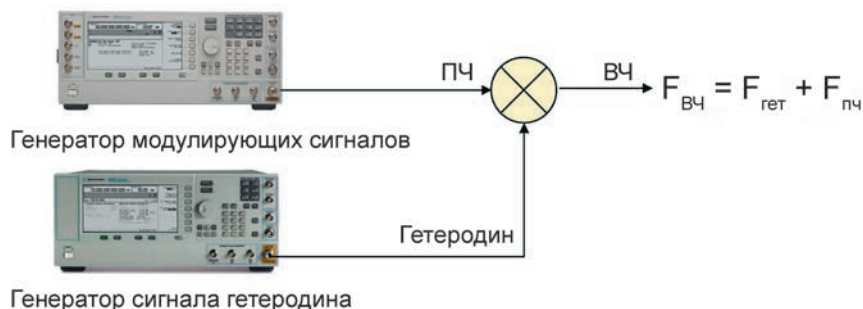


Рис. 3. Повышающее преобразование с использованием смесителя позволяет получать максимально возможную выходную частоту ($F_{ВЧ} = F_{гет} + F_{пч}$)

- Усложнение конфигурации и увеличение стоимости по сравнению с умножением.
- Появление при смещении сигнала зеркального канала с удвоенной ПЧ, большей или меньшей требуемой частоты сигнала.
- Создание при смещении паразитных гармонических, субгармонических и негармонических составляющих.

Другой возможный отрицательный фактор — ограничение регулировки амплитуды. Для небольшой регулировки амплитуды выходного сигнала смесителя можно изменять уровни сигналов гетеродина и ПЧ. Однако при слишком высоком значении мощности возможна перегрузка смесителя, что может стать причиной не только искажения, но и физического повреждения. Для увеличения диапазона регулировки можно использовать регулируемый аттенуатор на ВЧ выходе.

И последнее замечание. Несмотря на наличие на рынке множества повышающих преобразователей, может оказаться непросто найти модель с нужной комбинацией частот гетеродина, ПЧ и ВЧ и довольно низкими потерями на преобразование для получения требуемой мощности.

ПОВЫШАЮЩЕЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗАКАЗНЫХ УСТРОЙСТВ

Следующий уровень интеграции — специализированный повышающий преобразователь. На рис. 4 показано заказное устройство, разработанное для



Рис. 4. Заказной повышающий преобразователь упрощает генерацию тестовых сигналов для специальных приложений

генерации сигналов стандарта 802.11ad в диапазоне частот от 57 до 66 ГГц. На задней панели прибора имеются входы для сигналов гетеродина и ПЧ, а также сигнала опорной частоты и питания постоянного тока, на передней панели — фланец выхода волнового аттенуатора.

На этот повышающий преобразователь подается сигнал гетеродина с частотой от 10 до 12 ГГц и сигнал ПЧ частотой 5 ГГц. Для минимизации потерь на преобразование частота сигнала гетеродина умножается на 4, после чего результирующий сигнал фильтруется, чтобы предотвратить попадание субгармонических и других паразитных составляющих на вход смесителя.

Стандарт WiGig использует широкополосный сигнал OFDM (например сиг-

нал в полосе 2 ГГц), поэтому только при тщательном отборе отдельных компонентов преобразователь может поддерживать соответствующую полосу пропускания и достаточно плоскую АЧХ в тракте сигнала. Это позволяет поддерживать высокое качество сигнала, при котором гарантируется безошибочная демодуляция приемником сигнала WiGig.

Выводы

Использование инновационных измерительных решений очень важно на ранних этапах разработки беспроводных технологий и проектирования систем следующего поколения. Использование серийно выпускаемого оборудования для работы в миллиметровом диапазоне позволит не только сэкономить время и силы, но и повысить достоверность результатов измерений.

Дополнительная информация о генерации сигналов миллиметрового диапазона приведена на странице www.agilent.com/find/SG_mmwave.

Access to innovative measurement solutions is essential to early research into next-generation wireless technologies and systems. For those working at millimeter-wave frequencies, the increasing availability of COTS equipment will help save time and effort while ensuring meaningful measurement results.

Новинка



ИФН-300

ИЗМЕРИТЕЛЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПЕТЛИ ФАЗА-НУЛЬ, ФАЗА-ФАЗА

- измерение полного, активного и реактивного сопротивления цепи фаза-нуль (земля), фаза-фаза, без отключения источника питания (0,01–200 Ом)
- измерение электрического сопротивления постоянному току (металлосвязь) от 0,01 Ом до 999 Ом
- вычисление ожидаемого тока короткого замыкания, приведенного к напряжениям сети 220 В до 22 кА и 380 В до 38 кА
- беспроводная связь с компьютером, обработка данных в программе RS-Terminal®
- диапазон измерения напряжения переменного тока до 450,0 В



Внесен в Госреестр СИ № 57456-14
Межповерочный интервал 2 года

**А также
измерение петли
ФАЗА-ФАЗА**



РАДИО-СЕРВИС

426000, г. Ижевск, а/я 10047, ул. Пушкинская, 268 тел.: (3412) 43-91-44
факс: (3412) 43-92-63 e-mail office@radio-service.ru, www.radio-service.ru