

## Экономия расходов при создании реалистичных сценариев с сигналами нескольких источников

*Рекомендации по применению*

При работе с современными РЛС и системами радиоэлектронной борьбы (РЭБ) инженеры сталкиваются с постоянным усложнением радиоэлектронной обстановки (РЭО). Например, в городской среде имеется множество ВЧ и СВЧ источников радиоизлучений (ИРИ), являющихся средствами беспроводной связи или гражданскими РЛС. Все они представляют собой потенциальные источники помех. Моделирование работы РЛС и систем РЭБ с использованием высокореалистичных сценариев позволяет получать характеристики систем при наличии нескольких сигналов помех.

Для тестирования оборудования в лаборатории можно воспроизводить захваченные ранее реальные ИРИ. Другой вариант – создание высокореалистичных тестовых сигналов нескольких ИРИ с помощью САПР. А еще лучше создавать гибкие спектры, объединяющие реальные и смоделированные сигналы.

Стоимость заказного оборудования и ПО для создания таких сигналов может быть очень высокой, поскольку проектирование, разработка и тестирование заказных систем сопряжены с большими затратами времени, средств и ресурсов.

Ниже приведено краткое описание решения, построенного на базе имеющихся в свободной продаже компонентов (COTS) и предназначенного для генерации и анализа сигналов, а также представлены два примера сценариев. Основное внимание уделено моделированию тестовых сигналов с несколькими ИРИ, захвату реальных радиоизлучений и их объединению для получения гибких сценариев тестирования.



## ПРОБЛЕМА: в настоящее время количество потенциальных источников помех постоянно увеличивается

Модели ИРИ широко используются в САПР системного уровня (ESL) и в САПР схемотехнического уровня (EDA) при разработке ВЧ систем и схем. До недавнего времени они применялись для создания сигналов только одного формата, имитирующих конкретные ИРИ, например беспроводные системы или РЛС. Современная РЭО отличается присутствием множества потенциальных источников помех, поэтому требуется использовать более гибкие системы тестирования с расширенными функциональными возможностями.

При создании новых систем тестирования, моделирующих реалистичные спектры для тестов на уровне компонентов и систем, следует учитывать сложность современной РЭО. Различия по частоте и типам модуляции создают проблемы при захвате и восстановлении реальных сигналов. Кроме того, объединение реального спектра и смоделированных сигналов создает дополнительные трудности.

Раньше для имитации сигнала одного ИРИ тестовый сигнал создавался с помощью генератора сигналов произвольной формы (AWG). В этом случае тактовая частота или частота выборки устанавливались в соответствии с форматом сигнала, представляющим интерес. Например, при моделировании сигналов LTE частота выборки может быть установлена для супердискретизации сигнала LTE с коэффициентом 2 или 4.

Моделирование с использованием одной частоты выборки – это сравнительно простая задача, однако сегодня реальные сигнальные сценарии значительно усложнились. Для большинства инструментов EDA или ESL объединение сигналов нескольких типов с разными частотами выборки – довольно сложная задача. Рассмотрим объединение сигналов РЛС, LTE и беспроводной LAN (WLAN) стандарта 802.11ac. Сложность приведения сигналов к одной частоте выборки связана с необходимостью определения коэффициентов повышающей

и понижающей дискретизации. Это существенно затрудняет создание реалистичных сценариев с сигналами нескольких ИРИ.

Эффективность капиталовложений в контрольно-измерительное оборудование обычно оценивают с учетом возможностей его использования в течение длительного времени. При этом также учитывается гибкость разработки сценариев и приложений. Заказное контрольно-измерительное оборудование, как правило, не соответствует этим требованиям, так как оно разрабатывается для конкретных приложений и часто нуждается в доработке для решений других задач.

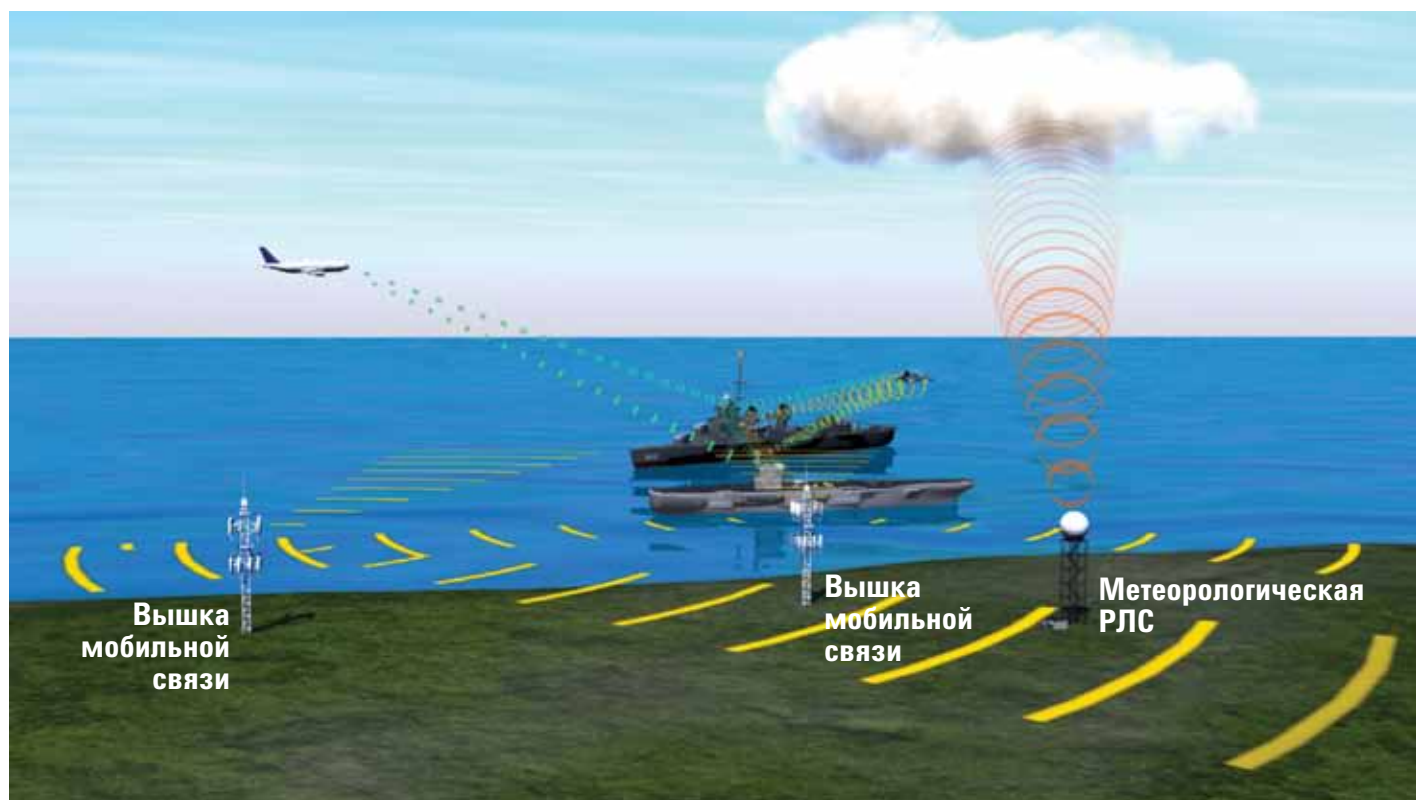


Рис. 1. Современная радиоэлектронная обстановка очень сложна.

# РЕШЕНИЕ: формирование сигналов с несколькими ИРИ с помощью конфигурации на основе готовых компонентов – САПР и генераторов сигналов произвольной формы высшего класса

Компания Agilent разработала SignalCombiner – программный элемент, основанный на моделировании и выполняющий повторную дискретизацию и объединение нескольких сигналов разного типа с разной полосой частот. При использовании с контрольно-измерительными приборами Agilent, этот элемент объединяет захваченные реальные сигналы с библиотечными моделями для создания сложных выходных спектров.

Гибкость данного решения обеспечивается САПР системного уровня SystemVue от Agilent EEsof. В SystemVue элемент SignalCombiner позволяет создавать и объединять сигналы ИРИ внутри среды моделирования. Используя повторную дискретизацию, сигналы нескольких ИРИ можно объединять в один сигнал, который загружается для воспроизведения в прецизионный генератор сигналов, такой как Agilent M8190A (рис. 2).

Генератор M8190A выдает сигналы с высоким разрешением в широкой полосе частот, поэтому его можно использовать в приложениях, требующих воспроизведения сложных сигналов с высокой точностью.

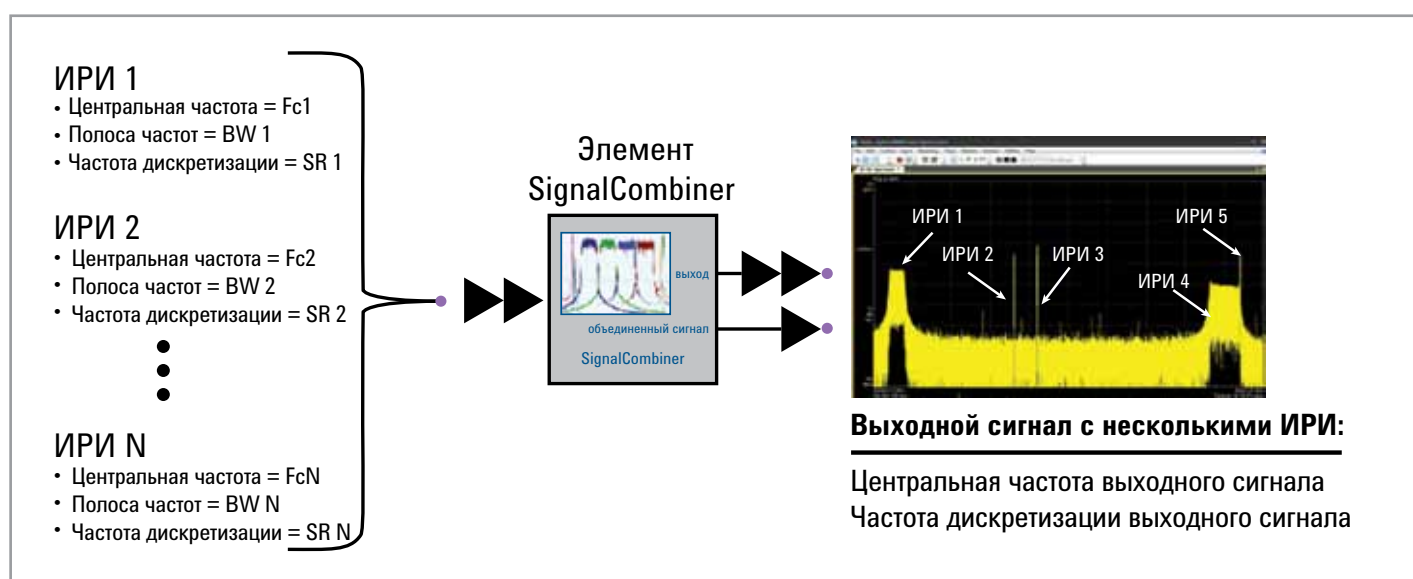
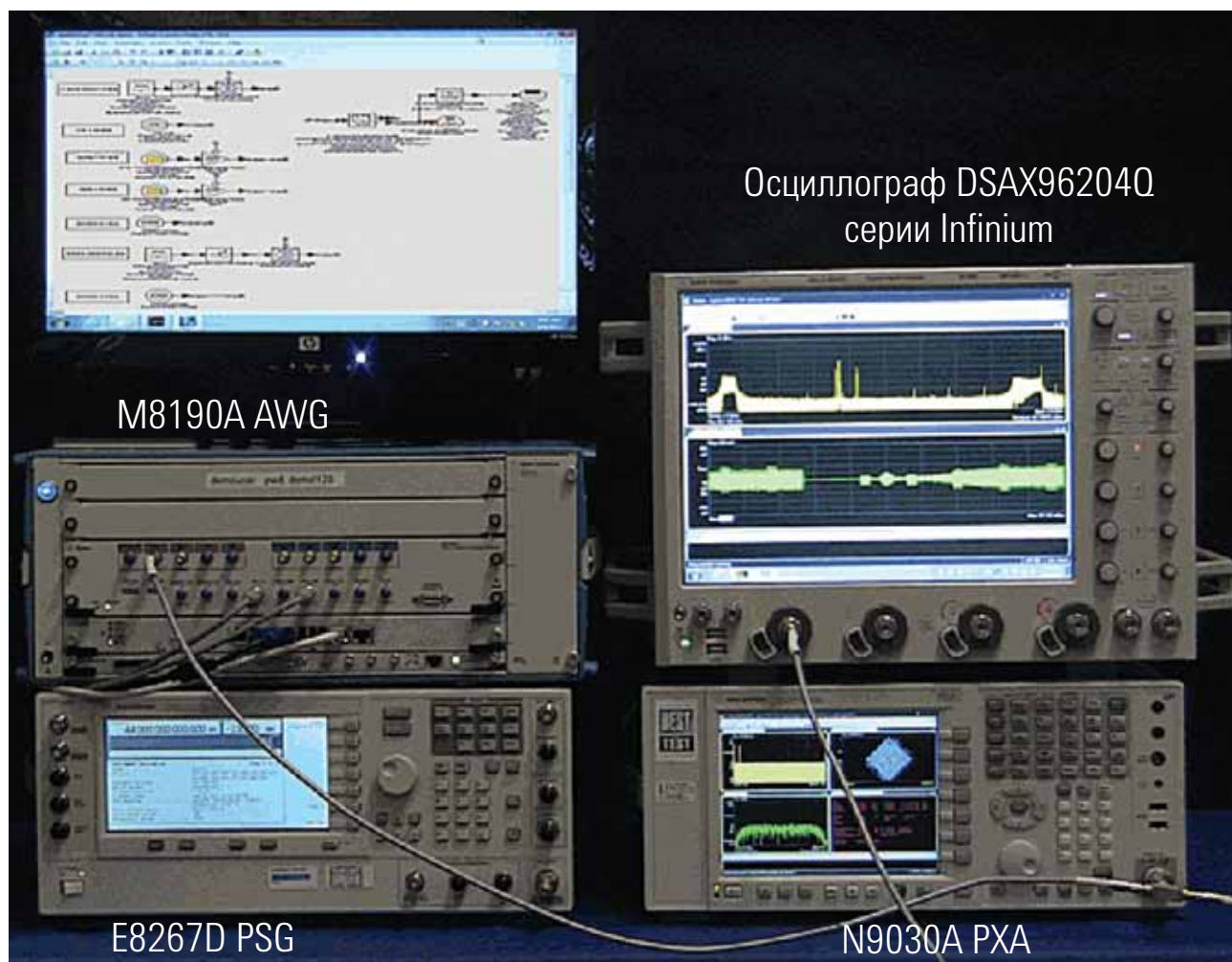


Рис. 2. SignalCombiner изменяет частоту дискретизации сигналов нескольких ИРИ и формирует один сигнал, используемый для тестирования устройства.

Полная конфигурация аппаратных и программных средств, показанная на рис. 3, содержит следующие элементы:

- **W1461 BP** SystemVue Comms Architect и библиотека моделей РЛС W1905EP: ПО моделирования на системном уровне, которое можно использовать для создания и объединения сигналов ИРИ.
- **M8190A**: генератор сигналов произвольной формы, формирует сигналы с разрешением 12 бит при частоте дискретизации 12 Гвыб/с и с разрешением 14 бит при частоте дискретизации 8 Гвыб/с. Два выходных канала этого генератора можно соединять с широкополосными входами I и Q векторного генератора сигналов E8267D серии PSG.
- **E8267D** с опцией 016: векторный генератор сигналов серии PSG можно использовать для модуляции и повышающего преобразования модулирующих сигналов I и Q, полученных от генератора сигналов произвольной формы. Максимальная частота несущей равна 44 ГГц.
- **DSAX96204Q**: осциллограф высшего класса серии Infiniium с полосой 63 ГГц для анализа сверхширокополосных сигналов обеспечивает возможность непосредственного просмотра во временной области сигналов с частотами выше Ka-диапазона, и в V-диапазоне.
- **PXA**: анализатор сигналов работает в диапазоне частот от 3 Гц до 50 ГГц и имеет лучший в отрасли средний уровень собственных шумов (DANL).
- **89600**: лучшее в отрасли ПО векторного анализа сигналов (VSA) от компании Agilent поддерживает более 70 стандартов сигналов и типов модуляции. С помощью этого ПО можно выполнять анализ во временной, частотной и модуляционной областях. ПО 89600 VSA можно использовать при моделировании и работе с контрольно-измерительным оборудованием.



Осциллограф DSAX96204Q  
серии Infinium

M8190A AWG

E8267D PSG

N9030A PXA

Рис. 3. Комбинация имеющегося в свободной продаже оборудования и программного обеспечения позволяет эффективно создавать и анализировать сценарии с сигналами нескольких ИРИ.

В конфигурации, приведенной на рис. 3, ПО SystemVue для проектирования электронного оборудования на системном уровне (ESL) работает на встроенном контроллере генератора сигналов произвольной формы. ПО 89600 VSA с функциями демодуляции работает на осциллографе, но может работать и на анализаторе сигналов PXA.

В отличие от сложных контрольно-измерительных систем, создающих сигнальные сценарии в режиме реального времени с помощью большого числа аппаратных модулей,

в данной конфигурации сигналы нескольких ИРИ создаются с помощью моделирования. Время создания сигналов зависит от их сложности, частоты выборки и общего времени воспроизведения. Но моделирование можно выполнять автономно, а затем загружать созданные файлы .bin в генератор M8190A, программную переднюю панель управления генератором (Soft Front Panel).

По сравнению с системами, работающими в режиме реального времени, данная конфигурация предоставляет ряд новых

возможностей и по-прежнему может использоваться для тестирования при проведении исследований и разработок. Кроме того, сравнительно небольшая стоимость решения на основе готовых компонентов делает его более доступным для большого числа лабораторий или исследовательских групп. Это облегчает анализ сценариев перед их использованием для тестирования на системном уровне с помощью контрольно-измерительного оборудования в режиме реального времени.

# РЕЗУЛЬТАТЫ, ЧАСТЬ 1: создание реалистичных тестовых сигналов с несколькими ИРИ, включая радиолокационные и коммуникационные

Задача системы тестирования — подать на входы тестируемого устройства реалистичные испытательные сигналы, чтобы проверить выполнение проектных требований. При разработке современных РЛС и систем РЭБ инженеры сталкиваются с постоянным усложнением спектра ВЧ и СВЧ сигналов, форматы и количество которых постоянно изменяются. Ниже представлено решение Agilent на основе готовых аппаратных и про-

граммных компонентов, предлагающее широкие возможности при невысокой цене.

На рис. 4 показано, как с помощью данного подхода можно формировать сложные испытательные сигналы со сложным спектром. ПО SystemVue имеет большой набор библиотек моделей ИРИ, включая библиотеки сигналов беспроводных стандартов и РЛС. Эти библиотеки можно совместно

использовать для создания сложных спектров. Результирующий сигнал нескольких ИРИ загружается в генератор сигналов произвольной формы, который формирует тестовый сигнал. Можно использовать векторный генератор сигналов серии PSG, чтобы промодулировать ВЧ/СВЧ несущую сигналами I/Q. В результате получаются модулированные тестовые сигналы более высокой частоты.

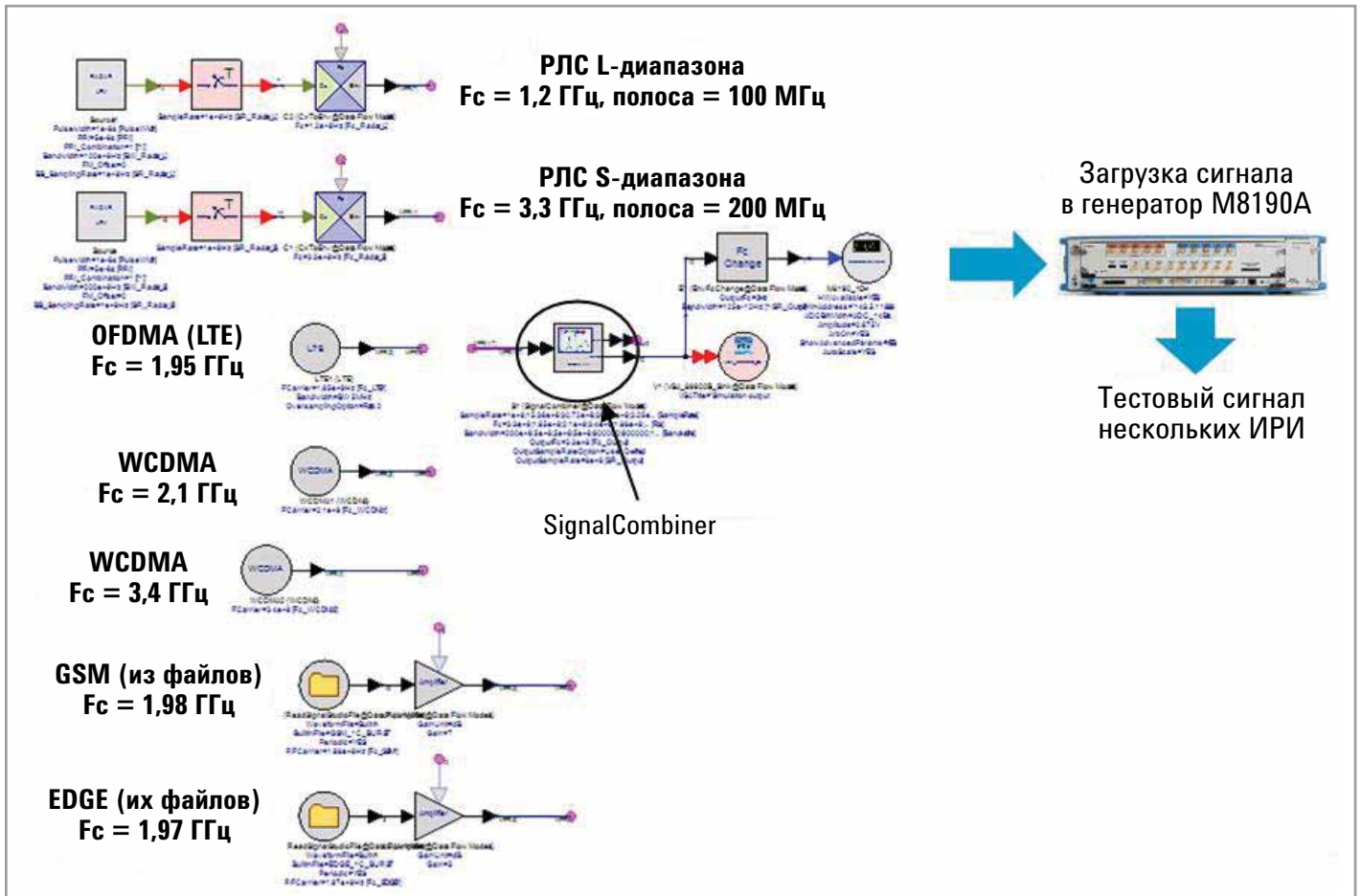


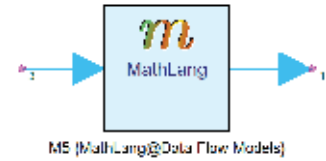
Рис. 4. Создание сигнала нескольких ИРИ с помощью ПО SystemVue.



## Дополнительные библиотеки для ПО SystemVue

МОБИЛЬНАЯ СВЯЗЬ 3G/4G	СЕТИ
LTE-Advanced (версия 10) LTE (версия 8,9) WCDMA, HSDPA, HSUPA CDMA, CDMA2000	WiMAX / 802.15e WLAN / 802.11abgn/ac/ad специальные сигналы OFDM*
ЛОКАЛЬНЫЕ СЕТИ	ТЕЛЕВЕЩАНИЕ И СПУТНИКОВАЯ СВЯЗЬ
WPAN / 802.15.3c 802.11ad Zigbee* / 802.15.4	DVB-S2/T2 ISDB-T GNSS общераспространенные сигналы с цифровой модуляцией*
* при наличии среды ядра W1461BP	ОБОРОНА
	RADAR: PD, UWB, FMCW, SAR, DAR, SFR, MIMO, ФАР

## Дополнительно

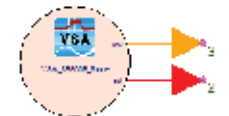


На основе математических функций



File="Myfile.txt"  
Periodic=Y1 S

Считывание файлов данных IQ



VSAFile="Simulation output"  
OutputType="Iimed (Envelope)Real Baseband..."  
VSATime="5"

Захват сигналов от контрольно-измерительного оборудования

Рис. 5. Создание сигналов с помощью ПО SystemVue.

На рис. 5 показан богатый набор дополнительных библиотек для SystemVue, включая библиотеки сигналов LTE, W-CDMA, специальные сигналы OFDM и беспроводной связи. Кроме того, ПО SystemVue поддерживает математическое моделирование (Mathlang), а сигналы могут быть взяты в виде файлов данных I/Q формата ASCII или захвачены и записаны в файл формата .sdf с помощью ПО VSA 89600 и измерительного прибора Agilent.

На приведенном выше рис. 4 показана рабочая среда SystemVue, используемая для моделирования РЭО с сигналами нескольких ИРИ. Моделируются сигналы двух РЛС, один в L-диапазоне с центральной частотой 1,2 ГГц и полосой частот ЛЧМ 100 МГц, другой — в S-диапазоне с центральной частотой

3,3 ГГц и полосой частот ЛЧМ 200 МГц. Моделируются сигналы нескольких радиопередатчиков: сигнал LTE OFDMA с частотой 1,95 ГГц, два сигнала W-CDMA (с частотой 2,1 ГГц и с частотой 3,4 ГГц), сигнал GSM с частотой 1,98 ГГц и сигнал EDGE с частотой 1,97 ГГц.

На рис. 6 показан экран осциллографа с результатами измерений спектра с сигналами нескольких ИРИ, полученный на осциллографе с помощью ПО VSA. Сигнал РЛС L-диапазона находится ближе к левому краю. Сигналы LTE, EDGE, GSM и W-CDMA расположены ближе к середине спектра, а сигнал РЛС S-диапазона — к правому краю. Один из сигналов W-CDMA попал в полосу частот РЛС S-диапазона.

На рис. 7 показан увеличенный участок спектра сигнала РЛС L-диапазона. Зеленая трасса на нижнем левом экране представляет собой ЛЧМ-импульс, показанный во временной области. Фаза и частота этого импульса показаны справа.

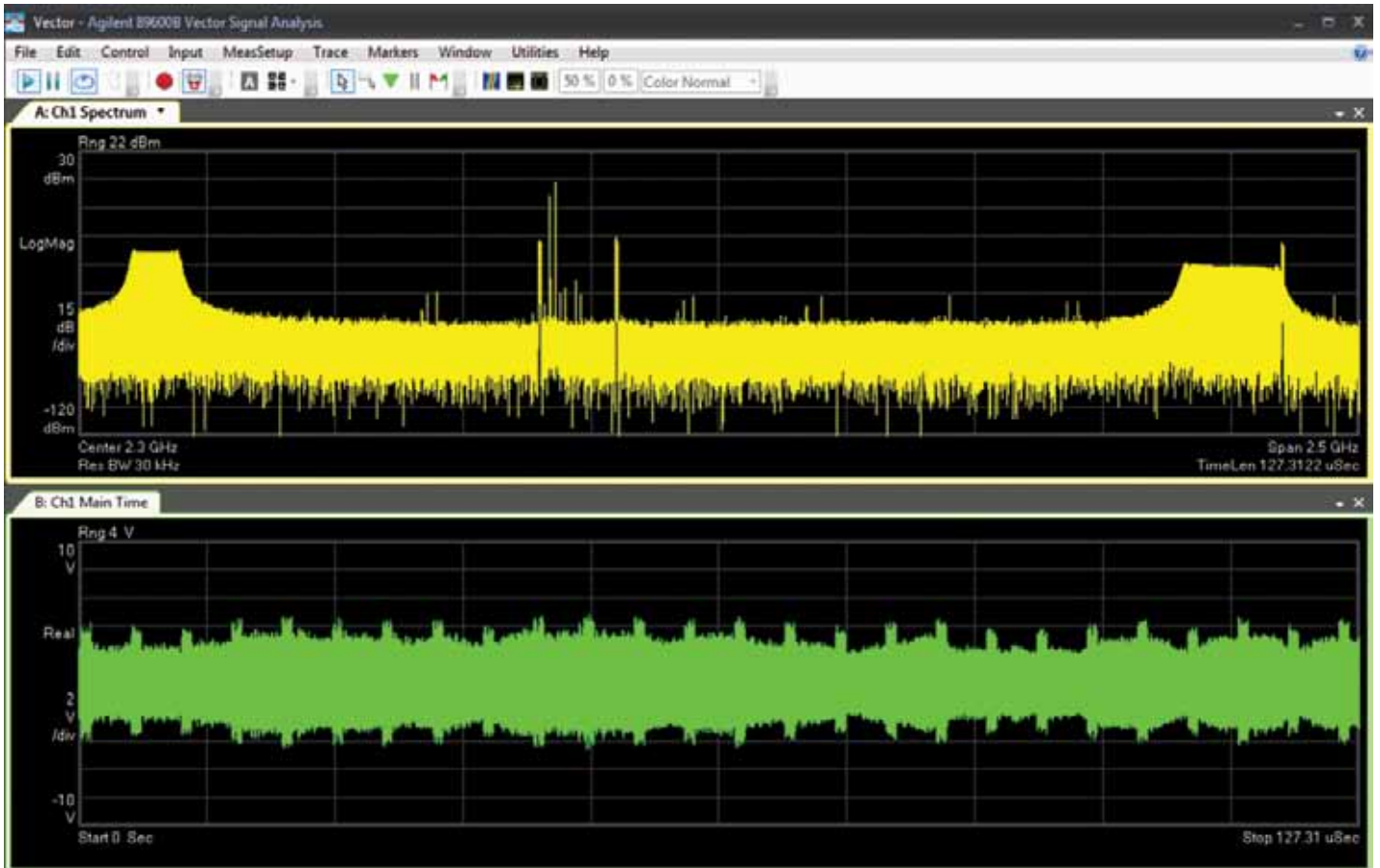


Рис. 6. Результаты измерений сигнала нескольких ИРИ, отображаемые на экране осциллографа DSA 91304A с ПО VSA.

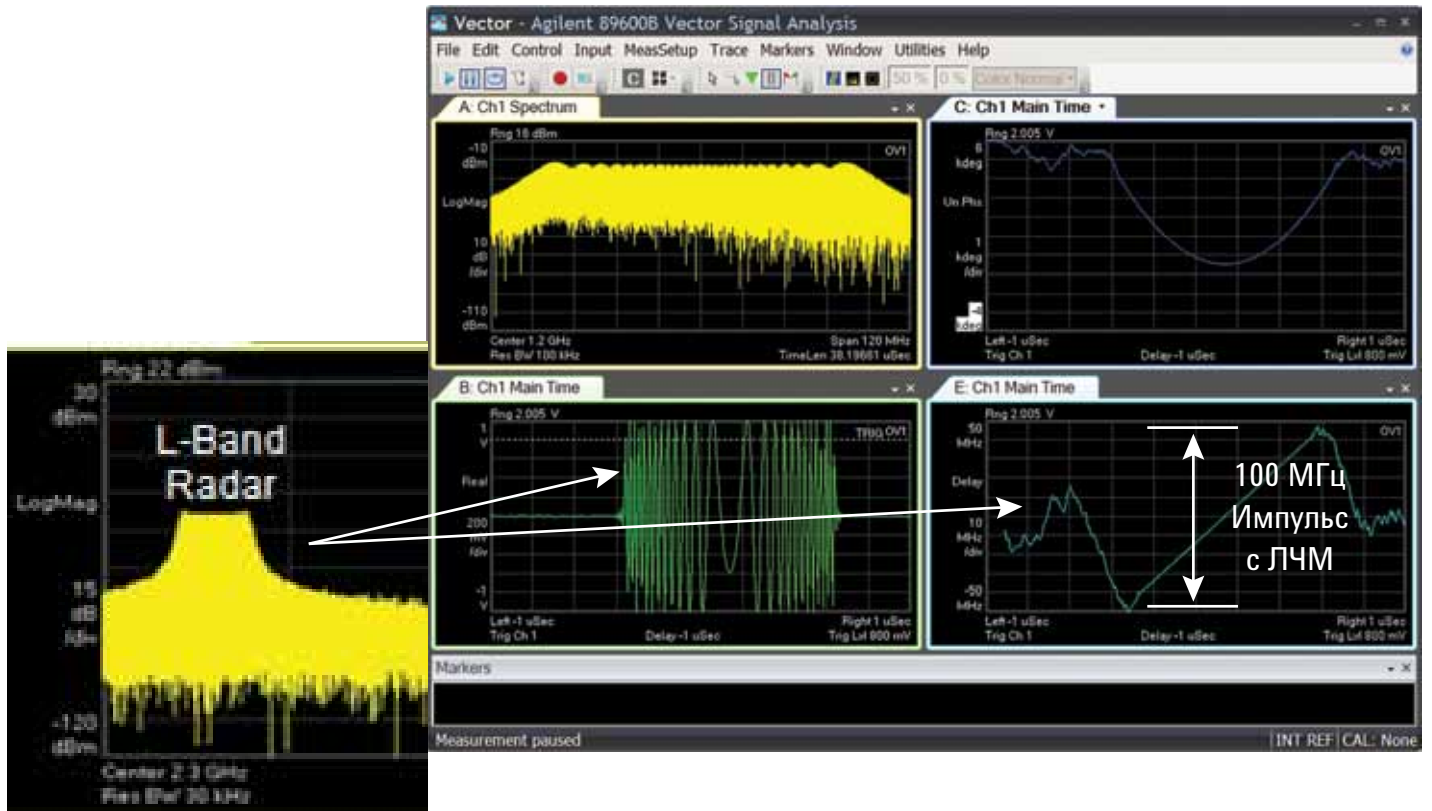


Рис. 7. Увеличенный участок спектра сигнала РЛС S-диапазона.

## РЕЗУЛЬТАТЫ, ЧАСТЬ 2: создание РЭО с несколькими ИРИ с использованием моделей и реальных захваченных сигналов

В современной РЭО может присутствовать множество потенциальных источников помех – сигналы беспроводного оборудования и военных радиотехнических средств, РЛС, систем РЭБ. Захват, сохранение и воспроизведение спектров этих помеховых сигналов значительно увеличивает гибкость тестирования.

Из этих захваченных сигналов можно формировать смешанные сигналы РЛС и беспроводной связи для оценки работы тестируемого устройства в различных сценариях, в том числе для самых неблагоприятных случаев.

Преимущества:

- Генерация реалистичных тестовых сигналов РЛС и беспроводной связи с минимальными затратами благодаря использованию решения на основе готовых компонентов.
- Реализация «опасных» и «угрожающих» помеховых сценариев с помощью комбинирования записей реальных сигналов и моделей сигналов радиолокационных и коммуникационных передатчиков.
- Уменьшение количества приборов в стойке за счет использования высокоточного широкополосного генератора сигналов произвольной формы для преобразования моделей в реалистичные тестовые сигналы.

мные средства – дигитайзер M9703A и ПО VSA 89600. Для захвата и запоминания реальных широкополосных сигналов с широким спектром можно использовать ВЧ понижающий преобразователь или анализатор PXA, работающий в режиме понижающего преобразования в широкой полосе частот.

Один дигитайзер с фазово-когерентными каналами M9703A может одновременно оцифровывать до 8 сигналов ПЧ. Далее оцифрованные сигналы распознаются и анализируются с помощью ПО 89600 VSA. С помощью ПО SystemVue записанные сигналы объединяются с сигналами других коммуникационных и радиолокационных передатчиков и загружаются в генератор M8190A для формирования тестовых сигналов с несколькими ИРИ.

Для многоканального захвата сигналов Agilent предлагает аппаратные и програм-

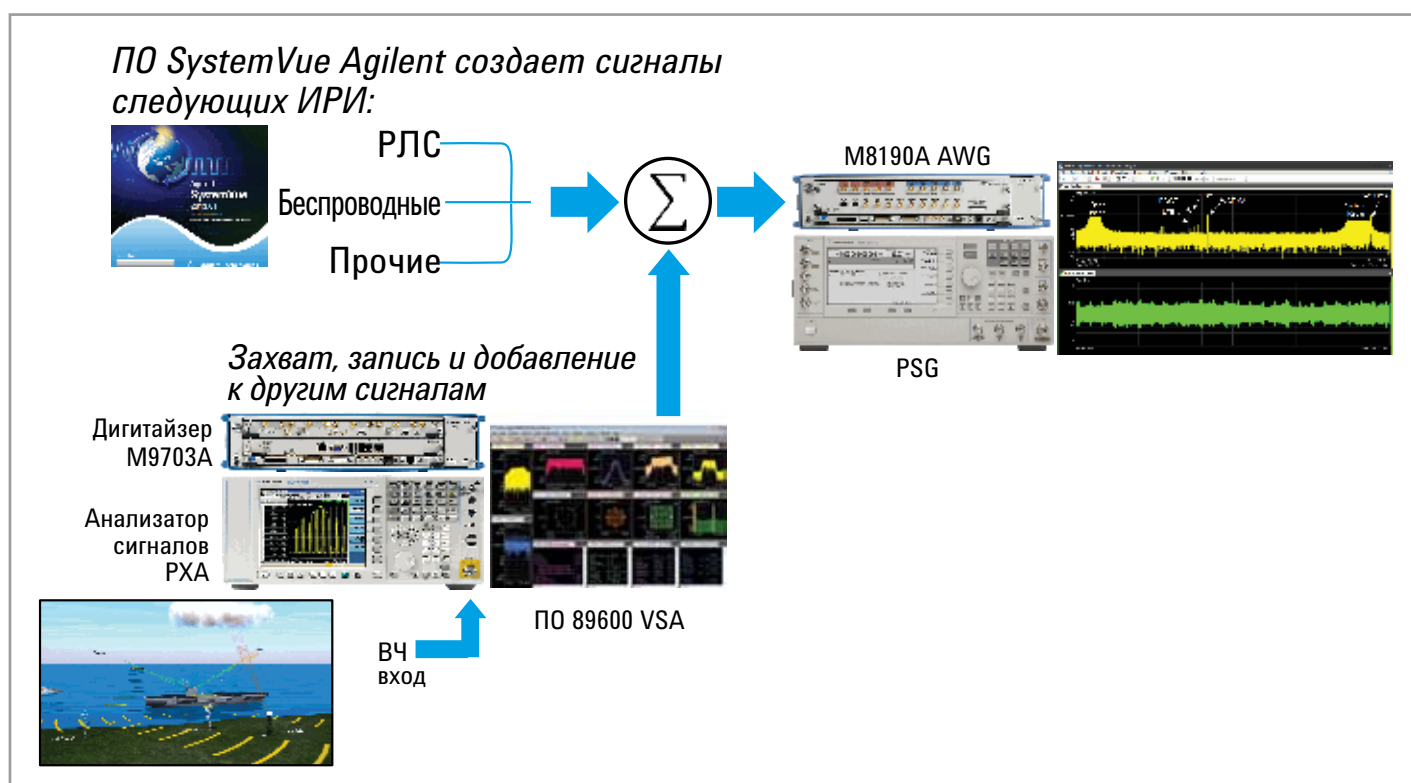


Рис. 8. Создание сигналов нескольких ИРИ с использованием дигитайзера, ПО моделирования и генератора сигналов произвольной формы высшего класса.



ПЛИС дигитайзера M9703A имеет опцию цифрового понижающего преобразователя (DDC) реального времени, что позволяет настраиваться на анализируемый сигнал и масштабировать его. DDC расширяет динамический диапазон, уменьшает минимальный уровень шума и увеличивает длительность захвата при измерении с увеличенной скоростью. DDC можно использовать с ПО 89600 VSA для расширенного анализа результатов измерений.

Дополнительная опция для захвата сигналов использует широкополосный цифровой осциллограф реального времени, такой как Agilent Infiniium серии Q, для непосредственной оцифровки сигнала до частоты 62 ГГц в целях анализа с помощью ПО 89600 VSA.

На рис. 9 показаны пять сигналов ПЧ, захваченных и оцифрованных с помощью дигитайзера M9703A при использовании анализатора PXA в качестве широкополосного

понижающего преобразователя. Сигнал PLS с центральной частотой 1,85 ГГц показан слева сверху, сигнал LTE с центральной частотой 1,95 ГГц – снизу сверху, сигнал EDGE с центральной частотой 1,97 ГГц – посередине сверху, сигнал W-CDMA с центральной частотой 1,98 ГГц – посередине снизу, специальный сигнал OFDM с центральной частотой 1,9 ГГц – справа сверху.

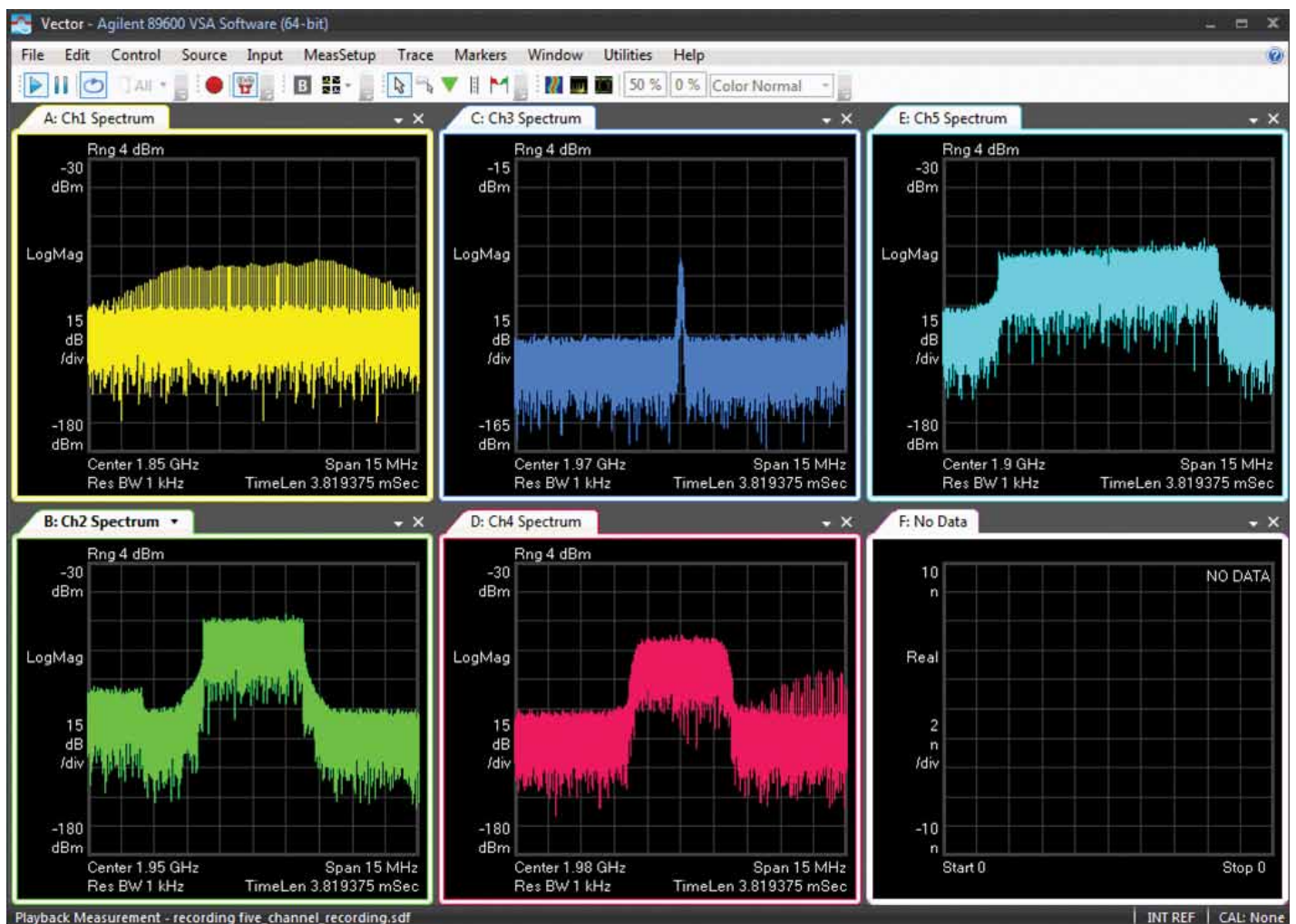


Рис. 9. Пятиканальный сигнал ПЧ, захваченный с помощью дигитайзера M9703A.

На рис. 10 показаны результаты одно-временного анализа всех оцифрованных каналов, выполненного ПО 89600 VSA с помощью дигитайзера M9703A и цифрового понижающего преобразователя. Сигнал РЛС – крайний слева, за ним по направлению вправо следуют демодулированные сигналы LTE, EDGE, специальный OFDM и W-CDMA.

Каждый канал из записанного файла .sdf считывается в САПР SystemVue с помощью ПО 89600 VSA. Записанные сигналы повторно дискретизируются и объединяются в один сигнал, который загружается в виде сигнала ПЧ в канал 1 генератора M8190A.

Дополнительные сигналы РЛС и W-CDMA повторно дискретизируются и объединяются в один сигнал, который в качестве сигнала ПЧ загружается в канал 2 генератора M8190A.

На рис. 11 показаны каналы 1 и 2 генератора M8190A, объединенные для создания сложного тестового сигнала, состоящего из записанных сигналов и смоделированных сигналов дополнительных ИРИ, добавленных с помощью ПО SystemVue. На рис. 11 также показан результирующий спектр, измеренный анализатором РХА.

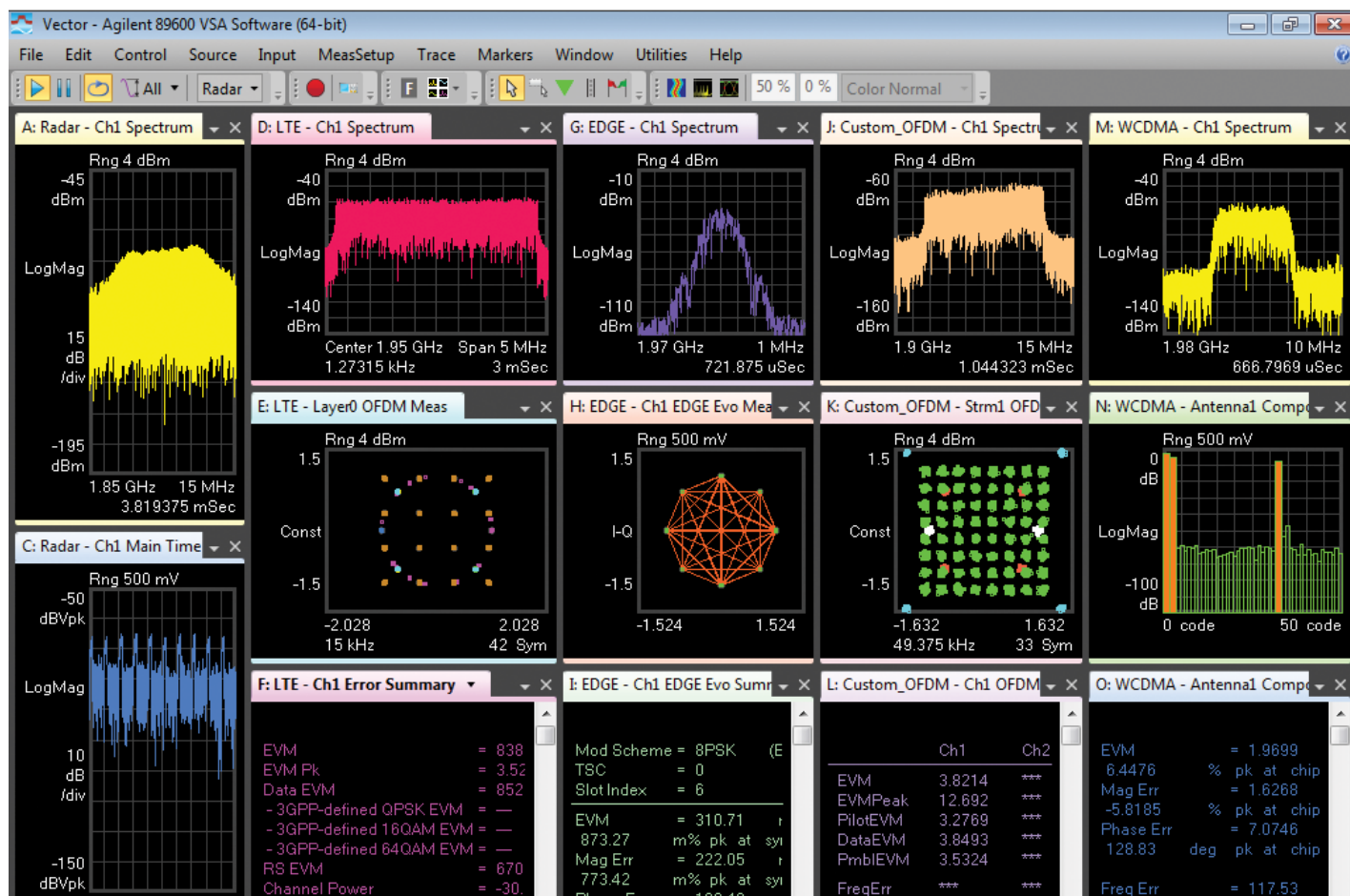


Рис. 10. Одновременная демодуляция пяти сигналов на разных частотах с использованием ПО 89600 VSA, дигитайзера M9703A и цифрового понижающего преобразователя.

## M8190A AWG

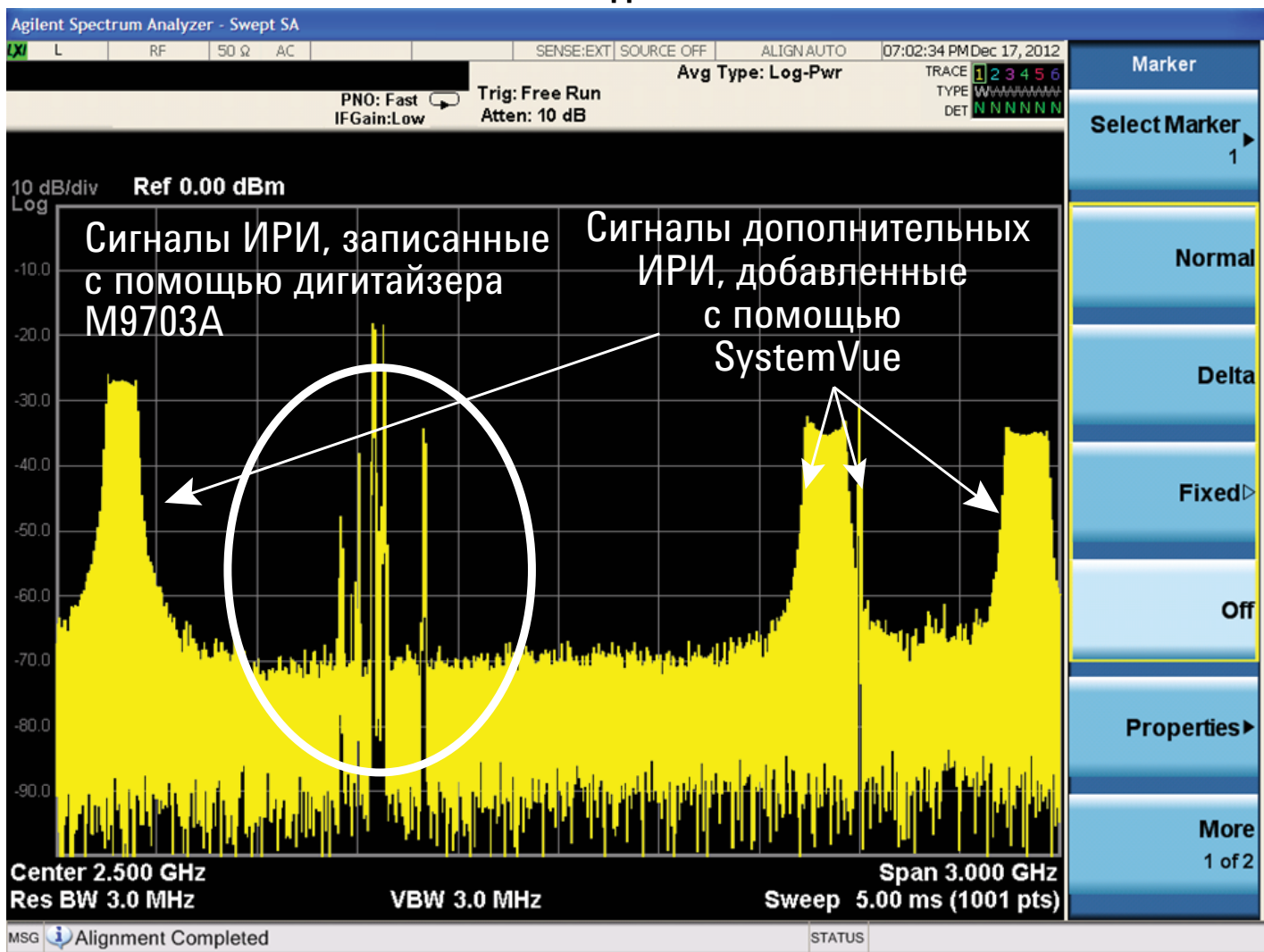


Рис. 11. Объединение сигналов каналов 1 и 2 в генераторе M8190A для получения сложного тестового сигнала.

# ВЫВОДЫ

---

Современные системы работают в сложной РЭО, где имеется множество источников ВЧ и СВЧ радиоизлучений. Такую РЭО могут формировать разнообразные ИРИ, включая передатчики РЛС и системы беспроводной связи, а также другие потенциальные источники помех. Тестирование с использованием разных сигнальных сценариев позволяет определять характеристики системы при наличии потенциальных помех. Одновременная работа РЛС и систем беспроводной связи может вызвать большие проблемы.

Для реалистичной имитации РЭО при тестировании оборудования очень полезно воспроизводить захваченные ранее реальные сигналы. Кроме того, спектры реальных захваченных сигналов можно дополнять смоделированными сигналами для лабораторного тестирования с различными сигнальными сценариями.

Компания Agilent предлагает решение на основе готовых компонентов для создания сложных тестовых сигналов нескольких ИРИ с помощью САПР системного уровня, широкополосного генератора сигналов произвольной формы и векторного генератора сигналов с широкополосными входами I/Q. Используемая Agilent технология моделирования с повторной дискретизацией с вместе новейшими генераторами произвольной формы повышает точность и упрощает формирование широкополосных сигналов нескольких ИРИ. Гибкость этого подхода позволяет подробно анализировать взаимовлияние ИРИ, используя одно и то же тестовое оборудование.

Решение, построенное на базе имеющихся в свободной продаже компонентов, отличается высокой экономической эффективностью. Гибкость и функциональные возможности этого решения позволяют учитывать изменения условий, реальных спектров и требований к сигнальным сценариям. Преимущества данного решения:

- Генерация реалистичных тестовых сигналов РЛС и беспроводной связи с минимальными затратами благодаря использованию решения на основе готовых компонентов.
- Решение вопросов, связанных со сценариями сигналов, с использованием гибкой комбинации захваченных записей и смоделированных сигналов передатчиков РЛС и систем связи.
- Уменьшение количества приборов в стойке за счет использования высокоточного широкополосного генератора сигналов произвольной формы для преобразования моделей в реалистичные тестовые сигналы.
- Гибкость тестирования от уровня компонента до уровня системы.

Даже при работе не в режиме реального времени гибкость, обеспечиваемая объединением возможностей САПР и решения на основе готовых компонентов, позволяет эффективно создавать сигнальные сценарии с несколькими ИРИ для широкополосного контрольно-измерительного оборудования. Благодаря ограниченному набору измерительных приборов, это решение обеспечивает высокую экономическую эффективность для современных и будущих приложений тестирования с помощью сложных спектров.

- Технический обзор, *САПР SystemVue 2012 от Agilent EEsof EDA*, документ 5990-4731EN  
Примечание. В этом техническом обзоре содержится информация о различных библиотеках сигналов, включая сигналы РЛС (W1905), LTE (W1912), WLAN (W1917) и LTE-Advanced (W1918)
- Описание продукта, *ПО 89600 VSA*, документ 5990-6553EN
- Техническое описание, *Генератор сигналов произвольной формы M8190A*, документ 5990-7516EN
- Техническое описание, *Векторный генератор сигналов E8267D*, документ 5989-0697EN
- Описание изделия, *Генераторы сигналов PSG*, документ 5989-1324EN
- Техническое описание, *Осциллографы Infiniium 90000 серии Q*, документ 5990-9712EN
- Техническое описание, *Осциллографы Infiniium 90000 серии X*, документ 5990-5271EN
- Описание изделия, *Анализатор сигналов N9030A PXA серии X*, документ 5990-3951EN
- Описание изделия, *Анализатор сигналов серии X*, документ 5990-7998EN



**myAgilent**  
**[www.agilent.com/find/myagilent](http://www.agilent.com/find/myagilent)**

Персонализированное представление интересующей вас информации.



**Трехлетняя гарантия**  
**[www.agilent.com/find/ThreeYearWarranty](http://www.agilent.com/find/ThreeYearWarranty)**

Сочетание надежности приборов Agilent с трехлетней гарантией поможет вам в достижении ваших целей: повысит уверенность в безотказной работе, сократит эксплуатационные расходы и предоставит дополнительные удобства.

**Торговые партнеры компании Agilent**  
**[www.agilent.com/find/channelpartners](http://www.agilent.com/find/channelpartners)**

Получите двойную выгоду: богатый опыт и широкий выбор продуктов Agilent в сочетании с удобствами, предлагаемыми торговыми партнерами.

**Российское отделение**  
**Agilent 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@agilent.com](mailto:tmo_russia@agilent.com)

[www.agilent.ru](http://www.agilent.ru)

**Сервисный Центр**  
**Agilent Technologies в России**

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

Тел.: +7 (495) 7973930

Факс: +7 (495) 7973901

e-mail: [russia.ssu@agilent.com](mailto:russia.ssu@agilent.com)

Технические характеристики и описания продуктов могут изменяться без предварительного уведомления.

© Agilent Technologies, Inc. 2013  
Напечатано в России, 2 мая 2013 г.  
5991-2302RURU



**Agilent Technologies**