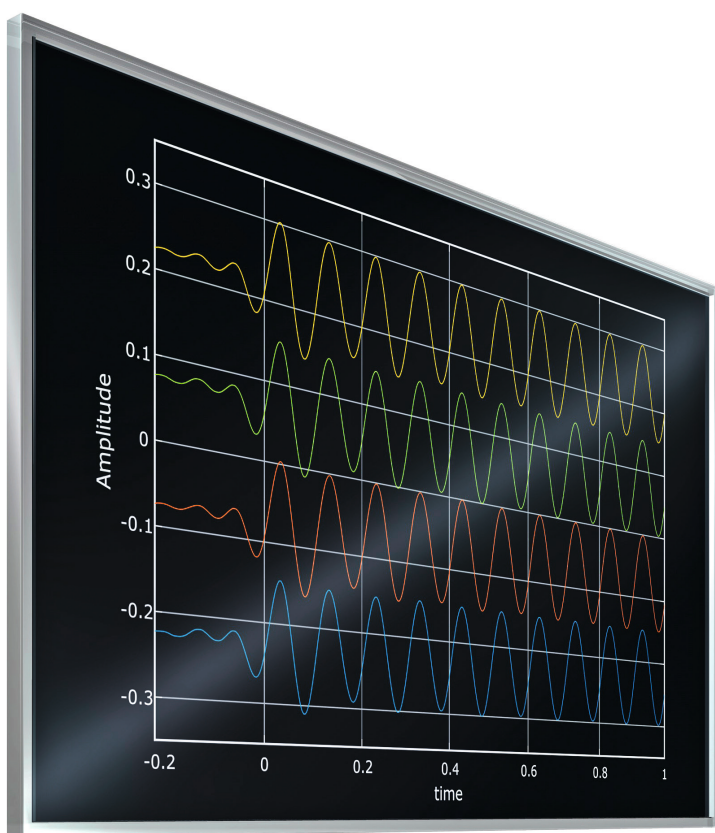


# Надежная и гибкая имитация угла прихода (AoA) сигнала

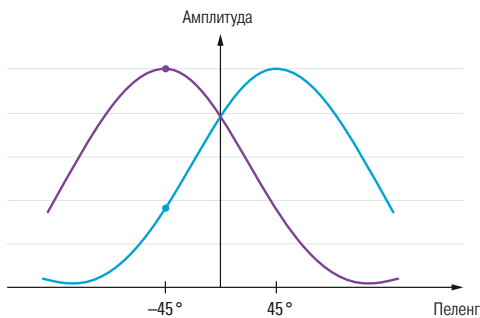
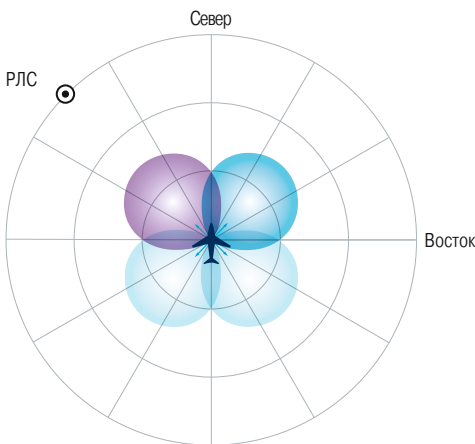
Многоприборные фазокогерентные установки с использованием  
генератора R&S®SMW200A



# Применение

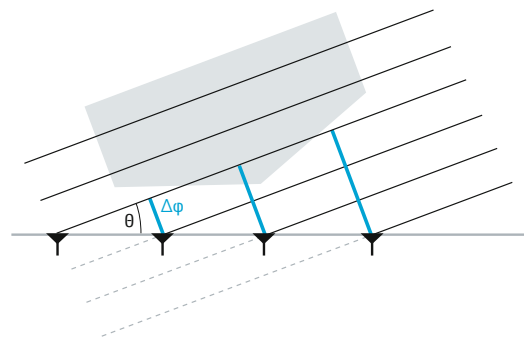
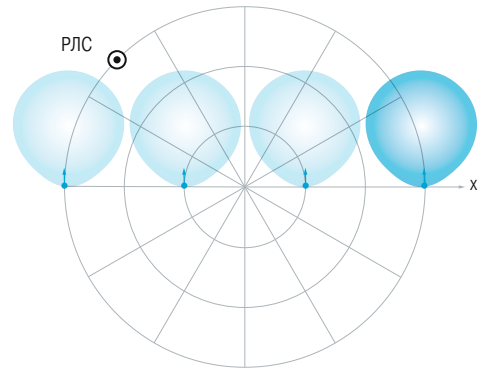
Оборудование предупреждения о радиолокационном облучении установлено на всех типах воздушных платформ, таких как самолеты, вертолеты и пр., а также на военно-морских или наземных платформах. Это оборудование защищает сами платформы и персонал, осуществляющий их эксплуатацию (летчики, военно-морской персонал и т. д.). Назначение оборудования предупреждения об облучении состоит в том, чтобы обнаруживать, измерять и идентифицировать радиолокационные сигналы и выдавать предупреждение экипажу, с тем чтобы можно было принять действенные контрмеры или провести необходимые маневры. Также обязательно иметь возможность пеленгации для определения угла прихода (AoA) сигнала. Для целей пеленгации платформы имеют несколько антенн, установленных в разных положениях. После понижающего преобразования на промежуточную частоту (ПЧ) принятые сигналы поступают в многоканальный приемник предупреждения об облучении и обрабатываются в центральном компьютере, который оценивает амплитуду, фазу и разницу во времени между отдельными принятыми сигналами. Типичными методами пеленгации являются сравнение амплитуд (амплитудный моноимпульсный метод) и интерферометрия.

## Амплитудный моноимпульсный метод с четырьмя антеннами



Как правило, две из четырех антенн принимают сигналы достаточного уровня мощности. РЛС с пеленгом  $0^\circ$  формирует одинаковый уровень мощности в каждом приемном тракте. РЛС с пеленгом  $-45^\circ$  формирует более высокий уровень мощности в приемном тракте с антенной фиолетового цвета, чем в приемном тракте с антенной синего цвета.

## Метод интерферометрии с четырьмя антеннами



Сигнал принимается несколькими антеннами, имеющими одинаковое направление пеленгования. Угол AoA может быть рассчитан по относительной разности фаз (синие линии) между отдельными антеннами. В этом примере предполагается плоский фазовый фронт.

# Измерительная задача

Для инженеров-разработчиков средств РЭБ крайне желательно иметь имитатор, который может формировать тестовые сигналы для имитации AoA. Он необходим с самого первого этапа проектирования. Но зачастую это не так, и инженеры сталкиваются со следующими проблемами:

- Ранняя проверка точности пеленгации и концепции построения системы часто откладывается на более поздние этапы проектирования из-за отсутствия простейших имитаторов
- Ограниченная амплитудно-фазовая устойчивость многоканальных имитаторов ВЧ-сигналов
- Низкие рабочие характеристики имитатора приводят к неточной имитации AoA
- Доступны только дорогие и негибкие специализированные имитаторы с длительным сроком изготовления
- Сложные или самодельные программные инструменты для настройки сценариев
- Разнородные решения, которые неудобны в эксплуатации

# Наше решение

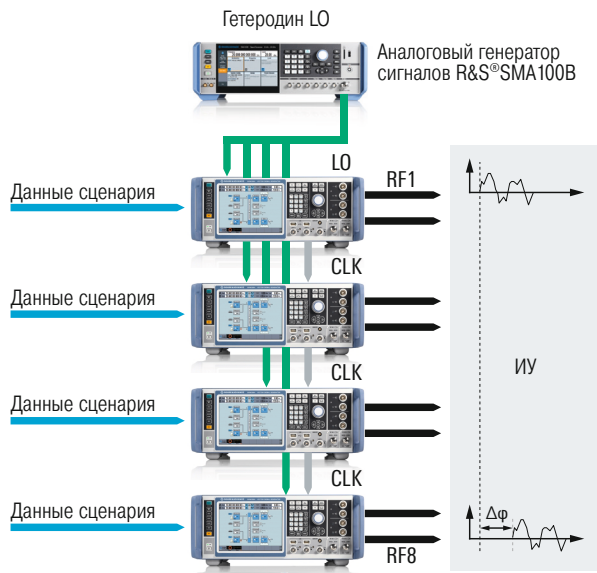
Теперь для имитации угла прихода AoA радиолокационных сигналов инженеры-разработчики средств РЭБ могут использовать несколько связанных векторных генераторов сигналов R&S®SMW200A. Совместное использование сигнала гетеродина и тактового сигнала несколькими приборами обеспечивает стабильное и воспроизводимое моделирование относительных смещений амплитуды, фазы и времени между ВЧ-портами. После калибровки система обеспечивает заданную опорную плоскость, а программное обеспечение для моделирования может настраивать относительные амплитуды, фазы или временные сдвиги между ВЧ-портами в соответствии с заданным сценарием. Данное решение может использоваться для проверки характеристик оборудования, которое измеряет AoA.

Теперь у инженеров есть идеальный многоканальный ВЧ имитатор на основе векторного генератора сигналов R&S®SMW200A, который обеспечивает следующие преимущества:

- Многоканальное ВЧ оборудование со стабильными характеристиками для повторяющихся сценариев
- Калиброванная опорная плоскость между ВЧ-портами и когерентность сигналов с помощью калибровочного решения от Rohde & Schwarz
- Небольшой размер установки с возможностью масштабирования до двух, четырех, шести, восьми или более портов прямо на рабочем столе инженера
- Серийное (COTS) контрольно-измерительное оборудование
- Обслуживание и поддержка клиентов Rohde & Schwarz по всему миру
- Нет риска неудачи с самого начала проектирования
- Векторный генератор сигналов поддерживает все виды обычных или модулированных I/Q сигналов цифровой модуляции
- Данные потокового сценария, передаваемые словами дескриптора импульсов (PDW) на R&S®SMW200A
- Загрузка предварительно рассчитанных сценариев из ПО R&S®Pulse Sequencer в генератор R&S®SMW200A

# Эталонное решение

## Эталонное решение с восемью ВЧ-портами



Эталонное решение с восемью ВЧ-портами для восьми фазокогерентных синхронизированных по времени ВЧ-сигналов с частотой до 20 ГГц. Для оптимизации рабочих характеристик аналоговый генератор сигналов R&S®SMA100B формирует сверхчистый сигнал гетеродина в звездообразной конфигурации.

## Компактная модульная конструкция

Двухканальный векторный генератор сигналов R&S®SMW200A является ключевым модулем для многоканальных установок. Чтобы создать многоканальный ВЧ имитатор, просто распределите сигнал гетеродина (LO) и тактовые сигналы (CLK) по другим приборам. Усовершенствованная концепция распределения тактовых сигналов обеспечивает высокий уровень синхронизации модулирующих и ВЧ-сигналов на выходных ВЧ-портах. За счет двух ВЧ трактов с частотой до 20 ГГц на один прибор установка компактна и помещается на рабочем столе инженера-разработчика. Имитатор легко масштабируется в зависимости от количества портов приема испытываемого устройства (ИУ). Имитатор с восемью ВЧ-портами имеет высоту всего 16 единиц и легко помещается в небольшую стойку или на стол инженера.

Самый современный векторный генератор сигналов R&S®SMW200A также подходит для автономного использования. Такой подход дает инженерам преимущество в гибкости тестовых сценариев. Они могут использовать прибор в различных проектах, сокращая таким образом расходы на оборудование. Это также уменьшает разнообразие различных источников сигнала в лаборатории.

## Высокоточная синхронизация

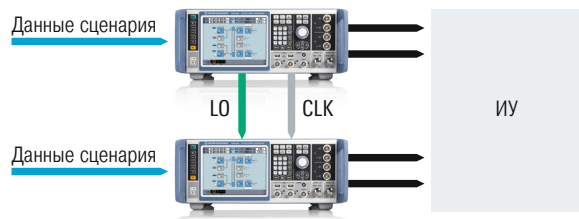
Синхронизация с сигналом гетеродина и тактовыми сигналами обеспечивает долговременную стабильность и повторяемость сигнала. Для обеспечения наилучших рабочих характеристик генератор R&S®SMA100B формирует сверхчистый сигнал гетеродина, поступающий на разветвитель. Кабели одинаковой длины распределяют его по входным портам сигнала гетеродина LO каждого векторного генератора сигналов в звездообразной конфигурации. Таким образом, в системе обеспечиваются высокосимметричные сигналы гетеродина.

## Один прибор, два ВЧ-порта



Один прибор, два ВЧ-порта с частотой до 20 ГГц, внутренняя полоса I/Q-модуляции до 2 ГГц. Используйте оба тракта независимо или используйте общий гетеродин для фазокогерентной работы с превосходной синхронизацией по внутреннему сигналу гетеродина и тактовыми сигналами. В генераторе R&S®SMW200A сочетаются мощные аппаратные средства с компактной конструкцией.

## Сверхкомпактная четырехканальная установка с частотой до 20 ГГц



Базовая установка с двумя связанными генераторами R&S®SMW200A. Она обеспечивает четыре фазокогерентных ВЧ тракта в сверхкомпактном форм-факторе высотой всего восемь единиц. Установка обладает высокой мобильностью, обеспечивая возможность использования в разных местах.

# Характеристики изделия

## Быстрое переключение частот

Обладая внутренней полосой I/Q-модуляции 2 ГГц, векторный генератор сигналов R&S®SMW200A способен осуществлять сверхбыструю скачкообразную перестройку частоты. Векторный генератор сигналов R&S®SMW200A обеспечивает быстрое переключение частот в пределах своей широкой полосы модулирующих сигналов за счет быстрого изменения частот смещения модулирующего сигнала. Он способен формировать немодулированные импульсные сигналы или импульсы с модуляцией по импульсу. Сигнал может быть поступать от ПО R&S®Pulse Sequencer или с внешних имитаторов, которые передают сигнал на R&S®SMW200A в виде слов дескриптора импульсов (PDW). R&S®SMW200A может достигать частоты импульсов до 2 млн PDW/с для потоковой передачи PDW или до 3,3 млн импульсов/с для быстрого переключения частоты при использовании ПО R&S®Pulse Sequencer.

## Отличные характеристики по повторяемости фазы

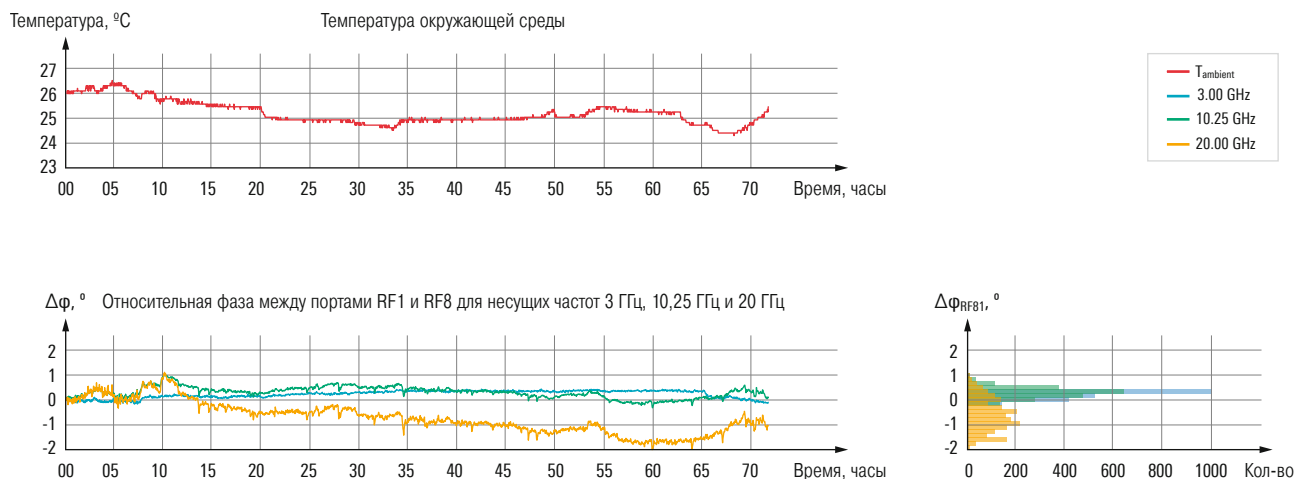
В генераторе R&S®SMW200A переключение частот достигается путем изменения частот смещения модулирующего сигнала (например, с 10 ГГц на 10,25 ГГц) или путем изменения несущей частоты (например, с 3 ГГц на 20 ГГц) для изменения диапазона.

Повторяемость относительной фазы между ВЧ-портами, особенно при переключении частот назад и вперед, является ключевым показателем эффективности для многоканальных ВЧ имитаторов. Несколько связанных генераторов R&S®SMW200A способны выводить четыре, шесть, восемь или более фазокогерентных ВЧ-сигналов. Они демонстрируют отличные характеристики по этому ключевому показателю и являются идеальным решением для имитации нескольких фазокогерентных сигналов. Гистограмма на приведенном ниже рисунке показывает отклонение от начальной разности фаз. Узкое распределение означает отличную повторяемость разности фаз. Чтобы получить приведенную ниже гистограмму, программное обеспечение выполняло переключение частот в соответствии с шаблоном, показанным на рисунке «Измерение характеристик — шаблон изменения частоты» на стр. 6.

## Долговременная стабильность

Крайне желательно, чтобы многоканальные ВЧ-системы содержали ВЧ-оборудование со стабильными характеристиками. Такой подход позволяет поддерживать длительные интервалы времени между повторными калибровками, поскольку сигналы слабо подвержены долговременному смещению. Высокостабильное ВЧ оборудование требует стабильной температуры окружающей среды. На приведенном ниже графике показаны результаты измерений в типичной кондиционированной лаборатории в течение 72 часов. Для СВЧ сигнала частотой 10,25 ГГц разность фаз изменяется всего лишь на 1,5 градуса.

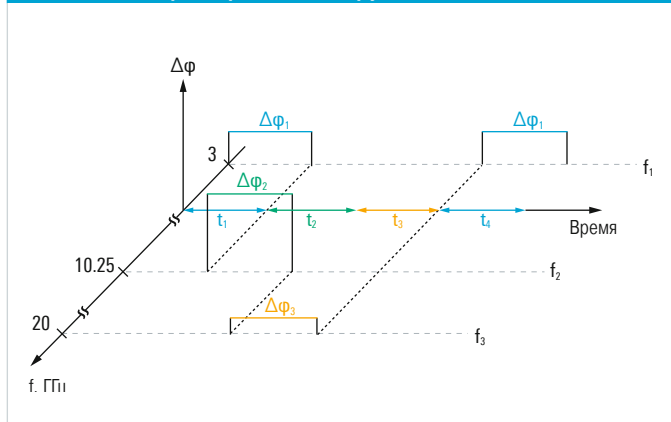
## Повторяемость фаз и стабильность частот переключения для установки с восемью ВЧ-портами



На графике показан пример характеристик повторяемости фазы на частоте 3 ГГц ( $f_{\text{несущ}} = 4$  ГГц,  $f_{\text{ВВ-смещ}} = -1$  ГГц), 10,25 ГГц ( $f_{\text{несущ}} = 10$  ГГц,  $f_{\text{ВВ-смещ}} = 250$  МГц) и 20 ГГц ( $f_{\text{несущ}} = 19$  ГГц,  $f_{\text{ВВ-смещ}} = 1$  ГГц) при изменении частоты в соответствии с шаблоном, показанным на следующей странице. Гистограмма показывает отклонение разности фаз от начального значения за 72 часа. Поскольку разность фаз между двумя ВЧ-портами при переключении частот (например, с 10 ГГц на 10,25 ГГц) воспроизводится с высокой точностью, она характеризуется высокой стабильностью и отсутствием дрейфа.

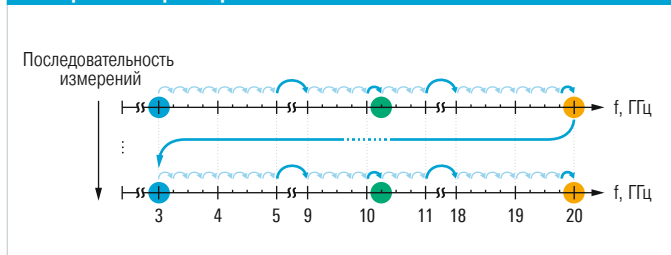
# Процедура измерения

## Ожидаемые характеристики оборудования



В идеале, ВЧ оборудование не ухудшает настроенную разность фаз между ВЧ-портами. Разность фаз в зависимости от времени и температуры должна оставаться стабильной при переключении частоты назад и вперед. В этом примере разность фаз между двумя портами во временном интервале  $t_4$  такая же, как разность фаз во временном интервале  $t_1$  после цикла переключения частоты  $f_1$  до  $f_2$  до  $f_3$  до  $f_1$ . Только тогда разность фаз, измеренная между двумя портами, действительно отражает значение, заданное PDW или сценарием, рассчитанным с помощью ПО R&S®Pulse Sequencer.

## Измерение характеристик — шаблон изменения частоты



В векторном генераторе сигналов разные выходные частоты можно получить, изменяя частоту смещения модулирующего сигнала при фиксированной частоте несущей или изменяя только частоту несущей. В показанном слева примере для частот несущих выбраны значения 4 ГГц, 10 ГГц и 19 ГГц. Частоты смещения модулирующего сигнала последовательно изменялись от  $-1$  ГГц до  $+1$  ГГц с шагом 250 МГц, так что измерение охватывало диапазоны частот от 3 ГГц до 5 ГГц, от 9 ГГц до 11 ГГц и от 18 ГГц до 20 ГГц с шагом 250 МГц. График характеристик «Повторяемость фаз и стабильность частот переключения для установки с восемью ВЧ-портами» на стр. 5 показывает результаты для фазовой стабильности и повторяемости между ВЧ-портами для частот 3 ГГц, 10,25 ГГц и 20 ГГц в зависимости от времени.

# Особенности и преимущества

## Многоприборные измерительные установки

Один прибор R&S®SMW200A может иметь два ВЧ-порта с частотой до 20 ГГц или один ВЧ-порт с частотой до 44 ГГц. Двухканальные приборы или несколько связанных векторных генераторов сигналов R&S®SMW200A являются идеальным выбором для формирования фазокогерентных сигналов. В двухпортовых приборах можно синхронизировать фазокогерентные ВЧ-порты или управлять ими как независимыми источниками сигналов. Благодаря усовершенствованному механизму распределения тактовых сигналов и синхронизации с сигналом гетеродина относительная фаза между несколькими ВЧ-портами остается стабильной не только в течение нескольких часов, но и в течение нескольких дней. Это делает R&S®SMW200A идеальным решением для имитации угла AoA с помощью одного или нескольких сигналов излучателей.

## Имитатор РЛС

Векторный генератор сигналов R&S®SMW200A совместно с программным обеспечением R&S®Pulse Sequencer представляет собой эффективный и готовый к использованию имитатор РЛС. Он способен генерировать широкий спектр радиолокационных сценариев. Впервые один программный пакет помогает определить все сценарии тестирования РЛС, которые требуются в лаборатории для всего цикла разработки изделия. Тестовые сценарии начинаются от простых импульсных сценариев и заканчиваются сценариями с движущимся излучателем или несколькими излучателями. ПО поддерживает работу с одним или несколькими связанными приборами для имитации угла AoA. Предварительный просмотр в 3D и оперативная графическая визуализация сконфигурированных сигналов позволяют инженерам быстро ознакомиться и воспользоваться возможностями имитатора.

Векторный генератор сигналов R&S®SMW200A может также использоваться в качестве источника быстроизменяющегося сигнала, формирующего сложные условия РЭБ в пределах полосы модулирующих сигналов 2 ГГц. Он формирует импульсные сигналы с I/Q-модуляцией, быстроизменяющиеся сигналы и классические импульсные сигналы на основе передаваемого потока дескрипторов PDW. Генератор R&S®SMW200A принимает поток дескрипторов PDW из имитатора сигналов РЛС по локальной сети. Имитатор также способен передавать несколько потоков в когерентно связанные генераторы R&S®SMW200A для имитации угла AoA. Мощное оборудование для цифровой модуляции интерпретирует дескрипторы PDW и формирует ВЧ-сигнал на основе описания импульсов в требуемые моменты времени, определенные словом времени прихода в дескрипторах PDW.

## Готовность к калибровке

Превосходная повторяемость и надежная долговременная стабильность позволяют настроить калибровку для достижения заданной опорной плоскости (амплитуды, фазы и времени) между выходными ВЧ-портами. Калибровочный инструмент должен только скомпенсировать стабильные, но фиксированные смещения фазы, амплитуды и времени между ВЧ-портами. Компьютерное ПО R&S®Port Alignment вместе с опцией автоматического выравнивания ВЧ-портов R&S®SMW-K545 станет отличным решением для этой задачи. ПО выполняет predetermined и оптимизированные процедуры калибровки для генератора R&S®SMW200A. Пользователи могут без труда задать частоты ВЧ-сигналов, используемую полосу частот и диапазон уровней для калибровки. Программное обеспечение совместно с анализатором цепей автоматически определяет поправочные коэффициенты для всех ВЧ-портов. Это решение экономит время и расходы. Пользователь может сосредоточиться на выполнении испытаний и не тратить время на кодирование процедур калибровки.

## Гибкое использование инвестиций

Благодаря гибкости программно-конфигурируемого векторного генератора сигналов R&S®SMW200A инженеры-разработчики могут настраивать источник сигналов с помощью программного обеспечения, адаптируя его под свою конкретную задачу. Такой источник сигналов можно применять в различных задачах — от простой векторной генерации сигналов до высококачественной имитации сигналов РЛС — получая максимальную выгоду от превосходных ВЧ-характеристик. За счет этого снижаются затраты и обеспечивается универсальность применения. Поскольку ВЧ оборудование основано на коммерческих готовых векторных генераторах сигналов, пользователи получают все преимущества быстрой доставки и глобальной службы поддержки. Векторный генератор сигналов R&S®SMW200A станет идеальным прибором для лабораторий с периодически меняющимися требованиями.



**Дополнительная информация:**

<https://www.rohde-schwarz.com/application/smw200a>

R&S® является зарегистрированным торговым знаком компании Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG  
Фирменные названия являются торговыми знаками их владельцев  
PD 3607.2984.38 | Версия 01.00 | мая 2019 г. (jr)  
Надежная и гибкая имитация угла прихода (AoA) сигнала  
Данные без допусков не влекут за собой обязательств | Допустимы изменения  
© 2019 Rohde & Schwarz GmbH Co. KG | 81671 Мюнхен, Германия



3607298438