Генерация векторных сигналов сверхвысоких частот
Указание по применению

Изделия:
R&S®SMF100A
R&S®AFQ100A
R&S®SMBV100A

Векторные сигналы сверхвысоких частот легко могут быть получены прямым преобразованием с повышением частоты модулирующих I/Q сигналов. Гибкое и экономичное решение состоит из генератора сигналов СВЧ диапазона R&S®SMF100A, объединенного с генератором модулирующих сигналов (например, R&S®AFQ100A) и внешним I/Q смесителем. В настоящем указании по применению изложены методы преобразования сигналов с повышением частоты.
Указание по применению

С Тростер (C. Troster) 04.2009г.-1 GP76_0E

Содержание

1 Замечание

В настоящем указании по применению для измерительного оборудования компании Rohde & Schwarz используются следующие сокращения:

- SMF — генератор сигналов СВЧ диапазона R&S®SMF100A
- AFQ — генератор модулирующих сигналов R&S®AFQ100A
- SMBV — векторный генератор сигналов R&S®SMBV100A

Другие изделия и названия компаний, упомянутые в настоящей публикации, являются товарными знаками или торговыми марками соответствующих компаний.

2 Обзор

Векторная модуляция становится все более распространенной в технике сверхвысоких частот и смежных отраслях. Однако непосредственная генерация сигналов с цифровой модуляцией в СВЧ диапазоне труднореализуема и требует больших затрат. Удобной альтернативой для генерации I/Q модулированных сигналов СВЧ диапазона служит прямое преобразование с повышением частоты модулирующих I/Q сигналов. В настоящем указании по применению изложены способы такого преобразования с повышением частоты при помощи генератора сигналов СВЧ диапазона R&S®SMF100A и внешнего I/Q смесителя.

3 I/Q смеситель — принцип работы

Подробную информацию об основных принципах работы смесителя можно найти в отдельном указании по применению компании Rohde & Schwarz [1]. В этом разделе кратко описывается частный пример I/Q смесителей. На рис. 1 изображена структурная схема I/Q смесителя для использования в качестве преобразователя с повышением частоты (I/Q модулятора).

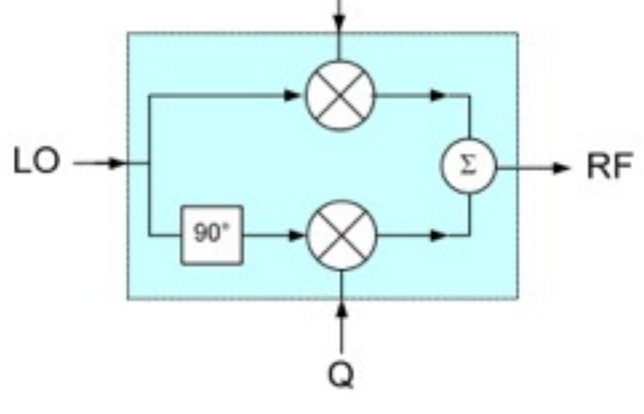


Рис. 1. Входные и выходные сигналы I/O смесителя, используемого в качестве преобразователя с повышением частоты.

I/Q модулятор требует трех входных сигналов — опорного гетеродина LO, сигналов I и Q — и имеет один выход радиочастоты РЧ. Несущая LO модулируется сигналами I и Q, затем сигналы складываются вместе и образуют модулированный сигнал РЧ.

I/Q смесители обеспечивают хорошее подавление несущей LO и паразитной боковой полосы, образующейся при смешении сигналов. Как и в обычных смесителях, частота сигнала РЧ равна сумме частоты LO и промежуточной частоты ПЧ (то есть частоты I/Q сигналов). Если используется сдвиг частоты модулирующих сигналов, в спектре РЧ присутствует полезный сигнал со сдвигом относительно остаточного пика сигнала LO и сильно подавленный сигнал боковой полосы на зеркальной частоте. В обычном случае, при нулевом сдвиге частоты модулирующих сигналов в спектре РЧ присутствует только один пик на частоте LO/РЧ, поскольку полезный сигнал, подавленный сигнал LO и сигнал боковой полосы перекрываются.

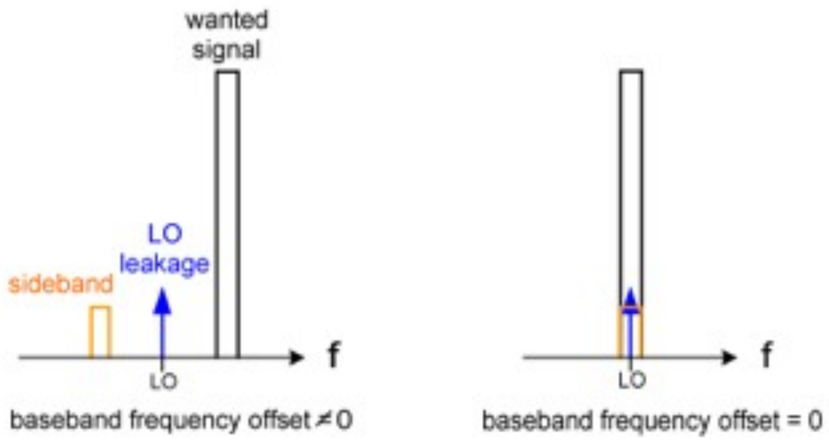


Таблица соответствия надписей на рисунке	
Оригинал	Перевод
wanted signal	полезный сигнал
LO leakage	остаточный сигнал LO
sideband	боковая полоса
baseband frequency offset	сдвиг частоты модулирующих сигналов

Рис. 2. Спектр РЧ I/Q смесителя со сдвигом частоты модулирующих сигналов (то есть ПЧ) и без него.

4 I/Q смеситель и обычный смеситель

4.1 I/Q смеситель

Главным преимуществом I/Q смесителей является то, что они подавляют паразитный сигнал боковой полосы, это означает, что смесители работают как смесители с одной боковой полосой (SSB смесители). Поэтому не требуется дополнительной фильтрации сигнала РЧ, так как несущая LO и боковая полоса сильно подавляются самим смесителем, обычно на 30-40 дБ, в зависимости от частотного диапазона РЧ. Это очень полезное свойство, поскольку для определенных задач фильтрация может оказаться непростой задачей (особенно, когда радиочастота изменяется в широком диапазоне). Кроме того, I/Q смесители работают непосредственно с модулирующими сигналами. Следовательно, нет необходимости в генераторе векторных сигналов, достаточно генератора модулирующих сигналов для формирования входных I/Q сигналов.

4.2 Обычный смеситель

В то время как в штатном режиме I/Q смесителей полезный сигнал перекрывается с несущей LO и сигналом боковой полосы, при работе обычных смесителей сигнал полезной боковой полосы смещен по частоте от этих составляющих. Это позволяет получить лучшие параметры вектора ошибки EVM, поскольку паразитные сигналы не создают помех полезному сигналу.

5 Экспериментальная установка и контрольные измерения

5.1 Экспериментальная установка

Векторно-модулированный сигнал СВЧ диапазона может быть легко сформирован при помощи I/Q смесителя и генераторов сигналов Rohde & Schwarz. Генератор сигналов СВЧ диапазона R&S®SMF100A — великолепный источник несущей LO, который генерирует сигналы радиочастот до 43,5 ГГц с превосходной спектральной чистотой и высокой выходной мощностью. I/Q сигналы формируются либо генератором модулирующих сигналов (например, R&S®AFQ100A), либо векторным генератором сигналов (например, R&S®SMBV100A). Получающийся на выходе I/Q смесителя сигнал РЧ является векторно-модулированным сигналом в СВЧ диапазоне. Качество сигнала РЧ определяется характеристиками смесителя и чистотой сигнала LO. На рис. 3 изображена возможная схема включения.

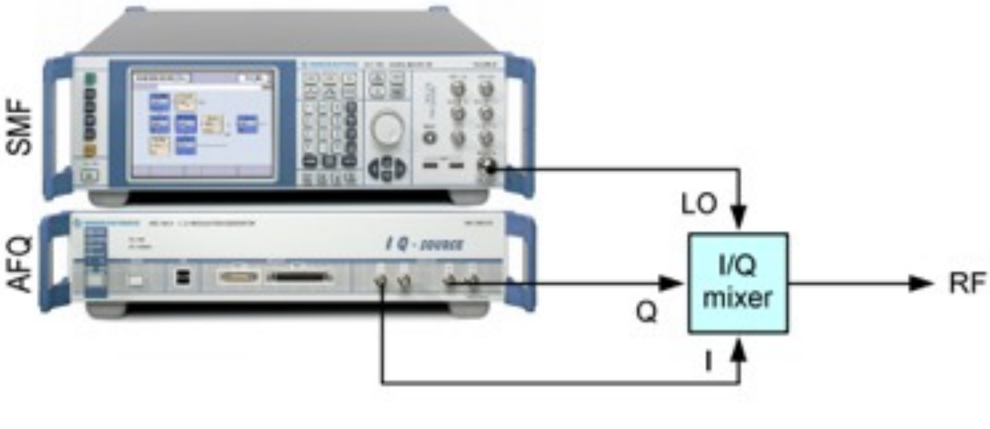


Рис. 3. Пример экспериментальной установки для генерации векторно-модулированных сигналов частотой до 43,5 ГГц при помощи двух генераторов сигналов Rohde & Schwarz и I/Q смесителя.

Генератор SMF обеспечивает максимальную мощность сигнала от +25 дБмВт (на частоте 10 ГГц) до +14 дБмВт (на частоте 40 ГГц), которая вполне достаточна в качестве сигнала LO для I/Q смесителя. Следует подчеркнуть, что I/Q смесители требуют высокой входной мощности сигнала LO, обычно около 15 дБмВт. Генератор AFQ способен формировать I/Q сигналы с регулируемым уровнем мощности до 10,5 дБмВт (750 мВ на нагрузке 50 Ом). Вместо генератора AFQ можно использовать, например, генераторы R&S®AMU200A или R&S®SMBV100A. В этой экспериментальной установке мы использовали внешний I/Q смеситель со следующими характеристиками (типовые значения, взятые из [2]):

Технические данные смесителя		
Входные параметры	Мощность опорного генератора LO	15-19 дБмВт
	Диапазон частот LO	22 - 32 ГГц
	Диапазон частот сигнала ПЧ или I/Q сигналов	DC - 4,5 ГГц
Выходные параметры	Диапазон частот сигнала РЧ	22 - 32 ГГц
Технические характеристики	Потери преобразования	10 дБ
	Подавление несущей	40 дБ
	Подавление боковой полосы	20 дБ
	Точка компрессии 1 дБ	16 дБмВт
	Коэффициент развязки сигналов LO и РЧ	40 дБ
	Коэффициент развязки сигналов LO и ПЧ	30 дБ
	Точка пересечения по уровню входного сигнала	20 дБмВт
Прочее	Тип разъема	SMA
	Производитель	Hittite

5.2 Контрольные измерения

5.2.1 Вход

Для контрольных измерений был выбран простой модулирующий сигнал с цифровой модуляцией 16QAM и символьной скоростью 4 Мсим/с. Частота несущей LO выбрана 22 ГГц (незатухающая волна). В таблице приведены основные входные параметры контрольных измерений:

Входные параметры		
R&S®SMF100A	Мощность сигнала LO	17 дБмВт
	Частота сигнала LO	22 ГГц
R&S®AFQ100A	Мощность сигналов ПЧ или I/Q	0 дБмВт
	Частота сигналов ПЧ или I/Q	DC (0 Гц)
	Полоса сигналов ПЧ или I/Q	4 МГц
	Модуляция	16QAM, 4 Мсим/с

На рис. 4 показан входной сигнал LO (R&S®SMF100A), показывающий великолепную спектральную чистоту.

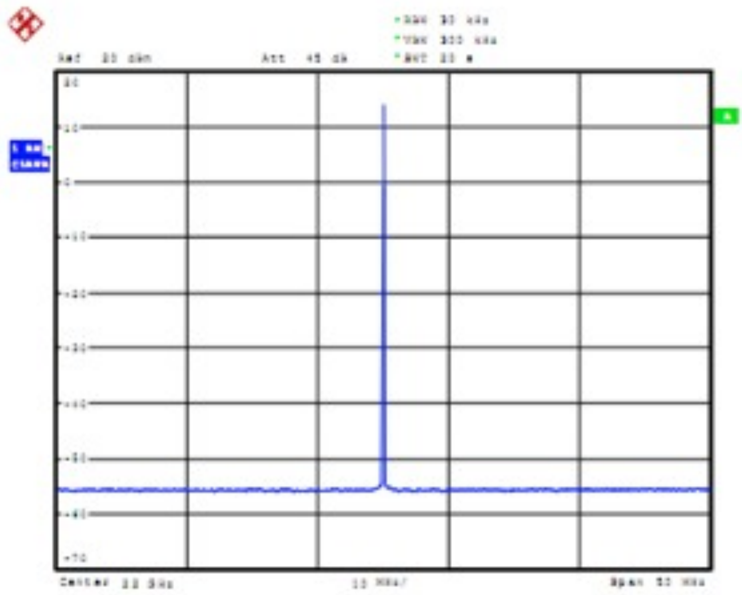


Рис. 4. Частотный спектр входного сигнала LO частотой 22 ГГц.

5.2.2 Выход

Спектр

Спектр выходного сигнала РЧ показан на рис. 5. На рисунке показан результирующий I/Q-модулированный СВЧ сигнал частотой 22 ГГц. Измеренная мощность сигнала составляет -11,2 дБмВт. Вследствие потерь в кабелях и потерь преобразования смесителя мощность сигнала снизилась на 11,2 дБ по сравнению с входной мощностью сигнала ПЧ, равной 0 дБ.

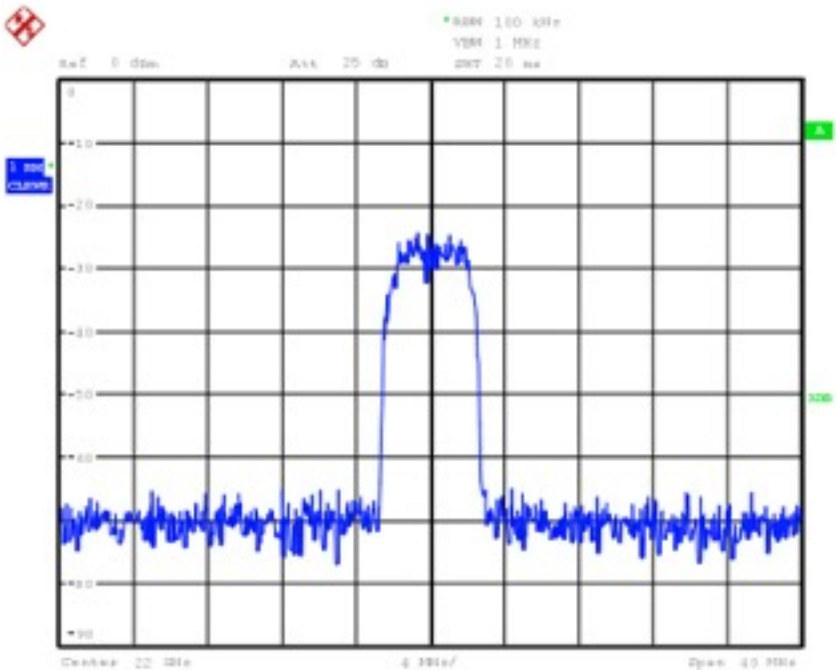


Рис. 5. Частотный спектр векторно-модулированного СВЧ сигнала частотой 22 ГГц. Мощность сигнала -11 дБмВт.

Величина вектора ошибки EVM

Несущая LO и боковая полоса подавляются, тем не менее, они перекрываются с полезным модулированным сигналом и, следовательно, создают помехи. Одним из способов количественной оценки качества модуляции служит измерение величины вектора ошибки (EVM). Вектор ошибки — это вектор между точкой идеального сигнального созвездия на плоскости I/Q и реально получаемой точкой. Его длина (или величина), определенная как евклидово расстояние между этими двумя точками, и есть величина вектора ошибки EVM. Эта величина служит мерой точности модуляции. На рис. 6 показаны измерения EVM, выполненные при помощи анализатора спектра.

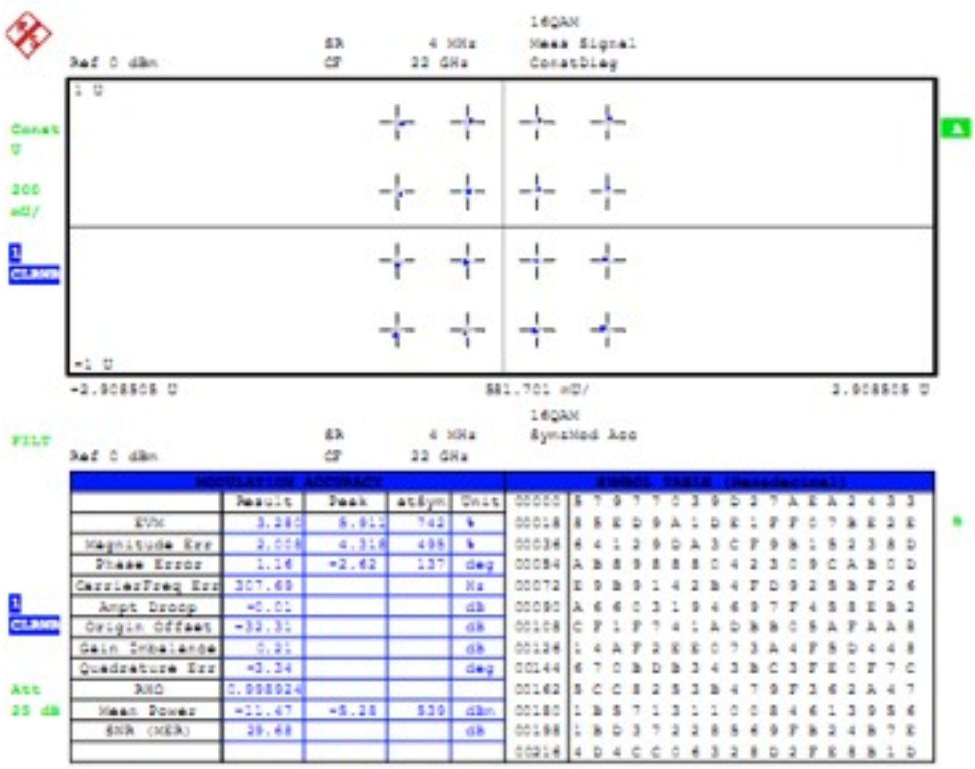


Рис. 6. Измерения EVM векторно-модулированного СВЧ сигнала.

Измеренное значение EVM векторно-модулированного сигнала составляет 3,3%. Измеренное значение EVM является следствием помех, вызванных остаточной величиной несущей LO и паразитной боковой полосой. Чем лучше подавление несущей и боковой полосы I/Q смесителя, тем меньше значение EVM. Вообще говоря, чем выше рабочий диапазон РЧ смесителя, тем хуже он подавляет боковую полосу. В разделе 6.2 описаны способы существенного улучшения результатов по EVM.

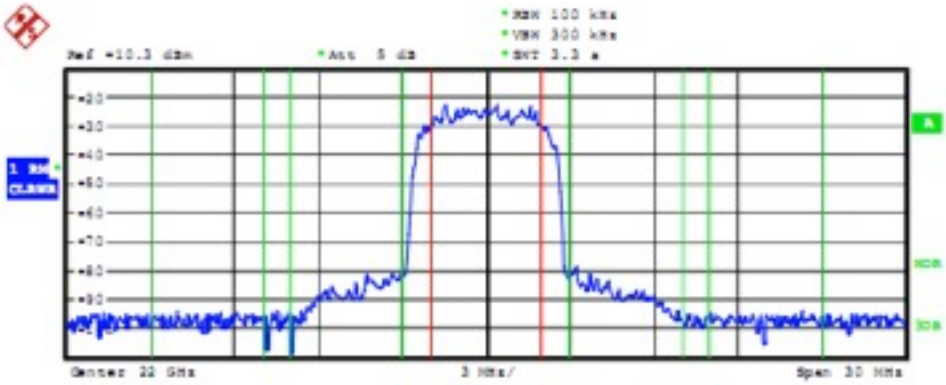
Замечание: Если сигнал ПЧ имеет некоторую частоту (то есть отличную от нуля частоту сигналов ПЧ или I/Q), полезный сигнал будет сдвинут по частоте от паразитных сигналов, как и в случае обычных смесителей. Благодаря этому результаты по EVM улучшаются. Для описанной экспериментальной установки с отличной от нуля ПЧ (например, 10 МГц) величина EVM для полезной полосы составляет только 0,6 %. Для сравнения, измеренная величина EVM модулирующих сигналов I и Q составляет 0,25% (без повышающего преобразования в РЧ). В приведенной ниже таблице обобщены различные результаты.

Результаты измерений EVM						
	Модулирующие сигналы I/Q		I/Q смеситель		I/Q смеситель со сдвигом частоты	
Диаграмма сигнального созвездия						

EVM	0,25 %	3,3 %	0,6 %

Коэффициент утечки мощности в соседний канал ACLR

На рис. 7 показаны результаты измерений коэффициента утечки мощности в соседний канал ACLR. Результат ACLR для соседнего канала — -60 дБ, то есть низкий, но все же заметный.



Канал Tx			
Полоса	4 МГц	Мощность	-10,50 дБмВт
Соседний канал		Нижнее значение	-60,77 дБ
Полоса	4 МГц		
Расстояние	5 МГц	Верхнее значение	-60,78 дБ
Побочный канал		Нижнее значение	-71,29 дБ
Полоса	4 МГц		
Расстояние	10 МГц	Верхнее значение	-71,35 дБ

Рис. 7. Измерения ACLR векторно-модулированного СВЧ сигнала.

6 Дополнительные измерения

6.1 Сдвиг частоты модулирующего сигнала

Обычно используются I/Q сигналы без сдвига модулирующей частоты. В том случае, если сдвиг модулирующей частоты не равен нулю, спектр будет выглядеть подобно изображенному ниже (рис. 8). Здесь модулирующий сигнал 16QAM (с шириной полосы 1 МГц) имеет сдвиг частоты +20 MHz. В спектре имеется полезная полоса, остаточный пик LO, подавленная (нижняя) полоса и некоторые дополнительные составляющие, возникшие в результате смешения. Полезный сигнал находится на частоте $f_{LO}+f_{ПЧ}$. то есть находится со сдвигом частоты +20 МГц по отношению к остаточному пику LO на частоте 22 ГГц. Паразитная боковая полоса на частоте f_{LO}-$f_{ПЧ}$ подавлена, и уровень ее мощности уменьшен на 30 дБ. Оставшиеся пики в спектре соответствуют составляющим смешения на комбинационных частотах f_{LO}-3$f_{ПЧ}$, f_{LO}-2$f_{ПЧ}$, f_{LO}+2$f_{ПЧ}$, f_{LO}+3$f_{ПЧ}$ и f_{LO}+5$f_{ПЧ}$, соответственно. Вообще говоря, использование отличной от нуля ПЧ может применяться для анализа подавления боковой полосы и несущей LO I/Q смесителем.

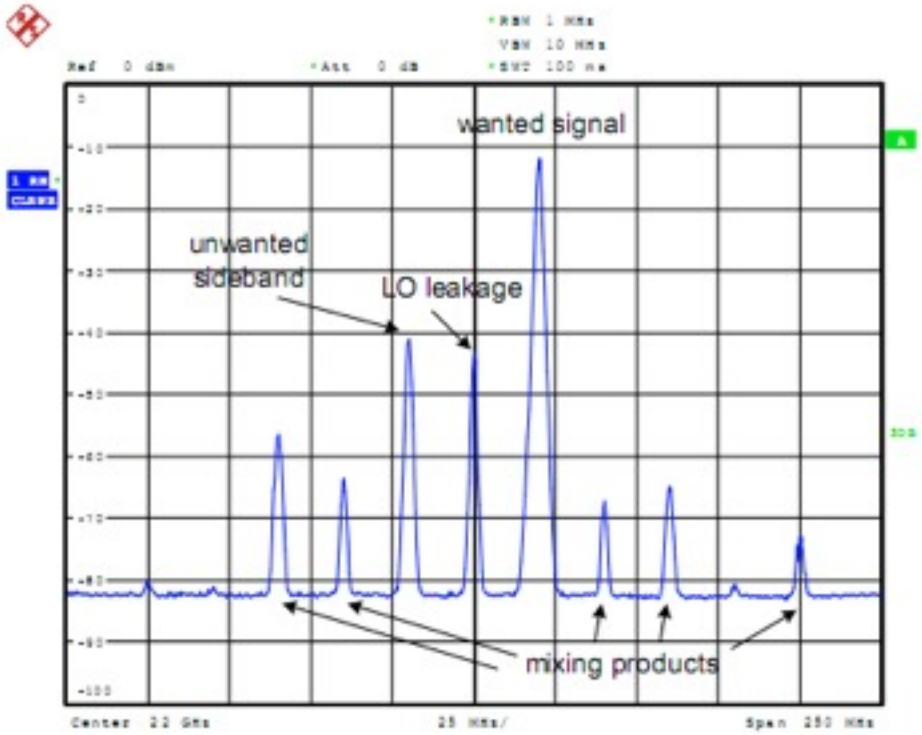


Рис. 8. Частотный спектр РЧ преобразованного с повышением частоты I/Q сигнала (16QAM) со сдвигом частоты 20 МГц.

6.2 Способы уменьшения EVM

Использование I/Q смесителей с модулирующими сигналами DC (то есть с нулевой ПЧ) приводит к ухудшению результатов по EVM, поскольку паразитные сигналы оказывают помехи на полезный сигнал. Однако результаты по EVM могут быть улучшены посредством:

- компенсации фазовых рассогласований I/Q сигналов,
- компенсации рассогласований усиления I/Q сигналов,
- изменения мощности LO

Подавление паразитной боковой полосы может быть улучшено компенсацией возможных фазовых рассогласований I/Q сигналов при помощи генератора AFQ. Этот прибор позволяет добавлять в модулирующие сигналы разницу фаз I/Q. Для демонстрации использовался такой же тестовой сигнал, как и в разделе 6.1. На рис. 9а показаны верхняя и нижняя боковые полосы исходного сигнала, а на рис. 9b — боковые полосы того же сигнала, но с введенной разницей фаз. В этом примере наилучшее подавление паразитной боковой полосы достигается при разнице фаз -4.0 град. Мощность сигнала паразитной боковой полосы уменьшается с -39,9 дБмВт до -51,4 дБмВт. Таким образом, подавление паразитной боковой полосы улучшается на 11,5 дБ.

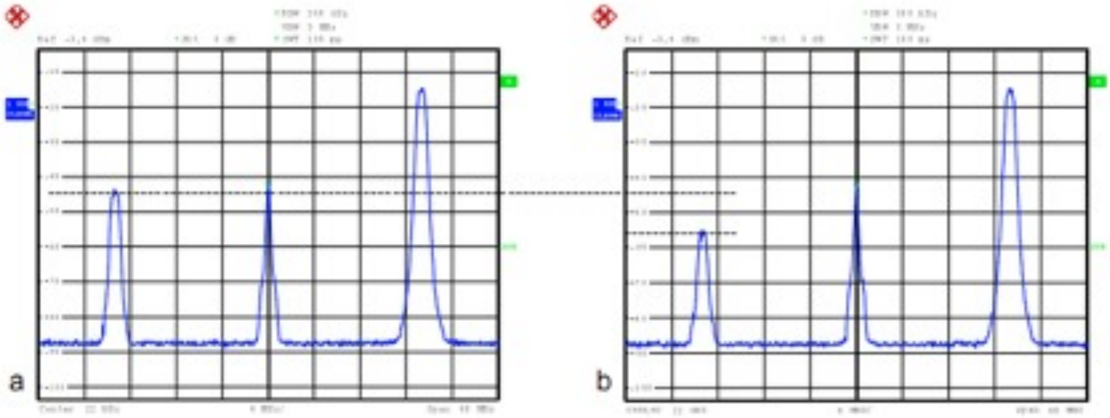


Рис. 9. Частотный спектр РЧ, показывающий подавление паразитной боковой полосы исходного сигнала ПЧ (a) и сигнала ПЧ с введенной разницей фаз I/Q (b).

Подходящую разницу фаз I/Q сигналов легко определить, изменяя введенную разницу фаз и наблюдая эффект подавления боковой полосы. Таким способом можно последовательными приближениями достичь наибольшего подавления. Разница фаз устанавливается в блоке предыскажений генератора AFQ:

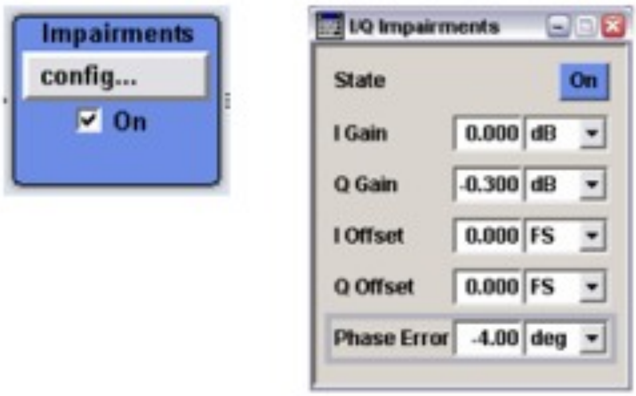


Рис. 10. Блок предыскажений I/Q сигналов и меню настройки предыскажений генератора AFQ.

Подавление паразитной боковой полосы может быть еще более улучшено компенсацией возможных рассогласований усиления I/Q сигналов. Подходящую разницу усиления I/Q сигналов можно задать в блоке предыскажений генератора AFQ (рис. 10). В этом примере наилучшее подавление боковой полосы достигается при разнице усиления -0,3 дБ. Мощность сигнала паразитной боковой полосы уменьшается от -51,4 дБмВт до -63,7 дБмВт. Таким образом, внутреннее подавление паразитной боковой полосы смесителем в сумме улучшается на 23,8 дБ (рис. 11).

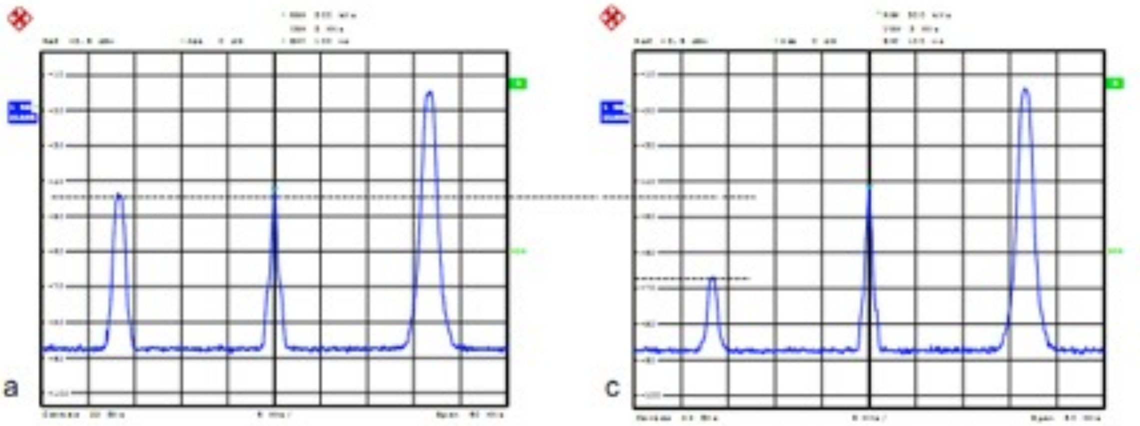


Рис. 11. Частотный спектр РЧ, показывающий подавление паразитной боковой полосы исходного сигнала ПЧ (a) и сигнала ПЧ с введенной разницей фаз и усиления I/Q сигналов (c).

Изменение мощности сигнала LO также может положительно повлиять на результаты EVM. В этом примере увеличение мощности сигнала LO выше уровня 17 дБмВт несколько ухудшает результат по EVM, в то время как снижение уровня сигнала LO приводит к заметному улучшению.

Далее проводится сравнение нескольких измерений EVM, выполненных с тестовым сигналом 16QAM (ширина полосы 1 МГц). Прежде всего, был проанализирован EVM чистых модулирующих I/Q сигналов. Измеренное значение EVM составляет всего 0,27%. На следующем этапе модулирующие сигналы генератора AFQ были преобразованы с повышением частоты при помощи I/Q смесителя. Кроме того, был введен сдвиг частоты модулирующих сигналов на 20 МГц (то есть ПЧ 20 МГц). Измеренное значение EVM полезного сигнала составило 0,45% на частоте 22,02 ГГц. Для того чтобы проанализировать влияние паразитных сигналов на EVM, был убран сдвиг частоты (то есть установлена нулевая ПЧ). В результате значение EVM для полезного сигнала на частоте 22,00 МГц увеличилось до 4,6%. Этот результат можно существенно улучшить, введя в модулирующие I/Q сигналы предыскажения фазы и усиления, чтобы компенсировать измеренные рассогласования I/Q сигналов (рис. 12).

MODULATION ACCURACY

	Result	Peak	atSym	Unit
EVM	4.611	7.490	101	%
Magnitude Err	2.799	5.032	389	%
Phase Error	1.67	3.30	203	deg
CarrierFreq Err	294.09			Hz
Ampt Droop	0.01			dB
Origin Offset	-30.43			dB
Gain Imbalance	0.39			dB
Quadrature Err	-4.53			deg
RHO	0.997874			
Mean Power	-10.59	-4.83	445	dBm
SNR (MER)	26.72			dB

Рис. 12. Измеренное значение EVM для преобразованного с повышением частоты тестового сигнала 16QAM. Измеренные значения рассогласования I/Q сигналов выделены рамкой.

Введение подходящей разницы фаз (-4,0 град.) дает для модулированного СВЧ сигнала значение EVM, равное 2,0%. Кроме того, введение подходящей разницы усиления (-0,39 dB) приводит к значению EVM, равному 0,6%. Наконец, уменьшение мощности сигнала LO на 0,7 дБ, то есть от 17 дБмВт до 16,3 дБмВт приводит к значению EVM, равному всего 0,5 %. В приведенной ниже таблице обобщены измеренные значения EVM.

Результаты измерений EVM					
EVM	Сигнал	Значение ПЧ	Мощность сигнала LO	Сдвиг фазы	Разница усиления
0.27 %	Модулирующие I/Q	0 МГц	__	0 град.	0 дБ
0.45 %	РЧ со сдвигом частоты	20 МГц	17 дБмВт	0 град.	0 дБ
4.6 %	Стандартная РЧ	0 МГц	17 дБмВт	0 град.	0 дБ
2.0 %	РЧ со сдвигом фаз I/Q сигналов	0 МГц	17 дБмВт	-4,0 град.	0 дБ
0.6 %	РЧ со сдвигом фаз I/Q сигналов и разницей усиления	0 МГц	17 дБмВт	-4,0 град.	-0,39 дБ
0.5 %	РЧ со сдвигом фаз I/Q сигналов, разницей усиления и сниженной мощностью сигнала LO	0 МГц	16,3 дБмВт	-4,0 град.	-0,39 дБ

Эти контрольные измерения ясно показывают, что EVM характеристика I/Q смесителей с DC модулирующими сигналами может быть существенно улучшена. Таким образом, могут быть достигнуты очень хорошие значения EVM для векторно-модулированных сигналов СВЧ диапазона.

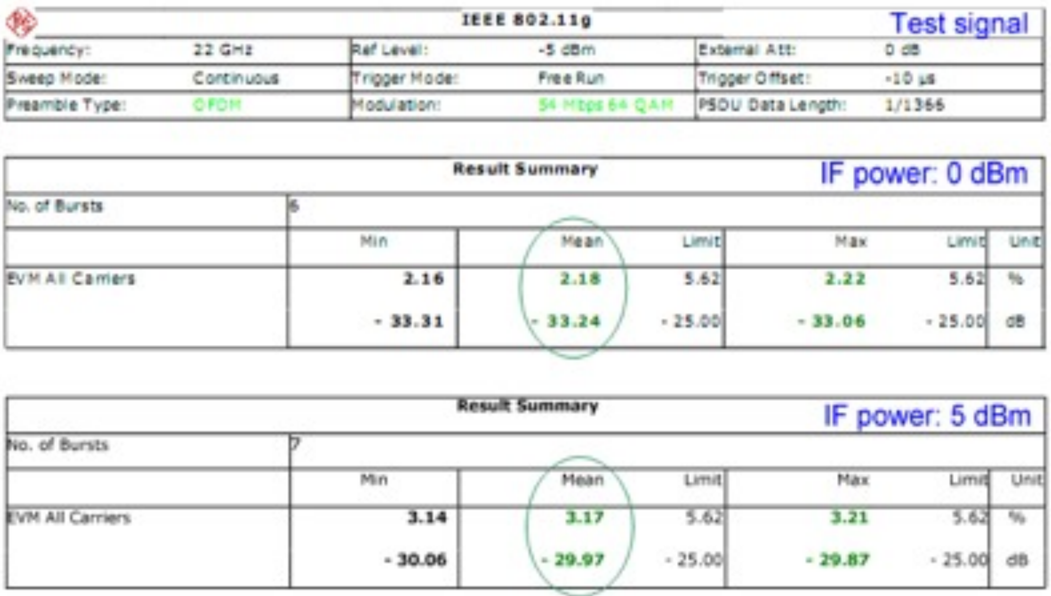
MODULATION ACCURACY				
	Result	Peak	atSym	Unit
EVM	0.540	1.847	639	%
Magnitude Err	0.220	0.727	46	%
Phase Error	0.30	-1.32	320	deg
CarrierFreq Err	294.99			Hz
Ampt Droop	0.00			dB
Origin Offset	-32.32			dB
Gain Imbalance	0.02			dB
Quadrature Err	0.07			deg
RHO	0.999971			
Mean Power	-10.71	-5.32	309	dBm
SNR (MER)	45.35			dB

Рис. 13. Измеренные значения EVM для преобразованного с повышением частоты тестового сигнала 16QAM с внесенными предыскажениями фазы и усиления I/Q сигналов.

Результат для измеренного смещения I/Q сигналов (то есть начального смещения, см. рис. 13) может быть улучшен посредством задания смещения модулирующих I/Q сигналов (в блоке предыскажений генератора AFQ). Это ведет к подавлению составляющей сигнала LO в РЧ сигнале. В этом примере смещение сигнала Q на -0,006 всей шкалы (FS) приводит к дополнительному подавлению пика остаточного сигнала LO на 24 дБ. Измеренное первоначальное смещение уменьшается с -32 дБ (без смещения Q сигнала) до -56 дБ (смещение Q сигнала -0,006 всей шкалы).

6.3 Режим с несколькими несущими

При модулирующем сигнале с несколькими несущими I/Q смеситель генерирует интермодуляционные составляющие, которые приводят к искажению преобразованного с повышением частоты сигнала. В качестве тестового сигнала использовался сигнал WLANg OFDM (54 Мбит/с, 64QAM). На рис. 14 сравниваются два значения EVM для двух идентичных тестовых сигналов (частотой 22 ГГц). Единственная разница между ними заключается в используемой входной мощности сигнала ПЧ (то есть входном уровне I/Q сигналов): 0 дБмВт в первом случае и 5 дБмВт во втором. Измеренное значение EVM увеличилось с ростом входной мощности сигнала ПЧ, вследствие сильно возросших интермодуляционных составляющих, которые ухудшили точность модуляции.



IEEE 802.11g — Test signal

Frequency:	22 GHz	Ref Level:	-5 dBm	External Att:	0 dB
Sweep Mode:	Continuous	Trigger Mode:	Free Run	Trigger Offset:	-10 µs
Preamble Type:	OFDM	Modulation:	54 Mbps 64 QAM	PSDU Data Length:	1/1366

Result Summary — IF power: 0 dBm

	Min	Mean	Limit	Max	Limit	Unit
No. of Bursts	6					
EVM All Carriers	2.16	2.18	5.62	2.22	5.62	%
	- 33.31	- 33.24	- 25.00	- 33.06	- 25.00	dB

Result Summary — IF power: 5 dBm

	Min	Mean	Limit	Max	Limit	Unit
No. of Bursts	7					
EVM All Carriers	3.14	3.17	5.62	3.21	5.62	%
	- 30.06	- 29.97	- 25.00	- 29.87	- 25.00	dB

Рис. 14. Значения EVM для сигналов WLANg при различной входной мощности сигнала ПЧ.

Для того чтобы интермодуляционные искажения сигналов с несколькими несущими были низкими, входной уровень сигнала ПЧ (то есть входной уровень I/Q сигналов) должен быть существенно ниже точки пересечения смесителя.

7 Альтернативная экспериментальная установка

7.1 Экспериментальная установка

I/Q сигналы формируются векторным генератором сигналов R&S®SMBV100A. На рис. 15 изображена экспериментальная схема.

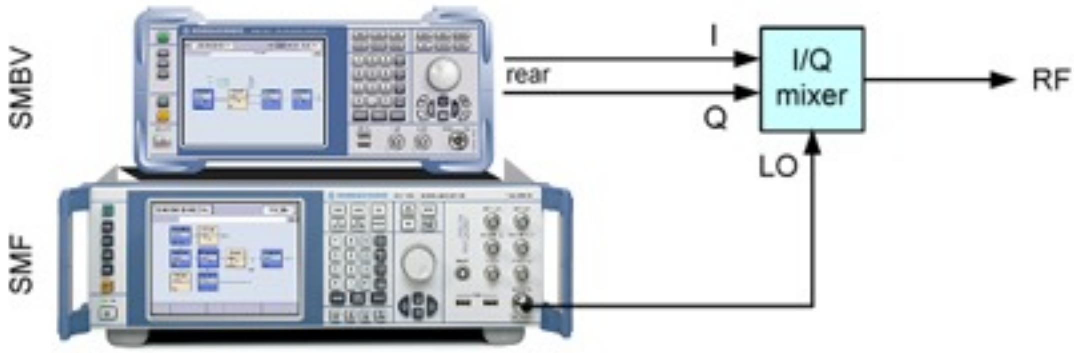


Рис. 15. Схема экспериментальной установки генерации векторных сигналов при помощи I/Q смесителя.

Уровень I/Q сигналов задается при помощи меню «Analog I/Q Output Settings» [Настройка аналогового I/Q выхода] (см. рис. 16). Функцию «Optimize I/Q Signals For RF Output» [Оптимизация I/Q сигналов для РЧ выхода] следует отключить, а для параметра «I/Q Output Type» [Тип I/Q выхода] выбрать опцию «Single Ended» [Несимметричный]. Если для параметра «Mode» [Режим] выбрана опция «Variable» [Регулируемый], выходной уровень модулирующих сигналов можно изменять, чтобы регулировать входную мощность сигнала ПЧ.

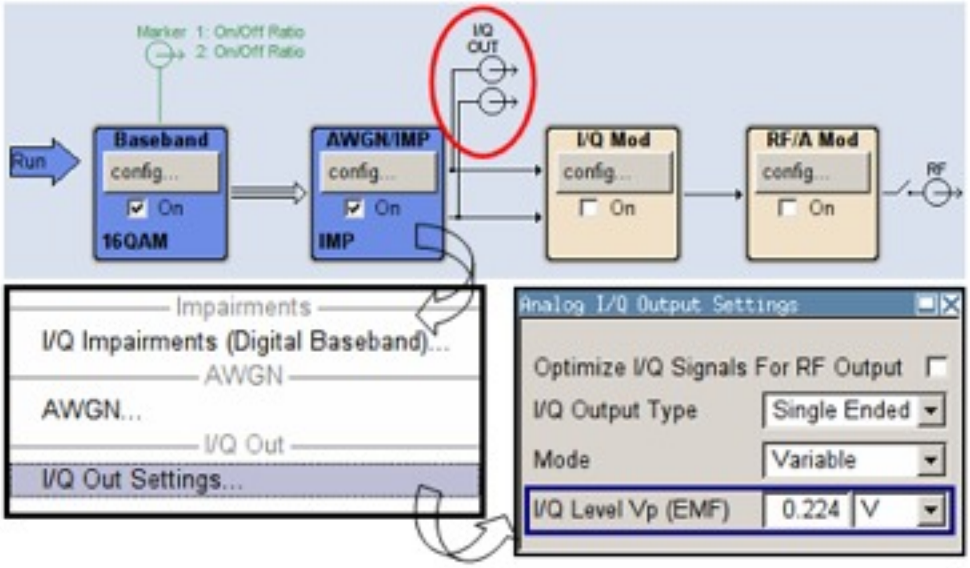


Рис. 16. Элементы графического интерфейса пользователя генератора SMBV с необходимыми для регулировки входной мощности сигнала ПЧ настройками.

Меню «I/Q Impairments» [Предыскажения I/Q] генератора SMBV (см. рис. 17) незначительно отличается от меню «Impairments» [Предыскажения] генератора AFQ (см. рис. 10). Функцию «Optimize Internal I/Q Impairments For RF Output» [Оптимизация внутренних предыскажений I/Q для РЧ выхода] следует отключить.

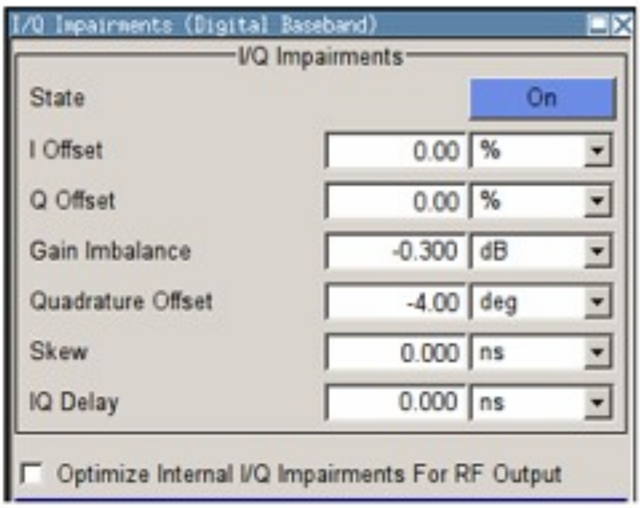


Рис. 17. Меню настройки предыскажений I/Q сигналов генератора SMBV.

7.2 Контрольные измерения

7.2.1 Сигнал 16QAM с символьной скоростью 1 Мсим/с

Для этого измерения использовался такой же тестовой сигнал, как и в разделах 6.1 и 6.2 со следующими настройками:

Входные параметры		
R&S®SMF100A	Мощность сигнала LO	16,3 дБмВт
	Частота сигнала LO	22 ГГц
R&S®SMBV100A	Мощность сигнала ПЧ	0 дБмВт
	Модуляция	16QAM, 1 Мсим/с

При нулевом значении ПЧ посредством компенсации рассогласования I/Q сигналов достигнуто значение EVM, равное 0,5%. Кроме того, генератор SMBV обеспечивает очень хорошее подавление несущей, благодаря этому первоначальное смещение составляет -71,8 дБ (рис. 18). На рис. 19 показан тестовой сигнал со сдвигом на 20 Мгц частоты модулирующих сигналов, для того чтобы продемонстрировать подавление паразитной боковой полосы и несущей, достигаемое использованием соответствующих значений смещений I/Q сигналов, разницы усиления и сдвигом фаз квадратурной модуляции. В этом примере использованные смещения I/Q сигналов равны, соответственно, 0,45% и -1,97%. Разница усиления составляет -0,33 дБ, а сдвиг фаз квадратурной модуляции — 4,48 град.

MODULATION ACCURACY				
	Result	Peak	atSym	Unit
EVM	0.465	1.429	322	%
Magnitude Err	0.184	0.612	653	%
Phase Error	0.26	-0.84	367	deg
CarrierFreq Err	296.26			Hz
Ampt Droop	0.00			dB
Origin Offset	-71.77			dB
Gain Imbalance	-0.00			dB
Quadrature Err	-0.04			deg
RHO	0.999978			
Mean Power	-11.30	-5.22	218	dBm
SNR (MER)	46.65			dB

Рис. 18. Измеренные значения EVM для преобразованного с повышением частоты тестового сигнала 16QAM с внесенными предыскажениями I/Q сигналов.

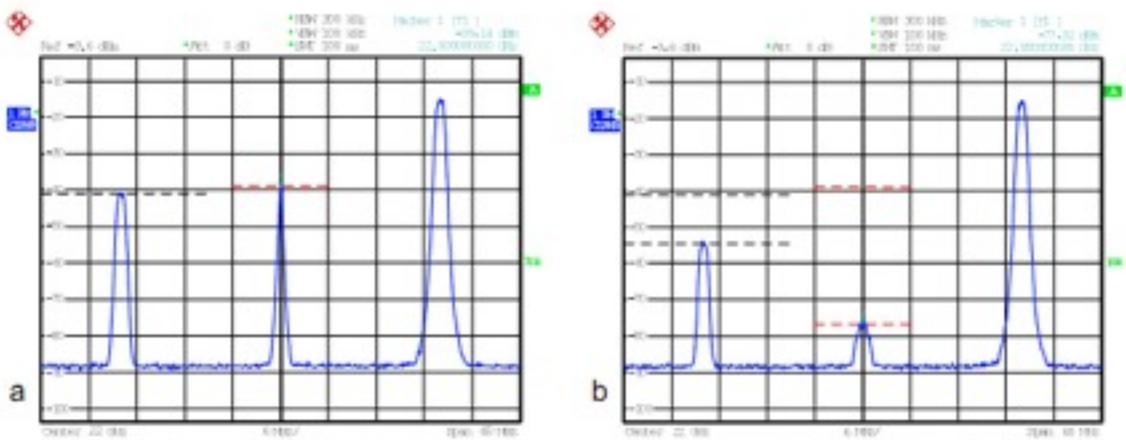


Рис. 19. Частотный спектр РЧ, показывающий подавление паразитной боковой полосы и несущей LO без предыскажений (a) и сигнала ПЧ с внесенными предыскажениями I/Q сигналов (b).

7.2.2 Сигнал 16QAM с символьной скоростью 10 Мсим/с

Для этого измерения использовался тестовой сигнал 16QAM с символьной скоростью 10 Мсим/с и следующими настройками:

Входные параметры		
R&S®SMF100A	Мощность сигнала LO	16,3 дБмВт
	Частота сигнала LO	22 ГГц
R&S®SMBV100A	Мощность сигнала ПЧ	0 дБмВт
	Значение ПЧ	DC (0 Гц)
	Модуляция	16QAM, 10 Мсим/с

На рис. 20 изображен преобразованный с повышением частоты сигнал. Дельта маркер на спектре РЧ показывает значения -59,4 дБ на расстоянии -12,0 МГц от несущей. С компенсацией рассогласования I/Q сигналов измеренное значение EVM равно 0,92%.

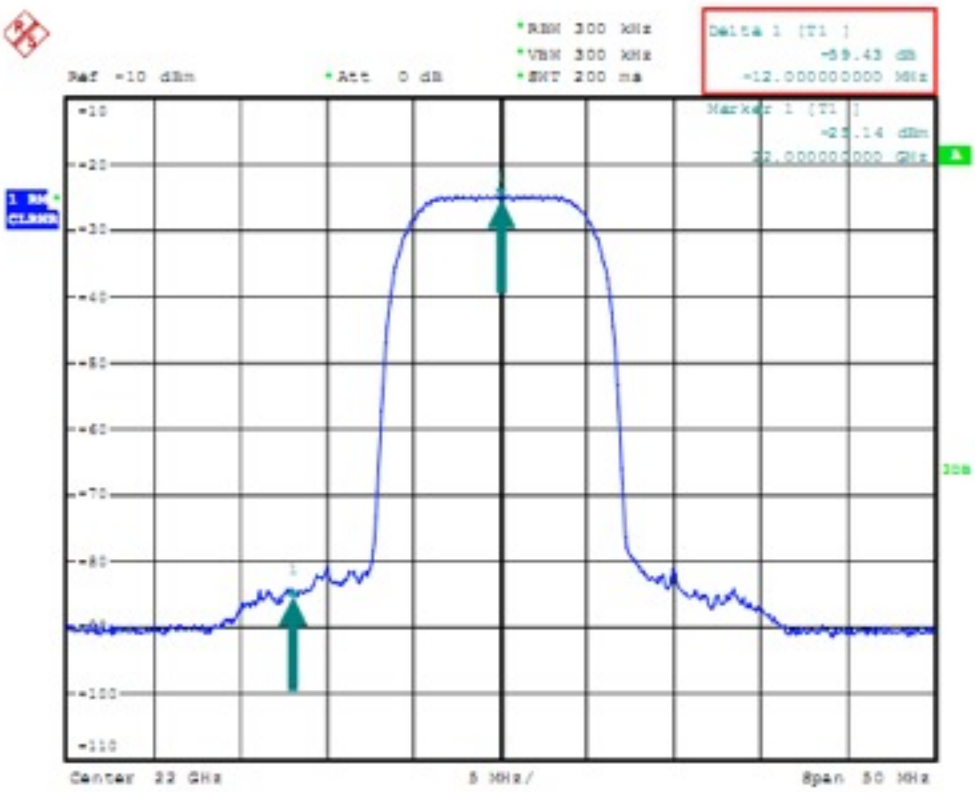


Рис. 20. Частотный спектр РЧ преобразованного с повышением частоты тестового сигнала 16QAM (10 Мсим/с)

7.2.3 Двухтональный сигнал

Для этого измерения использовался двухтональный сигнал (разница между несущими 10 Мгц) со следующими настройками:

Входные параметры		
R&S®SMF100A	Мощность сигнала LO	16,3 дБмВт
	Частота сигнала LO	22 ГГц
R&S®SMBV100A	Мощность сигнала ПЧ	0 дБмВт
	Значение ПЧ	DC (0 Гц)

На рис. 21 показан преобразованный с повышением частоты сигнал с подавлением сигнала LO (смещения I/Q сигналов равны, соответственно, 0,39% и -1,93%). Дельта маркер на спектре РЧ показывает значения -54,3 дБ на расстоянии -20,0 МГц от второй несущей.

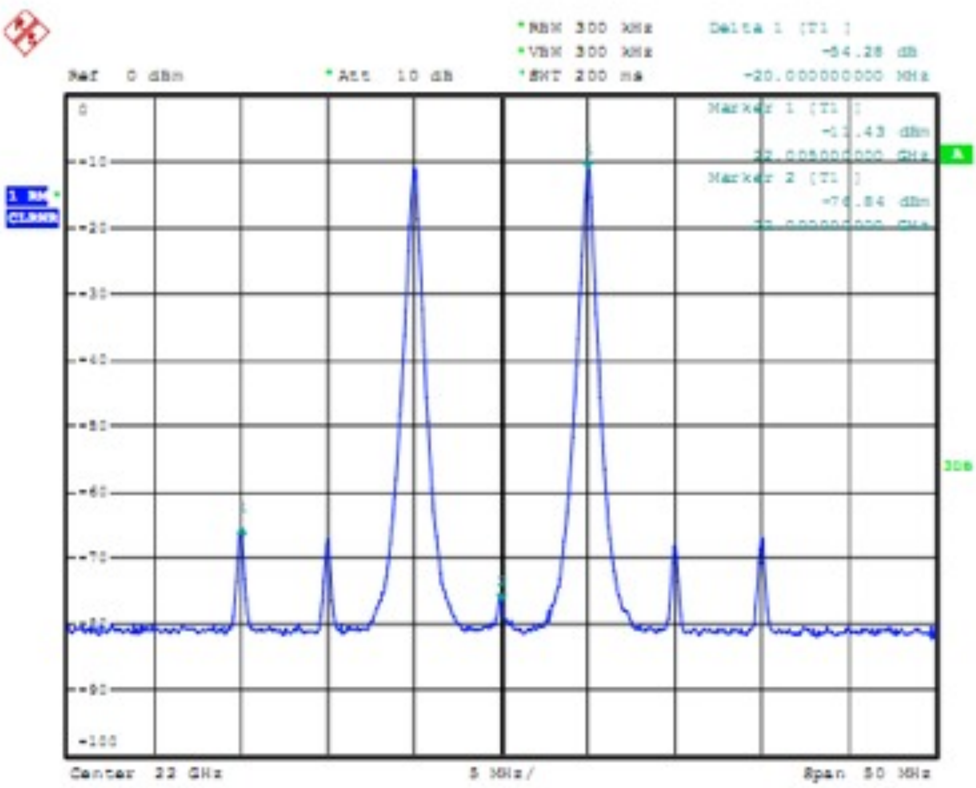


Рис. 21. Спектр РЧ преобразованного с повышением частоты двухтонального сигнала.

7.2.4 Многотональный сигнал

Для этого измерения использовался многотональный сигнал (10 несущих с разницей по частоте 1 МГц) с такими же настройками, как и в подразделе 7.2.3. На рис. 22 показан преобразованный с повышением частоты сигнал с подавлением сигнала LO (смещения I/Q сигналов равны, соответственно, 0,39% и -1,93%).

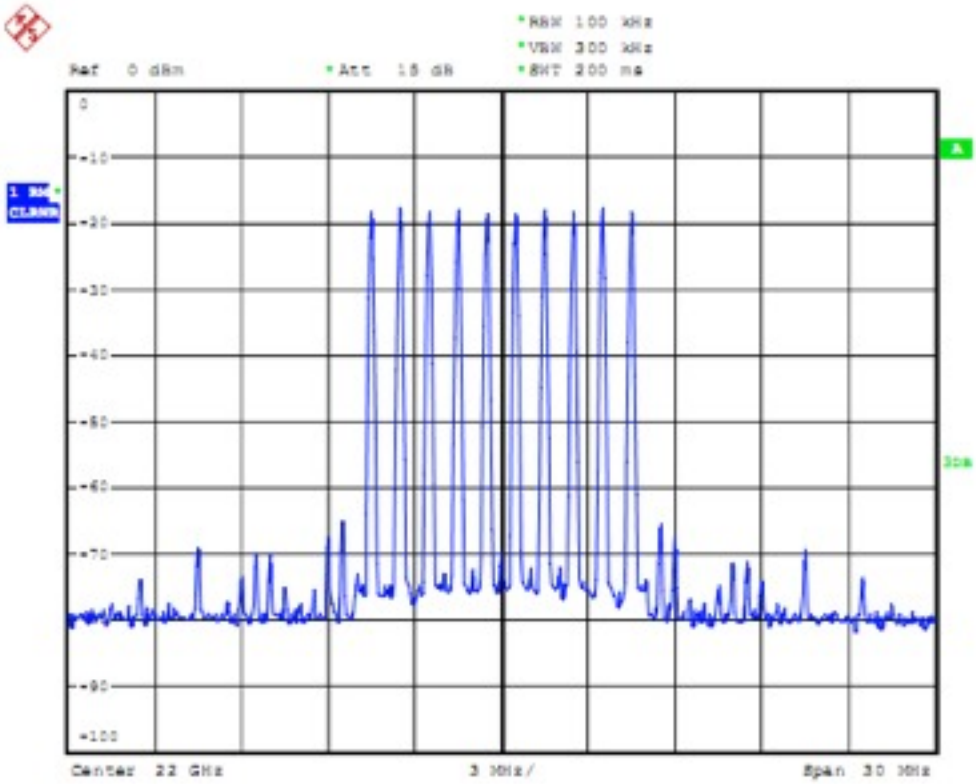


Рис. 22. Спектр РЧ преобразованного с повышением частоты многотонального сигнала.

7.2.5 Подавление зеркального канала

Для этого измерения использовался многотональный сигнал (с разницей по частоте несущих 1 МГц) с такими же настройками, как и в подразделе 7.2.3. Для наблюдения подавления зеркального канала тестовой сигнал содержал 50 активных несущих (с отрицательным сдвигом по частоте) и 50 неработающих (с положительным сдвигом по частоте). На рис. 23 показан преобразованный с повышением по частоте сигнал с компенсацией рассогласования I/Q сигналов для подавления зеркального канала (разница усиления -0,39 дБ и сдвиг фаз квадратурной модуляции 3,70 град.).

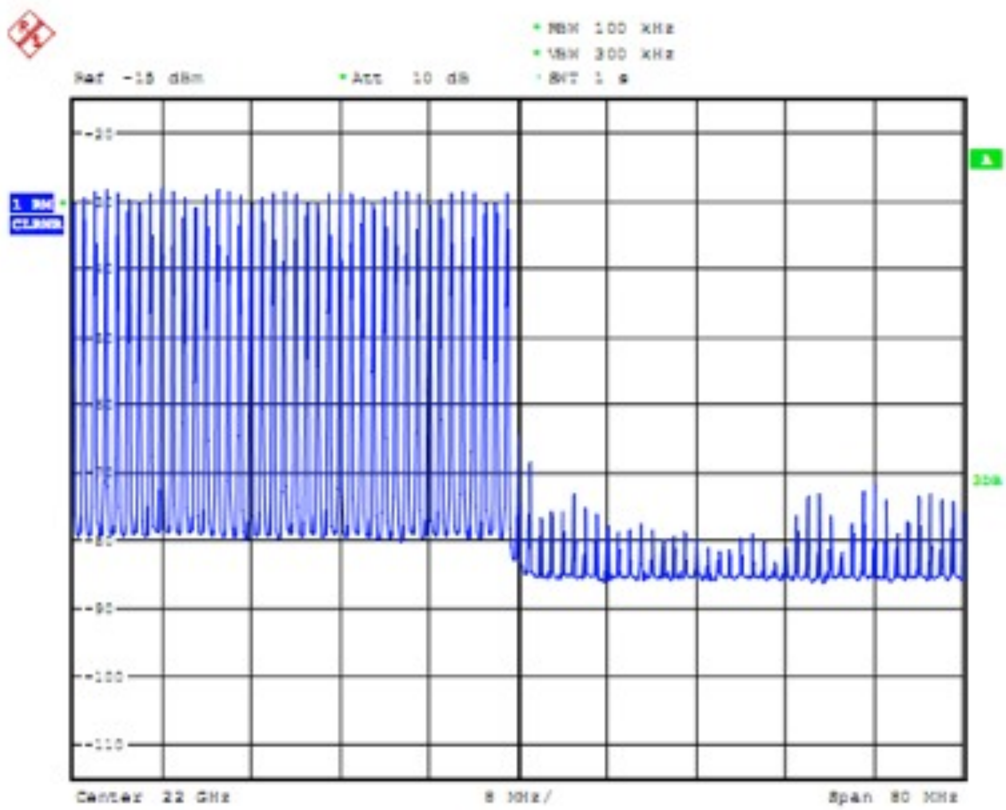


Рис. 23. Спектр РЧ преобразованного с повышением частоты многотонального сигнала, показывающий подавление зеркального канала.

8 Заключение

В настоящем указании по применению изложены способы генерирования векторных сигналов сверхвысоких частот при помощи внешнего преобразования сигналов с повышением частоты. Гибким и экономичным решением служит использование генератора сигналов СВЧ диапазона R&S®SMF100A в качестве источника сигнала LO для внешнего I/Q смесителя, совместно с генератором модулирующих сигналов, например, R&S®AFQ100A. Посредством прямого преобразования с повышением частоты модулирующих I/Q сигналов может быть сформирован векторно-модулированный сигнал СВЧ диапазона с очень хорошей точностью модуляции. Более того, можно избежать появления в спектре РЧ паразитных составляющих, возникающих при смешении (побочных сигналов), это делает излишней фильтрацию спектра выходного сигнала.

9 Сокращения

ACLR	коэффициент утечки мощности в соседний канал (adjacent channel leakage ratio)
CW	незатухающая волна (continuous wave)
DC	постоянный ток (direct current)
EVM	величина вектора ошибки (error vector magnitude)
FS	вся шкала (full scale)
IF (ПЧ)	промежуточная частота (intermediate frequency)
LO	опорный генератор (local oscillator)
QAM	квадратурная амплитудная модуляция (quadrature amplitude modulation)
RF (РЧ)	радио частота (radio frequency)
SSB	одна боковая полоса (single sideband)

10 Литература

[1] Rohde & Schwarz, Указание по использованию 1GP65_0E, «Преобразование с повышением частоты модулированных сигналов в СВЧ диапазон при помощи внешнего смесителя и генератора сигналов R&S SMF100A»

- Основные принципы работы смесителя
- Описание порядка работы
- Примеры использования

[2] I/Q смеситель — справочный листок, Hittite Microwave Corporation HMC524LC3B - GaAs MMIC l/Q Mixer / IRM SMT, 22-32 ГГц

11 Информация для заказа

R&S®SMF100A	Генератор сигналов СВЧ диапазона	1167.0000.02
R&S®SMF-B122	Диапазон частот от 1 ГГц до 22 ГГц	1167.7004.03
R&S®SMF-B144	Диапазон частот от 1 ГГц до 43,5 ГГц	1167.7204.03
R&S®SMF-B1	Опорный термостатированный кварцевый генератор	1167.9159.02
R&S®SMF-B2	Расширение диапазона частот от 100кГц до 1 ГГц	1167.4005.02
R&S®SMF-B20	Модулятор АМ/ЧМ/ФМ/LOG AM	1167.9594.02
R&S®SMF-B26	Ступенчатый аттенюатор от 100 кГц до 22 ГГц	1167.5553.02
R&S®SMF-B27	Ступенчатый аттенюатор от 100 кГц до 43,5 ГГц	1176.5776.02

R&S®SMF-B32	Высокая выходная мощность (без опции SMF-B2)	1415.2304.02
R&S®SMF-B34	Высокая выходная мощность (с опцией SMF-B2)	1415.2404.02
R&S®SMF-B81	Разъемы на задней панели 22 ГГц	1167.5999.02
R&S®SMF-B82	Разъемы на задней панели 43,5 ГГц	1167.6208.02
R&S®SMF-B83	Съемный интерфейс GPIB	1167.6408.02
R&S®SMF-B84	Съемный интерфейс USB	1167.6608.02
R&S®SMF-B85	Съемный флэш-диск	1167.6808.02
R&S®SMF-K3	Узкоимпульсная модуляция	1167.7804.02
R&S®SMF-K4	Аналоговое качание частоты	1167.7604.02
R&S®SMF-K23	Генератор импульсов	1167.7704.02
R&S®SMF-K27	Генератор последовательности импульсов	1415.2004.02
R&S®SMF-K28	Анализ мощности	1415.2104.02

R&S®AFQ100A	Генератор модулирующего сигнала I/Q	1401.3003.02
R&S®AFQ-B10	Память сигналов на 256 миллионов отсчетов	1401.5106.02
R&S®AFQ-B11	Память сигналов на 1 миллиард отсчетов	1401.5206.02

R&S®SMBV100A	Векторный генератор сигналов	1407.6004.02
R&S®SMBV-B103	От 9 кГц до 3,2 ГГц	1407.9603.02
R&S®SMBV-B106	От 9 кГц до 6 ГГц	1407.9703.02
R&S®SMBV-B1	Опорный термостатированный кварцевый генератор	1407.8407.02
R&S®SMBV-B90	Фазовая когерентность	1407.9303.02
R&S®SMBV-K22	Импульсный модулятор	1415.8019.02
R&S®SMBV-K23	Генератор импульсов	1415.8025.02
R&S®SMBV-B10	Генератор модулирующего сигнала с цифровой модуляцией (в реальном времени) и ARB-генератором (32 млн. отсчетов), полоса РЧ 120 МГц	1407.8607.02
R&S®SMBV-B50	Генератор модулированного сигнала с ARB-генератором (32 млн. отсчетов), полоса РЧ 120 МГц	1407.8907.02
R&S®SMBV-B51	Генератор модулированного сигнала с ARB-генератором (32 млн. отсчетов), полоса РЧ 60 МГц	1407.9003.02
R&S®SMBV-B55	Расширение памяти для ARB-генератора до 256 млн. отсчетов	1407.9203.02
R&S®SMBV-K18	Возможности соединения для цифровой модуляции	1415.8002.02

О компании Rohde & Schwarz

Rohde & Schwarz представляет собой независимую группу компаний, специализирующуюся на производстве электронного оборудования. Компания Rohde & Schwarz является ведущим поставщиком решений в области контрольно-измерительного оборудования, теле- и радиовещания, радиоконтроля и радиолокации, а также систем защищенной радиосвязи. Rohde & Schwarz успешно работает уже 75 лет, представительства и сервисные центры компании находятся в более чем 70 странах. Головной офис компании расположен в Мюнхене, Германия.

Контакты в регионах

Европа, Африка, Ближний Восток
+49 1805 12 42 42* или +49 89 4129 137 74
customersupport@rohde-schwarz.com

Северная Америка
1-888-TEST-RSA (1-888-837-8772)
customersupport@rohde-schwarz.com

Латинская Америка +1-410-910-7988
customersupport@rohde-schwarz.com

Азия/Тихоокеанский регион +65 65 13 04 88
customersupport@rohde-schwarz.com

Certified Quality System
ISO 9001
DQS REG. NO 1954 QM

Certified Environmental System
ISO 14001
DQS REG. NO 1954 UM

Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG
Muhldorfstrafce 15 | D - 81671 Munchen
Телефон + 49 89 4129 - 0 I Факс + 49 89 4129 - 13777
www.rohde-schwarz.com