

Векторный генератор сигналов

VSG25A

Руководство пользователя

Signal Hound VSG25A Руководство пользователя

©2015, Signal Hound, Inc.
35707 NE 86th Ave
La Center, WA 98629 USA
Phone 360.263.5006 • Fax 360.263.5007

Эксклюзивный представитель компании в России

ООО «Радиокомп»
111024, Москва, ул. Авиамоторная, д.8
<http://www.signalhound.ru>
<http://www.radiocomp.ru>
тел. (495) 957-77-45, факс (495) 925-10-64
Email: sales@radiocomp.ru

Содержание

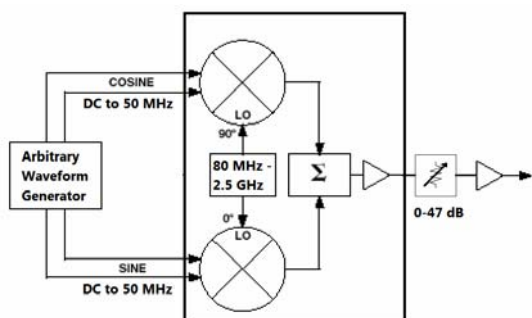
1 Введение	4
2 Принцип работы	4
3 Возможности	5
3.1 АМ/ФМ модуляция	5
3.2 Импульсная модуляция	5
3.3 Многотональный сигнал	6
3.4 Цифровая модуляция	7
3.5 Амплитудная и частотная манипуляция (ASK/FSK)	7
3.6 Модуляция произвольной формы	7
3.7 Режим ЛЧМ	8
3.8 Обмен данными с устройством	8
4 Калибровка	8
5 Настройки	8
5.1 Опорный генератор	8
6 Спецификация VSG25A (предварительная)	9
6.1 Частотные характеристики	9
6.1.1 Выходная частота	9
6.1.2 Тактовая частота генерации символов I/Q	9
6.2 Амплитудные характеристики	9
6.2.1 Точность установки амплитуды при модуляции	9
6.3 КСВН	10
6.4 Время записи данных в устройство	10
6.5 Спектральные характеристики	10
6.5.1 Односторонняя СПМ шума	10
6.5.2 Гармонические составляющие	10
6.5.3 Остаточные сигналы	10
6.5.4 Паразитные составляющие спектра, обусловленные ЦАП	11
6.5.5 Паразитные составляющие спектра, обусловленные разбалансом каналов I и Q	11
6.6 Режимы модуляции	12
6.6.1 Амплитудная модуляция	12
6.6.2 Частотная модуляция	12
6.6.3 Пошаговое изменение частоты	12
6.7 Импульсная модуляция	13
6.8 Многотональный режим работы	13
6.9 Манипуляция PSK/QAM	13
6.10 Модуляция с настраиваемыми параметрами	14
6.11 Тактовая частота ЦАП	14
6.12 Типы разъёмов	15
6.13 Характеристики устройства	15
6.14 Приложение А: Карта сигнальных созвездий	15

1 Введение

Векторный генератор сигналов Signal Hound VSG25A способен формировать множество сложных сигналов, используемых в современной индустрии беспроводных коммуникаций. VSG25A имеет рабочий диапазон от 100 МГц до 2,5 ГГц с амплитудой выходного сигнала от -40 дБм до +10 дБм и полосу модуляции 100 МГц, что включает в себя большинство телекоммуникационных частот и две главные полосы ISM (902-928 МГц и 2,4-2,5 ГГц). При снижении требований к характеристикам устройство может быть использовано в диапазоне от 80 МГц с амплитудами от -80 дБм до +13 дБм. Питание осуществляется по шине USB, а малые габариты и вес (150 г) позволяют носить устройство даже в кармане.



2 Принцип работы



В основе генератора VSG25A лежит квадратурный модулятор, управляемый генератором сигналов произвольной формы, который включает в себя цифровой вычислительный синтезатор частот (ЦВС), два 12-битных ЦАП и память формы сигнала. Выходные сигналы генератора произвольной формы - квадратурные (I и Q).

Внутри генератора сигналов произвольной формы расположена память объемом 4000 слов. Слова могут отображать мгновенное значение частоты или значение составляющих I и Q. При кажущейся простоте конструкции, в сочетании с регулируемой тактовой частотой ЦАП данная система может формировать 512 символов QAM-256 с фильтром RRC (root-raised cosine filter) с практически любой скоростью передачи данных от 16 kSPS до 45 MSPS.

Амплитуда выходного 12-битного сигнала может регулироваться с помощью аттенюатора в пределах до 47 дБ, а при снижении разрешения – до 80 дБ.

Период сигнала может быть больше продолжительности запоминаемой формы сигнала. Это удобно для генерации периодических импульсов произвольной формы. Тактовая частота памяти формы сигнала составляет от 800 кГц до 180 МГц, поделённая на значение предделителя (от 1 до 15). Формируемый период сигнала имеет ту же тактовую частоту, но другой предделитель и 16-битный счётчик, что позволяет формировать периоды сигнала до $15 \cdot 65535 = 983025$ тактовых отсчётов.

3 Возможности

VSG25A позволяет формировать широкий спектр различных сигналов с достаточной степенью точности.

3.1 AM/FM модуляция

Амплитудная модуляция (AM) использует фиксированную частоту, изменяя амплитуду сигнала. Частотная модуляция (FM, ЧМ) варьирует мгновенную частоту сигнала, оставляя амплитуду неизменной. Пользователь может выбрать синусоидальную, треугольную, прямоугольную и линейно-частотную модуляцию. Модулирующая частота может меняться в пределах от 30 Гц до 45 МГц. Глубина амплитудной модуляции варьируется от 1% до 99%. Максимальная девиация частоты в режиме FM может быть установлена до 50 МГц. Цифровая генерация модулированных сигналов имеет хорошую точность – общие гармонические искажения частотно-модулированного сигнала при синусоидальной модуляции не превышают 0,02%.

Для низкочастотных сигналов, когда модулирующий сигнал повторяется с фиксированной частотой, внутренняя память заполняется 2 000 значений амплитуды или частоты. Например, если выбрана амплитудная модуляция частотой 1 кГц, частота выборки будет установлена на 2 000 кГц (2 МГц), и буферы I и Q будут заполнены соответствующими значениями амплитуды.

3.2 Импульсная модуляция

Импульсно-модулированный сигнал представляет собой сигнал фиксированной частоты, находящийся в состоянии «ВКЛ» определённое время, а затем переключающийся в состояние «ВЫКЛ» до конца периода модулирующего сигнала. Важной характеристикой сигнала является соотношение амплитуд в обоих состояниях.

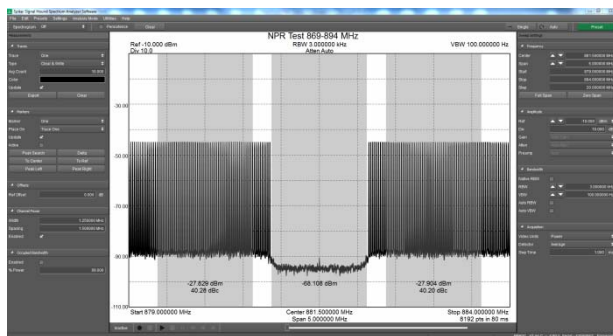
Стандартное время включения (от 10 до 90% амплитуды) составляет 3,5 нс, а время выключения (90% → 10% амплитуды) – 2,5 нс при частоте сигнала 2,45 ГГц, поэтому генератор VSG25A является хорошим источником сигналов с импульсной модуляцией. Приведённые показатели не зависят от ширины или периода модулирующего импульса.

Времена включения и выключения могут быть увеличены с помощью пользовательских таблиц формата CSV для сигналов произвольной формы. См. раздел 3.6 Модуляция произвольной формы.

Импульсная модуляция формируется с тактовой частотой от 800 кГц до 180 МГц, при этом ширина импульса составляет целое число тактов, разделённое на значение делителя (1...15). Период сигнала имеет ту же тактовую частоту, но другой делитель и 16-битный счётчик, что позволяет формировать периоды сигнала величиной до $15 \cdot 65535 = 983025$ тактовых отсчётов. Это позволяет получить импульсы с очень низким коэффициентом заполнения, т.е. с высокой скважностью (10,2 нс в состоянии «ВКЛ» и 10 мс в состоянии «ВЫКЛ»). По заданным пользователем установкам модулирующего импульса устройство автоматически выберет необходимые значения тактовой частоты и делителей. Минимальная длительность любого из состояний равна одному тактовому импульсу. Минимальная ширина импульса составляет 6 нс и может быть увеличена с малым шагом. Соотношение амплитуд в состояниях «ВКЛ»/«ВЫКЛ» обычно составляет более 50 дБ.

3.3 Многотональный сигнал

Многотональный генератор может формировать от 2 до 1023 выходных частот (тонов) с постоянным шагом между ними. Все частоты будут представлены в спектре выходного сигнала генератора. Соотношение фаз между частотами либо случайно, либо находится в квадратичной зависимости для обеспечения минимального соотношения средней и пиковой мощностей. Также предусмотрена переключаемая маркерная центральная частота для измерений соотношения сигнал/шум и пр., при этом сигнал гетеродина (LO) может быть отключен для наибольшей точности.



Фиксированный шаг частот необходим из-за ограничений памяти устройства. Тактовая частота устанавливается равной количеству шагов частоты, умноженных на целый коэффициент. Для шага частот меньше 90 кГц этот коэффициент устанавливается равным 2000.

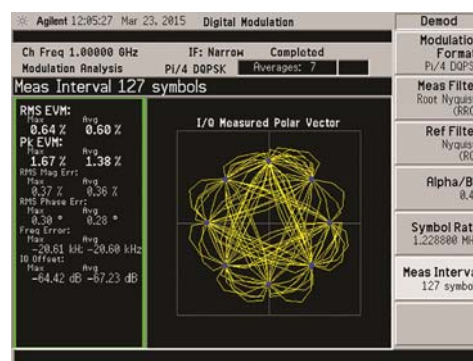
Для измерений соотношения сигнал/шум необходимо сформировать множество наборов по 1001 частоте, чтобы точно смоделировать многоканальную несущую. Чтобы получить дополнительную информацию, свяжитесь с поддержкой Signal Hound.

Для выравнивания амплитуд всех тонов используется инверсный sinc-фильтр. Для двухтонового сигнала точка пересечения интермодуляции третьего порядка (IP3) выходного усилителя усилителя VSG25A находится на уровне +25 дБм. Если для двухтонового тестирования необходима дополнительная обработка сигнала, можно использовать файл с установками для генератора сигналов произвольной формы, чтобы нивелировать составляющие третьего порядка. См. раздел 3.6 Модуляция произвольной формы.

3.4 Цифровая модуляция

Цифровая модуляция производится исходя из предоставленных пользователем двоичных данных и заданного вида манипуляции. Так, например, двоичная фазовая манипуляция (BPSK) кодирует «0» и «1» с помощью двух фаз сигнала, отстоящих друг от друга на 180 градусов (или π радиан). Двоичная последовательность повторяется непрерывно.

Поддерживаются следующие виды манипуляции: BPSK, DBPSK, QPSK, DQPSK, OQPSK, $\pi/4$ DQPSK, 8PSK, 16PSK, 16QAM, 64QAM и 256QAM.



Скорость передачи символов варьируется от 4 кГц (128 символов макс.) или 16 кГц (512 символов макс.) до 45 МГц. Доступна фильтрация сигнала типа «косинус на пьедестале» (raised cosine) и RRC с настраиваемой крутизной спада характеристики. Типичное значение величины вектора ошибки (EVM) для типа манипуляции $\pi/4$ DQPSK составляет менее 1% среднеквадратического значения (RMS).

К устройству прилагается редактор цифровых последовательностей, позволяющий одним нажатием клавиши мыши добавлять последовательности PN7 и PN9, а также сохранять и загружать конфигурации. Когда количество битов данных не делится нацело на количество битов на символ, данные дополняются «нулями». Для различных сигналов последний символ может быть изменён, или же добавлен ещё один символ, чтобы обеспечить плавное повторение последовательности.

Программное обеспечение автоматически преобразует символы в повторяющуюся последовательность из 1024 или 2048 выборок, в которых каждый символ кодируется 4, 8 или 16 выборками в зависимости от числа символов и скорости передачи данных. Большее число выборок уменьшает внеполосные паразитные составляющие спектра.

3.5 Амплитудная и частотная манипуляция (ASK/FSK)

Для задания параметров амплитудной и частотной манипуляций используется тот же редактор, что и для цифровой модуляции PSK/QAM. Фильтр Гаусса с настраиваемым спадом характеристики может быть включен в данном режиме работы. Для получения модуляции типа MSK пользователь должен установить коэффициент модуляции 0,5. Для модуляции GMSK необходимо включить фильтр Гаусса и установить коэффициент фильтрации (0,3 для эмуляции GSM, 0,5 для эмуляции Bluetooth, и т.д.).

3.6 Модуляция произвольной формы

Для пользователя доступна модуляция произвольной формы. Хотя программное обеспечение (ПО) Signal Hound не позволяет непосредственно задавать сложные формы, они могут быть рассчитаны с помощью стороннего ПО и импортированы в файл формата CSV или в текстовый файл. Данные файлы с таблицами значений могут задавать центральную частоту, амплитуду сигнала, тактовую частоту, количество выборок, период сигнала и непосредственно выборки. В данном руководстве приведено несколько

примеров, включающих 8-битный пакет данных BPSK 1 MSPS, импульс sinc и радиолокационный сигнал ЛЧМ. Приведены таблицы, с помощью которых можно синтезировать данные сигналы.

3.7 Режим ЛЧМ

В режиме линейно изменяющейся частоты происходит модуляция несущей, при этом ширина диапазона модуляции может задаваться до 100 МГц. Ограничения памяти устройства позволяют обеспечить время модуляции такого диапазона до 100 мкс. Максимальное время обратно пропорционально ширине полосы модуляции, т.е. при ширине 1 МГц максимальное время можно задать до 10 мс, для ширины 10 МГц – до 1 мс, и т.д.

Режим пошагового изменения частоты позволяет автоматически менять частоту через равные промежутки времени. Минимальное время нахождения на одной частоте задаётся параметром **Dwell Time**, но за одну секунду устройство обеспечит не более 8-10 шагов по частоте.

3.8 Обмен данными с устройством

Для большинства задач будет достаточно набора средств программного обеспечения Signal Hound, поставляемого вместе с генератором VSG25A. При необходимости пользователь может разработать собственное программное обеспечение для управления генератором. См. руководство по программированию интерфейса (API), в котором приведены все функции управления.

4 Калибровка

Свяжитесь с поддержкой Signal Hound для проведения калибровки устройства или программного обеспечения.

5 Настройки

5.1 Опорный генератор

Подстройку опорного генератора 24 МГц в пределах 1 ppm можно легко осуществить с помощью шлицевой отвёртки. Для контроля процесса используйте анализатор спектра или измерительный приёмник. Установите режим формирования сигнала фиксированной частоты (например, 1 ГГц) и подстраивайте генератор до необходимой точности.

Свяжитесь с поддержкой Signal Hound для получения дополнительных сведений.

6 Спецификация VSG25A (предварительная)

6.1 Частотные характеристики

6.1.1 Выходная частота

Диапазон: от 100 МГц до 2,5 ГГц
Можно использовать от 80 МГц без сохранения точности.

Разрешение: < 1 Гц

Точность генератора развёртки (без учёта температурного ухода): ± 5 ppm/год

Температурный уход: $-0,2$ ppm/ $^{\circ}\text{C}$

Частота генератора развёртки подстраивается в пределах ± 1 ppm после прогрева 15 мин.

6.1.2 Тактовая частота генерации символов I/Q

Диапазон: от 53,333 кГц до 180 МГц

Точность установки: точность генератора развёртки + ошибка опорной частоты ФАПЧ

Ошибка тактовой частоты ФАПЧ: 0 для $3\frac{1}{2}$ значащих цифр и для стандартных скоростей передачи данных

Максимальная ошибка частоты ФАПЧ: 0,07%

Ошибки программного обеспечения 0,001%

Примеры приведены в разделе 6.11 Тактовая частота ЦАП.

6.2 Амплитудные характеристики

6.2.1 Точность установки амплитуды при модуляции

Полоса (BW) ≤ 10 МГц, $BW < 3\%$ от центральной частоты (CF): $\pm 0,25$ дБ

Для многотонального режима и PSK/QAM коррекция sinc-фильтром применяется автоматически. Стандартная форма спада характеристики – параболическая, 0,2 дБ при отстройке 25 МГц и 0,8 дБ при отстройке 50 МГц от центральной частоты.

Для всех остальных модуляций: ± 1 дБ

Уровень несущей на выходе (мощность выходного сигнала 0 дБм): менее -45...-60 дБн

6.3 КСВН

Диапазон от 100 МГц до 2,2 ГГц: менее 2,0:1

Диапазон от 80 МГц до 2,5 ГГц: менее 3,0:1

6.4 Время записи данных в устройство

Приблизительно 500 мс

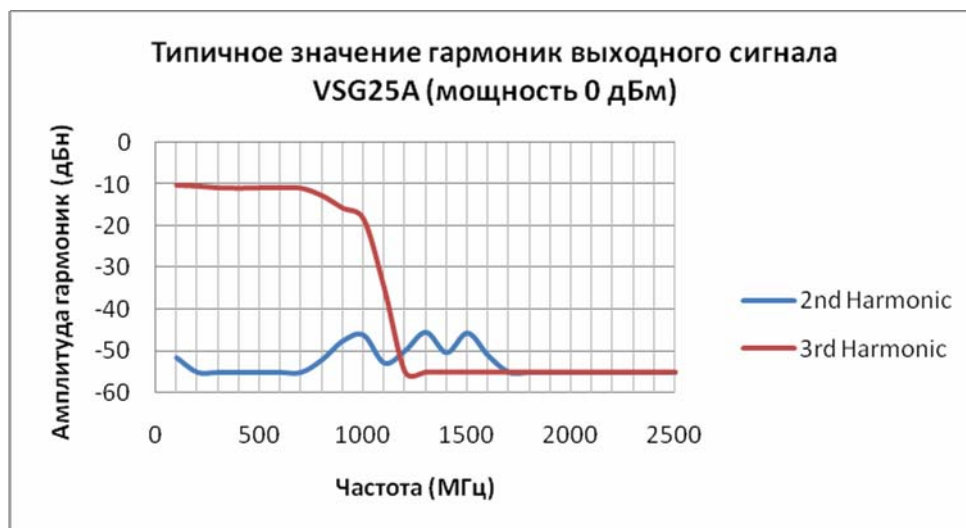
6.5 Спектральные характеристики

6.5.1 Односторонняя СПМ шума

СПМ шума на частоте 1 ГГц	
Отстройка	дБн/Гц
100 Гц	-68
1 кГц	-88
10 кГц	-102
100 кГц	-105
1 МГц	-132

6.5.2 Гармонические составляющие

Выходной фильтр гармоник: ФНЧ 2,7 ГГц



6.5.3 Остаточные сигналы

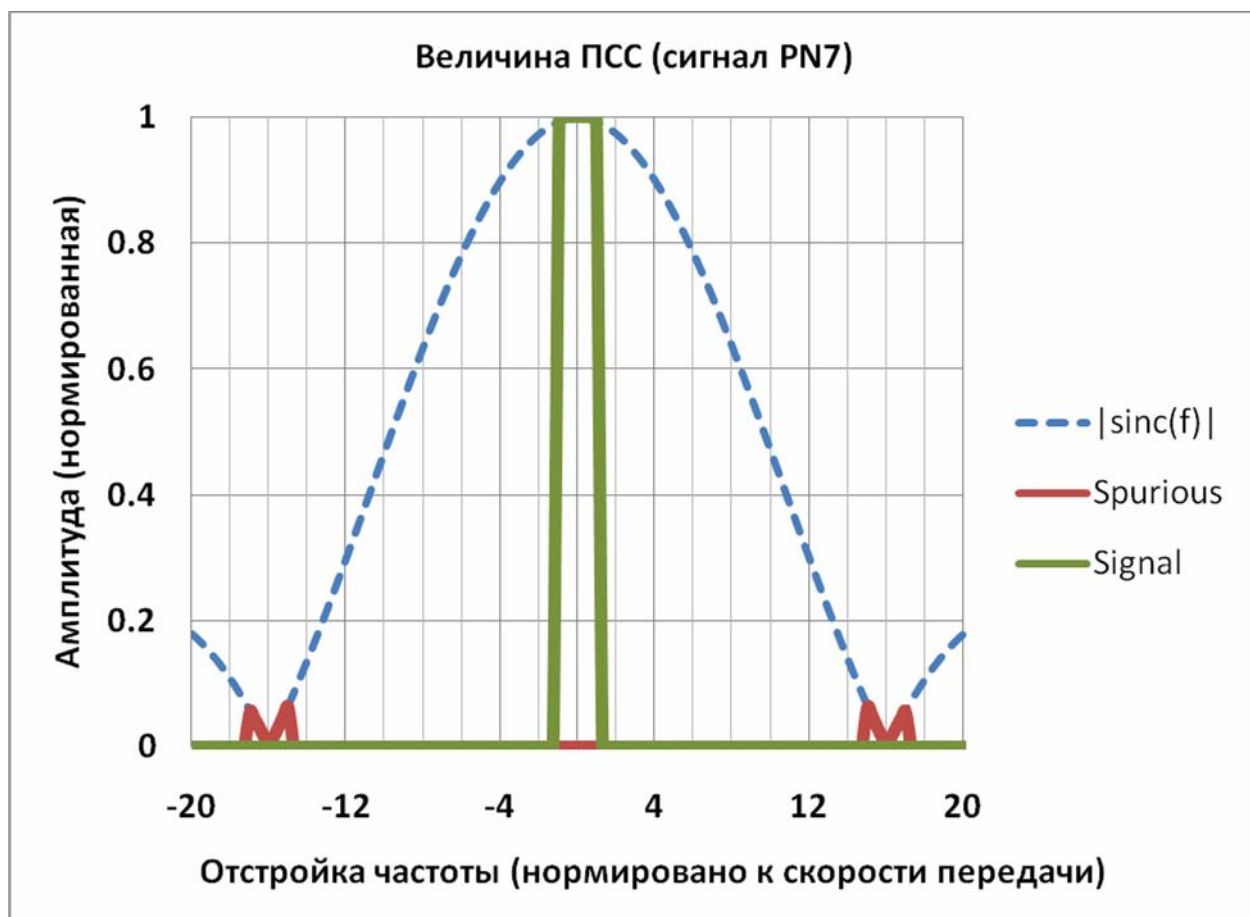
Диапазон от 10 МГц до 2,5 ГГц: менее -80 дБм

6.5.4 Паразитные составляющие спектра, обусловленные ЦАП

Стандартные значения паразитных составляющих (ПСС), обусловленных работой ЦАП:

Передискретизация ⁽¹⁾	Внеполосные ПСС (дБн)	Пример
1000	-60.0	Аналоговая АМ/ЧМ, модуляция синусоидальным сигналом с девиацией частоты 10 кГц
400	-52.0	Многотональный сигнал, 11 частот
100	-39.9	Многотональный сигнал, 41 частота
40	-31.8	Многотональный сигнал, 101 частота
16	-23.6	Цифровой сигнал PN7, 251 частота
8	-17.1	Многотональный сигнал, 501 частота
4	-10.5	Цифровой сигнал PN9, 1001 частота

(1) Передискретизация определяется как отношение тактовой частоты ЦАП к рабочей полосе частот



6.5.5 Паразитные составляющие спектра, обусловленные разбалансом каналов I и Q

Стандартные значения менее -40 дБн.

6.6 Режимы модуляции

6.6.1 Амплитудная модуляция

Скорость модуляции: от 30 Гц до 40 МГц.

Точность определяется точностью тактового генератора символов.

Глубина модуляции: от 1% до 99%, $\pm 1\%$

Форма модулирующего сигнала: синус, треугольник, прямоугольник, «пила»

Суммарный коэффициент нелинейных искажений: менее 1% (при модуляции синусом с частотой 1 кГц)

6.6.2 Частотная модуляция

Скорость модуляции: от 30 Гц до 40 МГц.

Точность определяется точностью тактового генератора символов.

Девияция частоты: $\pm 1\%$ (обычно $\pm 0,1\%$)

Максимальный коэффициент модуляции (девиация/скорость)	
Частота	Коэффициент
≤ 3 кГц	15000
> 3 кГц, ≤ 12 кГц	4000
> 12 кГц, ≤ 45 кГц	1000
> 45 кГц, ≤ 75 кГц	600
> 75 кГц	300 (или 50 МГц)

При превышении максимального коэффициента модуляции на 10% могут наблюдаться паразитные составляющие спектра в соседних каналах.

Форма модулирующего сигнала: синус, треугольник, прямоугольник, «пила»

Суммарный коэффициент нелинейных искажений: менее 0,1% (на отстройке 100кГц при модуляции синусом с частотой 1 кГц), обычно 0,01%.

6.6.3 Пошаговое изменение частоты

Точность установки соответствует точности в режиме генерации сигнала фиксированной частоты. Количество шагов: от 2 до 10 000.

6.7 Импульсная модуляция

Ширина импульса: от 6 нс до 25 мс

Стандартная длительность переднего фронта импульса (10%-90%): 3,5 нс (ч-та 2,4 ГГц)

Стандартная длительность заднего фронта импульса (90%-10%): 2,5 нс (ч-та 2,4 ГГц)

Разрешение по длительности импульса: менее 0,1%

Период импульса: от 12 нс до 1 с.

Ширина импульса равна количеству тактов $(1...2047) \cdot M$, где $M = 1...15$; период импульса равен количеству тактов $(2...65535) \cdot N$, где $N = 1...15$. Частота тактовых импульсов может изменяться от 800 кГц до 180 МГц.

6.8 Многотональный режим работы

Количество частот (тонов): от 2 до 1023

Шаг частот: от 1 кГц до 10 МГц.

Точность определяется точностью тактового генератора символов.

Зависимость фазы отдельных тонов от частоты: случайная или параболическая

При параболической зависимости фаза k -й частоты равна $\pi \cdot (k-1)^2 / N$, где N – количество частот до k -й частоты от центра.

Максимальная ширина спектра: 100 МГц

6.9 Манипуляция PSK/QAM

Типы модуляции: BPSK, QPSK, DQPSK, $\pi/4$ DQPSK, OQPSK, 8PSK, 16PSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM.

Фильтрация: «косинус на пьедестале» (raised cosine) и RRC с настраиваемой крутизной спада характеристики.

Виды последовательностей: PN7, PN9, пользовательская.

Отсчётов на символ	Макс. число символов	Минимальная скорость	Максимальная скорость
4	512 (PN9)	16 kHz	45 MHz
8	256	8 kHz	22.5 MHz
16	128 (PN7)	4 kHz	11.25 MHz

Типичное значение величины вектора ошибки (EVM) для типа манипуляции QPSK со скоростью передачи данных 1 MSPS составляет менее 1% среднеквадратического значения (RMS).

6.10 Модуляция с настраиваемыми параметрами

Модуляция с пользовательскими установками использует память с количеством I/Q отсчётов от 2 до 2048 и с периодом от 2 до 65535 отсчётов с тактовой частотой от 53,333 кГц до 180 МГц.

В случае, если «включенное» состояние сигнала модуляции имеет длительность меньше периода модулирующего сигнала, первый и последний отсчёты должны совпадать. Обычно это значение «0», которое удерживается в течение «отключенного» состояния сигнала модуляции.

Точность установки амплитуды: то же, что при цифровой модуляции, когда среднеквадратическое значение $(I^2+Q^2) = 1,0$

Диапазон входных значений: от -1,5 до 1,5

6.11 Тактовая частота ЦАП

Тактовая частота выбирается автоматически в зависимости от параметров сигнала. Нижеприведенная формула показывает расчёт необходимой частоты тактовых импульсов. В случае, когда невозможно получить точное рассчитанное значение частоты, программное обеспечение выбирает ближайшее к нему значение.

$$F_{\text{CLK}} = 24 \text{ МГц} \cdot N / (M \cdot D \cdot P)$$

где $N = 1 \dots 4095$, $D = 1 \dots 127$, $M = 1 \dots 511$, $P = 1 \dots 15$.

Соотношение N и M должно отвечать условию $100 \leq (24N/M) \leq 200$.

Пример 1: 13,4912 МГц (1,6864 МГц · 8)

$(24 \cdot 2108)/(375 \cdot 10)$, ошибка 0 ppm

Пример 2: 2,1666667 МГц (270,833333 кГц · 8), GSM

$(24 \cdot 611)/(144 \cdot 47)$, ошибка 0 ppm

Пример 3: 9,8304 МГц (1,2288 МГц · 8), CDMA

$(24 \cdot 768)/(125 \cdot 15)$, ошибка 0 ppm

Пример 4: 1.0001 МГц

$(24 \cdot 1250)/(297 \cdot 101)$, ошибка 0,01 ppm

6.12 Типы разъёмов

Данные и питание: USB 2.0 тип B

Радиочастотный выход: SMA (F)

6.13 Характеристики устройства

Требования к питанию, обеспечивающие заявленные характеристики:

Разъём USB, напряжение 4,75-5,25 В, ток 450 мА.

При подключении к разъёмам USB с напряжением менее 4,75 В (как в планшетных компьютерах) ухудшается фильтрация и снижается амплитуда сигналов с шириной спектра более 5 МГц.

Рабочая температура: от 18 до 28 °С (калиброванная) или от 0 до 50 °С (некалиброванная).

Размеры: 140мм x 57мм x 25,4мм

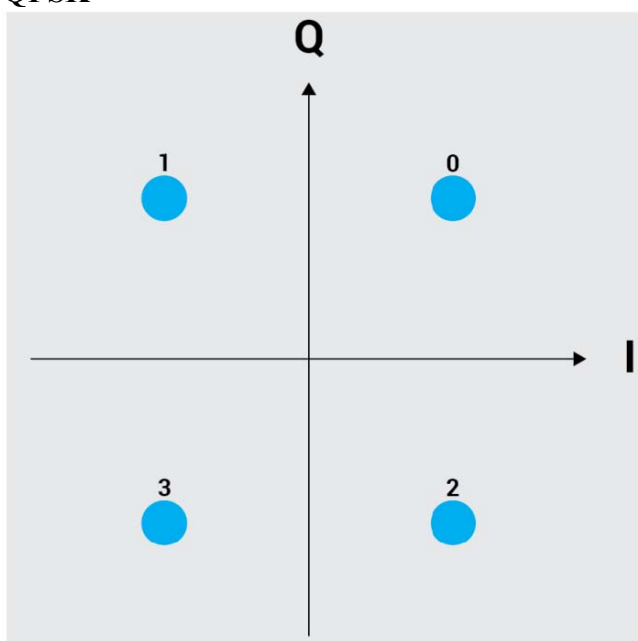
Вес: 140 грамм

6.14 Приложение А: Карта сигнальных созвездий

BPSK

Данные	Изменение фазы
0	0
1	π

QPSK



DQPSK

Данные	Изменение фазы
0	0
1	$+\pi/2$
2	$-\pi/2$
3	π

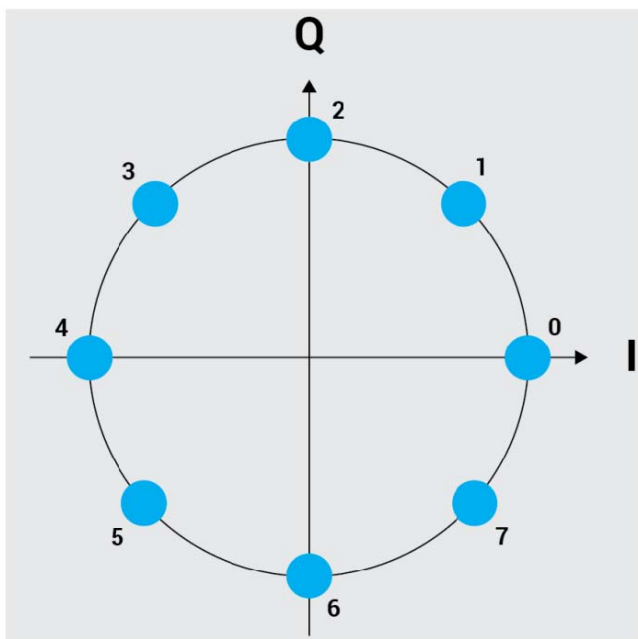
$\pi/4$ DQPSK

Данные	Изменение фазы
0	$+\pi/4$
1	$+3\pi/4$
2	$-\pi/2$
3	$-3\pi/4$

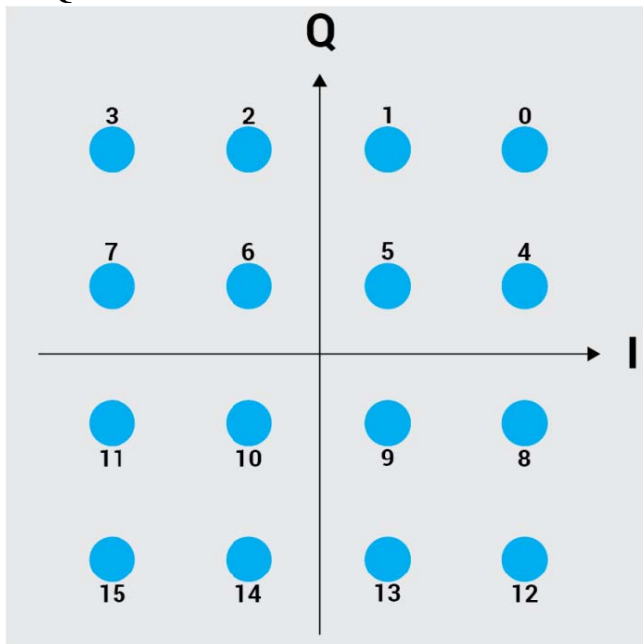
D8PSK

Данные	Изменение фазы
0	0
1	$+\pi/4$
2	$+3\pi/4$
3	$+\pi/2$
4	$-\pi/4$
5	$-\pi/2$
6	$-\pi$
7	$-3\pi/4$

8-PSK



16-QAM



16PSK аналогичен 8PSK за исключением шага фазы $\pi/8$.

Манипуляция «смещенная QPSK» аналогична QPSK, канал Q имеет задержку $\frac{1}{2}$ символа.

Кодировка 64QAM и 256QAM осуществляется аналогично 16QAM (справа налево, сверху вниз).

Данные FSK/MSK относятся ко второму типу (кодировка не дифференциальная).

Символы манипуляции ASK: «0» – малая амплитуда, «1» – большая.