

# Временная синхронизация сигналов нескольких векторных генераторов сигналов R&S®SMBV100A

## Указания по применению

### Изделия:

I R&S®SMBV100A

В данном документе описано, как добиться временной синхронизации сигналов, поступающих от нескольких векторных генераторов сигналов R&S®SMBV100A.

Синхронизация приборов основана на использовании принципа "ведущий-ведомый", где один из приборов R&S®SMBV100A работает как ведущее устройство и подает все необходимые для синхронизации сигналы на остальные приборы (ведомые). Принцип очень прост и обеспечивает высокую точность синхронизации тестовых сигналов.

Временная синхронизация сигналов необходима для некоторых применений. Принцип ведущий-ведомый идеален для базовых тестов MIMO-систем, определенных сценариев тестирования ГНСС и приложений WLAN IEEE 802.11ac. Более того, синхронизация модулирующих сигналов является основой для последующей генерации с помощью R&S®SMBV100A ВЧ-сигналов с фазовой когерентностью.

# Содержание

|           |                                                                                   |           |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b>  | <b>Примечание .....</b>                                                           | <b>4</b>  |
| <b>2</b>  | <b>Введение .....</b>                                                             | <b>4</b>  |
| <b>3</b>  | <b>Схема ведущий-ведомый .....</b>                                                | <b>5</b>  |
| 3.1       | Подключение кабелей.....                                                          | 6         |
| 3.1.1     | Тактовый сигнал .....                                                             | 6         |
| 3.1.2     | Сигнал опорной частоты.....                                                       | 6         |
| 3.2       | Настройки .....                                                                   | 7         |
| 3.2.1     | Настройки тактовой частоты.....                                                   | 7         |
| 3.2.2     | Настройка опорной частоты.....                                                    | 9         |
| 3.3       | Запуск.....                                                                       | 9         |
| 3.3.1     | Внешний запуск.....                                                               | 9         |
| 3.3.2     | Внутренний запуск.....                                                            | 11        |
| 3.4       | Поверочное измерение .....                                                        | 13        |
| 3.5       | Проверка и оптимизация синхронизации сигналов.....                                | 15        |
| 3.6       | Поиск и устранение неисправностей .....                                           | 17        |
| <b>4</b>  | <b>Применение: установка для работы с сигналами MIMO .....</b>                    | <b>19</b> |
| <b>5</b>  | <b>Применение: установка для работы с сигналами ГНСС .....</b>                    | <b>21</b> |
| <b>6</b>  | <b>Применение: установка для работы с сигналами WLAN IEEE 802.11ac.....</b>       | <b>25</b> |
| <b>7</b>  | <b>Дистанционное управление в режиме ведущий-ведомый.....</b>                     | <b>27</b> |
| <b>8</b>  | <b>Генерация сигналов с фазовой когерентностью .....</b>                          | <b>30</b> |
| 8.1       | Подключение кабелей.....                                                          | 30        |
| 8.2       | Настройки .....                                                                   | 31        |
| 8.3       | Запуск.....                                                                       | 31        |
| 8.4       | Фазовая когерентность немодулированных сигналов (CW) .....                        | 32        |
| 8.5       | Фазовая когерентность I/Q модулированных сигналов.....                            | 34        |
| 8.5.1     | Частный случай: установка для измерения фазы несущей в сигналах ГНСС .....        | 35        |
| <b>9</b>  | <b>Применение: установка для измерения расфазировки усилителей мощности .....</b> | <b>37</b> |
| <b>10</b> | <b>Заключение .....</b>                                                           | <b>40</b> |

|           |                                      |           |
|-----------|--------------------------------------|-----------|
| <b>11</b> | <b>Используемые сокращения .....</b> | <b>41</b> |
| <b>12</b> | <b>Библиография .....</b>            | <b>41</b> |
| <b>13</b> | <b>Информация для заказа.....</b>    | <b>42</b> |

# 1 Примечание

В данных указаниях по применению для обозначения прибора R&S®SMBV100A производства компании Rohde & Schwarz используется сокращение “SMBV”.

# 2 Введение

В данном документе объясняется, как синхронизировать по времени сигналы от нескольких векторных генераторов SMBV (раздел 3). Синхронизация приборов основана на принципе ведущий-ведомый (master-slave), при этом один прибор SMBV работает как ведущий и обеспечивает работу всех необходимых для синхронизации сигналов, которые поступают на ведомые приборы SMBV. Схема для обеспечения синхронизации очень проста и обеспечивает высокую точность синхронизации сигналов без необходимости использования дополнительного внешнего оборудования. Режим ведущий-ведомый является стандартным для опций цифровой модуляции SMBV генераторов R&S®SMBV-B10, R&S®SMBV-B50 и R&S®SMBV-B51 – для работы данного режима не требуется дополнительных опций. Доступно для всех стандартов и произвольных сигналов ARB.

Временная синхронизация сигналов востребована в некоторых применениях. Например, метод ведущий-ведомый идеален для базовых испытаний ММО без имитации замираний, для определенных сценариев тестирования ГНСС и приложений WLAN IEEE 802.11ac с каналами 80 МГц + 80 МГц (см. описание в разделах 4, 5 и 6 соответственно). Синхронные модулирующие сигналы также необходимы для генерации когерентных по фазе сигналов ВЧ-несущих с помощью SMBV. Для этого режим ведущий-ведомый используется в комбинации с опцией фазовой когерентности генератора SMBV (раздел 8). Фазовая когерентность сигналов необходима, например, для тестирования расфазировки усилителей мощности (раздел 9).

В данные указания по применению также включены примеры использования дистанционного управления настройкой режима ведущий-ведомый (раздел 7), а в разделе о поиске неисправностей (3.6) дана полезная при настройке информация.

### 3 Схема ведущий-ведомый

На рисунках 1 и 2 показана настройка режима ведущий-ведомый для двух и четырех приборов SMBV, соответственно.



Рис. 1 – Схема ведущий-ведомый для двух генераторов SMBV.

Один SMBV работает как ведущий прибор, второй SMBV – как ведомый. Ведущий обеспечивает тактовый сигнал и сигнал запуска синхронизации (через одни и те же кабельные соединения).

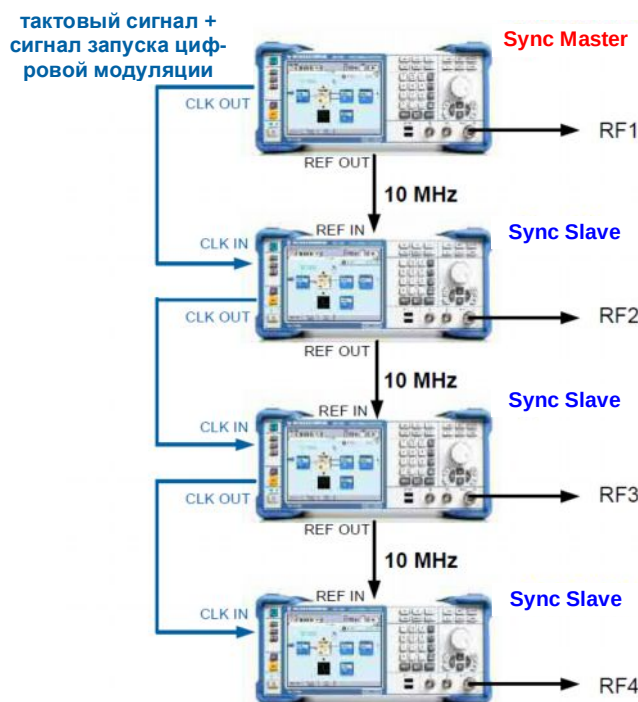


Рис. 2 – Схема ведущий-ведомый для четырех генераторов SMBV.

## 3.1 Подключение кабелей

Между каждыми двумя генераторами SMBV необходимо наличие только двух кабельных соединений:

- одного для передачи тактовой частоты цифровой модуляции
- одного для передачи опорной частоты 10 МГц

### 3.1.1 Тактовый сигнал

Ведомые приборы получают тактовый сигнал ведущего прибора для обеспечения *общей тактовой частоты цифровой модуляции* для всех приборов. Тактовый сигнал всегда содержит *сигнал запуска*<sup>1</sup>. Это означает, что тактовая частота и сигнал запуска передаются через один кабель. Использование такого сигнала синхронизации вида «два-в-одном» обеспечивает большую точность запуска и гарантирует одновременный запуск генерации сигналов всеми SMBV. Кроме того, такая система обеспечивает надежность синхронизации всех SMBV с течением времени.

Тактовый сигнал распределяется по ведомым приборам с помощью обычной последовательной схемы подключения: подключить разъем CLK OUT ведущего генератора SMBV к разъему CLK IN первого ведомого SMBV; подключить разъем CLK OUT первого ведомого SMBV к разъему CLK IN второго ведомого SMBV, и так далее.

Частота общего тактового сигнала всегда составляет 50 МГц. Тактовый сигнал усиливается встроенными средствами для предотвращения ослабления уровня сигнала в случае последовательного подключения более двух приборов. Импеданс также согласован и составляет 50 Ом.

Настройка режима ведущий-ведомый имеет собственную погрешность синхронизации, которая возникает из-за того, что сигналу запуска необходимо пройти весь путь от ведущего до ведомого, а затем от ведомого до ведомого. Эта задержка сигнала запуска зависит от длины кабелей между приборами. Когда сигнал запуска поступает на ведомый прибор, необходимо некоторое время на внутренние процессы в ведомом приборе, после выполнения которых сигнал поступит на ВЧ-выход. Однако эта внутренняя задержка автоматически компенсируется ведомым SMBV. Дополнительно SMBV может также компенсировать задержку запуска. Для этого пользователю необходимо ввести длины используемых кабелей. Данная автоматическая компенсация задержки<sup>2</sup> делает возможным достижение практически совершенной синхронизации по времени. При использовании автоматической компенсации задержки, остаточная погрешность синхронизации схемы ведущий-ведомый составляет менее 1 нс.

### 3.1.2 Сигнал опорной частоты

Сигнал опорной частоты 10 МГц, вырабатываемый ведущим прибором, распределяется по ведомым приборам с помощью обычной последовательной схемы: подключить разъем REF OUT ведущего SMBV к разъему REF IN первого ведомого SMBV. Подключить разъем REF OUT первого ведомого SMBV к разъему REF IN второго ведомого SMBV, и так далее.

<sup>1</sup> Информация о запуске модулируется тактовым сигналом для встроенного ПО версий 2.05.269 и выше.

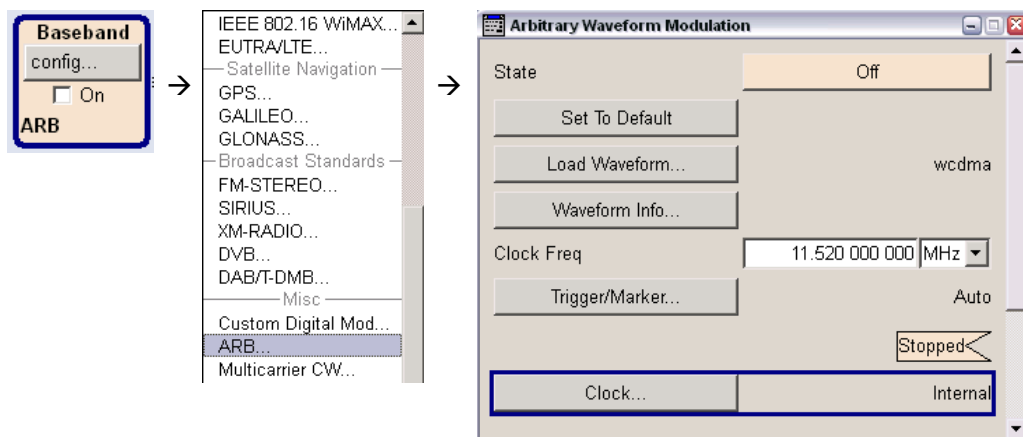
<sup>2</sup> Автоматическая компенсация задержки доступна для встроенного ПО версии 2.20.xx и выше.

## 3.2 Настройки

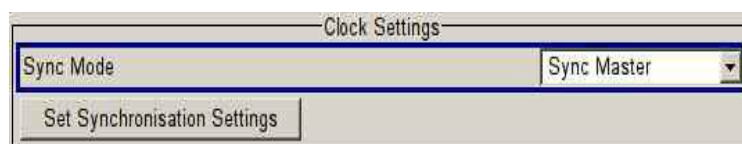
### 3.2.1 Настройки тактовой частоты

#### Ведущий (Master)

Откройте меню Trigger/Marker/Clock нажатием кнопки “Clock” в главном меню цифрового стандарта. Главное меню – это первое окно, которое открывается, если в блоке “Baseband” генератора SMBV выбран цифровой стандарт или ARB-сигнал.

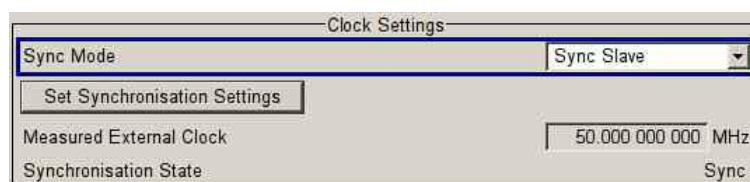


Установите значение “Sync Master” для режима синхронизации “Sync Mode”. Нажмите кнопку “Set Synchronisation Settings”. После нажатия клавиши, настройки запуска/маркера для режима ведущий-ведомый конфигурируются автоматически. (В некоторых случаях может возникнуть потребность изменить настройки запуска/маркера согласно описанию в разделе 3.3).



#### Ведомый (Slave)

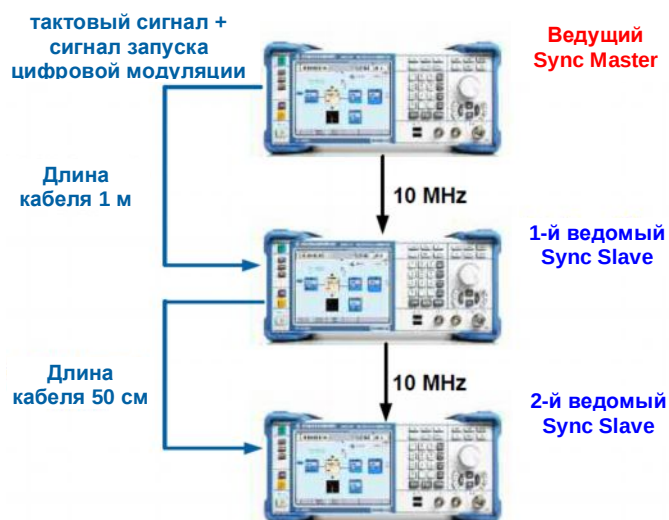
Откройте меню Trigger/Marker/Clock нажатием кнопки “Clock” в главном меню цифрового стандарта. Установите значение “Sync Slave” для режима синхронизации “Sync Mode”. Нажмите кнопку “Set Synchronisation Settings”. После нажатия клавиши, установки запуска/маркера для режима ведущий-ведомый конфигурируются автоматически.



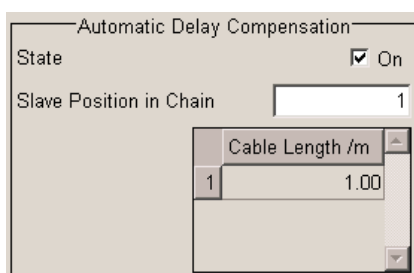
Нажмите кнопку “Global Trigger/Clock Settings” (глобальные настройки запуска/такта).



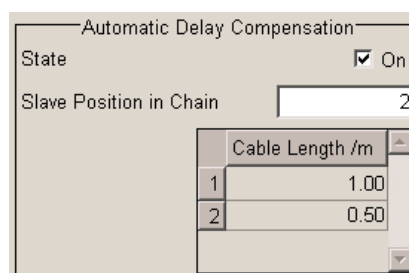
Установите параметр “Automatic Delay Compensation State” в состояние “On” (стандартная настройка). Введите позицию ведомого SMBV в схеме. Если прибор является первым ведомым в схеме, то установите значение параметра “Slave Position in Chain” равным “1”. Если прибор является вторым ведомым в схеме, то установите значение параметра “Slave Position in Chain” равное “2”, и так далее. Наконец, введите физические длины кабелей, которые используются для передачи тактового сигнала цифровой модуляции. Для первого ведомого SMBV введите длину кабеля между ведущим и первым ведомым прибором. Для второго ведомого SMBV введите длину кабеля между ведущим SMBV и первым ведомым и длину кабеля между первым ведомым и вторым ведомым. Для третьего ведомого SMBV введите все три длины кабелей и так далее. Конфигурация ведомых приборов продемонстрирована на следующем примере:



Пример настройки 1-го ведомого SMBV



Пример настройки 2-го ведомого SMBV



Обычные BNC-кабели содержат диэлектрики с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_r = 2,7$  (или близкой к этому значению).

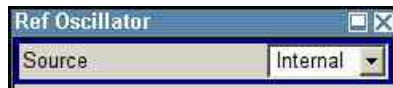
Точность синхронизации менее 1 нс может быть достигнута только в случае, если будут использованы кабели с данной диэлектрической проницаемостью и будет правильно введена физическая длина кабелей. По умолчанию значение длины составляет 0,5 м. Если используются более длинные или короткие кабели, а длина кабелей в настройках не изменена, то это приведет к некомпенсируемой задержке, которая может составлять порядка нескольких нс. Для диэлектрической проницаемости  $\epsilon_r = 2,7$  скорость распространения сигнала в кабеле составляет  $c/\sqrt{\epsilon_r} = 1,8 \cdot 10^8$  м/с, где  $c$  – скорость света. Задержка запуска при длине кабеля 1 м, таким образом, имеет величину 5,5 нс. Например, если использовать кабель длиной 1 м и не изменить длину кабеля в настройках, то неучтенная длина составит 50 см, что приведет к некомпенсированной задержке 2,75 нс.



### 3.2.2 Настройка опорной частоты

#### Ведущий (Master)

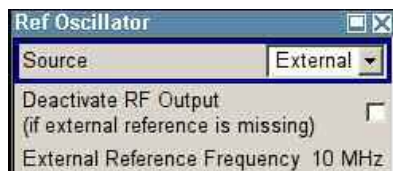
Откройте меню опорного генератора “Reference Oscillator”. Установите параметр “Source” (источник) в значение “Internal” (внутренний).



(Также можно использовать внешний источник опорной частоты 10 МГц, подключив его к разъему REF IN ведущего SMBV.)

#### Ведомый (Slave)

При нажатии кнопки “Set Synchronisation Settings” в меню Reference Oscillator, параметр “Source” автоматически принимает значение “External” (внешний).



## 3.3 Запуск

Запуск системы ведущий – ведомый может осуществляться двумя различными способами:

- Внешний запуск
- Внутренний запуск

Внешний запуск – ведущий генератор SMBV запускается внешним сигналом запуска. Внутренний запуск – ведущий генератор SMBV запускается внутренним сигналом запуска. В обоих случаях, ведомые SMBV запускаются ведущим SMBV.

### 3.3.1 Внешний запуск

На рис. 3 показана схема системы ведущий-ведомый для двух SMBV с внешним запуском.



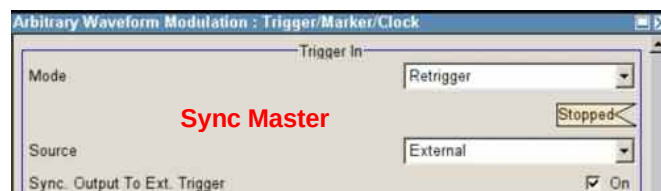
Рис. 3 – Система ведущий-ведомый с внешним запуском.

### Ведущий (Master)

Подключите внешний источник сигнала запуска к разъему TRIG. Обратите внимание, что нужно подключить внешний источник сигнала запуска только к ведущему прибору; ведомые приборы будут получать сигнал запуска от ведущего по линии передачи тактовой частоты.

Откройте меню Trigger/Marker/Clock нажатием кнопки “Trigger/Marker” в главном меню цифрового стандарта. Параметр “Mode” (режим) автоматически принимает значение “Retrigger” (перезапуск) при нажатии кнопки “Set Synchronisation Settings”. Установите параметр “Source” (источник) в значение “External” (внешний). Включите параметр “Sync. Output To Ext. Trigger” (синхронизация выхода с внешним сигналом запуска) (стандартная настройка).

(При желании также можно отключить параметр “Sync. Output To Ext. Trigger”. Чтобы подробнее узнать о влиянии этого параметра, см. руководство по эксплуатации или оперативно-доступную справочную систему прибора SMBV.)



Обратите внимание, что в режиме “Retrigger”, генерация сигнала начинается автоматически при активации цифровой модуляции. Если вы не хотите, чтобы генерация сигнала начиналась автоматически – используйте режим “Armed Retrigger” (ручной перезапуск).

### Ведомый (Slave)

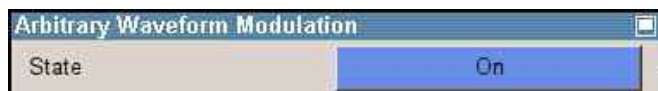
Откройте меню Trigger/Marker/Clock нажатием кнопки “Trigger/Marker” в главном меню цифрового стандарта. Параметр “Mode” (режим) автоматически принимает значение “Retrigger” (перезапуск) при нажатии кнопки “Set Synchronisation Settings”. Установите параметр “Source” (источник) в значение “External” (внешний). Активируйте параметр “Sync. Output To Ext. Trigger” (синхронизация выхода с внешним сигналом запуска), если он включен в ведомом приборе и деактивируйте его, если он выключен в ведомом приборе.



Обратите внимание, что в режиме “Retrigger”, генерация сигнала начинается автоматически при активации цифровой модуляции. Если вы не хотите, чтобы генерация сигнала начиналась автоматически – используйте режим “Armed Retrigger” (ручной перезапуск).

### Ведущий и ведомый (Master and slave)

Сконфигурируйте модулирующий сигнал для ведущего и ведомого (ведомых) приборов в соответствии с вашими требованиями. Затем, в главном меню цифрового стандарта ведущего прибора установите параметр “State” в значение “On”. Подождите, пока появится значок . После этого для ведомого (ведомых) прибора установите состояние “State” в значение “On”.



Когда значок  появится на всех ведомых приборах – настройка системы ведущий-ведомый считается завершенной.

**Генерация сигналов синхронизируется на всех приборах с возникновением события внешнего запуска.**

### 3.3.2 Внутренний запуск

На рис. 4 показана схема ведущий-ведомый для двух генераторов SMBV с использованием внутреннего запуска.



Рис. 4 – Схема ведущий-ведомый с внутренним запуском.

### Ведущий (Master)

Ведущий прибор генерирует внутренний сигнал запуска. Ведомые приборы получают сигнал запуска от ведущего по линии передачи тактовой частоты.

Откройте меню Trigger/Marker/Clock нажатием кнопки “Trigger/Marker” в главном меню цифрового стандарта. Параметр “Mode” (режим) автоматически принимает значение “Retrigger” (перезапуск) при нажатии кнопки “Set Synchronisation Settings”. Установите параметр “Source” (источник) в значение “Internal” (внутренний) (стандартная настройка).



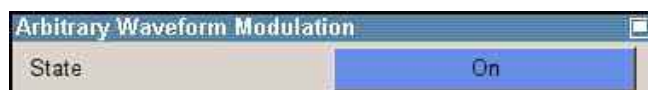
### Ведомый (Slave)

Откройте меню Trigger/Marker/Clock нажатием кнопки “Trigger/Marker” в главном меню цифрового стандарта. При нажатии кнопки “Set Synchronisation Settings” параметр “Mode” (режим) автоматически принимает значение “Retrigger” (перезапуск), а параметр “Source” – значение “External”. Деактивируйте параметр “Sync. Output To Ext. Trigger” (синхронизация выхода с внешним сигналом запуска)



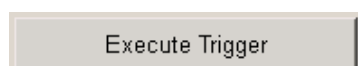
### Ведущий и ведомый (Master and slave)

Сконфигурируйте модулирующий сигнал для ведущего и ведомого (ведомых) приборов в соответствии с вашими требованиями. Затем в главном меню цифрового стандарта ведущего прибора установите параметр “State” в значение “On”. Подождите, пока появится значок . После этого для ведомого (ведомых) прибора установите состояние “State” в значение “On”.

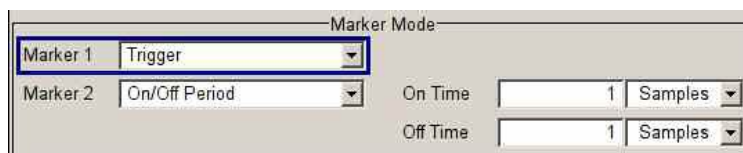


Когда значок  появится на всех ведомых приборах – настройка системы ведущий-ведомый будет завершена.

**Генерация сигналов синхронизируется на всех приборах с нажатием кнопки “Execute Trigger” на ведущем приборе SMBV.**



Внутренний сигнал запуска может также подаваться на испытуемое устройство и на другое измерительное оборудование, например, с целью синхронизации. В меню Trigger/Marker/Clock установите параметр Marker 1 в значение “Trigger”. При этом внутренний сигнал запуска поступает в качестве выходного сигнала на разъем MARKER 1 генератора SMBV (доступно как для ведущего, так и для ведомых приборов). Этот сигнал запуска может быть подключен к испытуемому устройству и другому измерительному оборудованию.



### 3.4 Поверочное измерение

Для измерений используется схема ведущий-ведомый, показанная на рис. 5 (внутренний запуск). Оба SMBV генерируют одинаковые модулирующие сигналы, поэтому они могут сравниваться напрямую. Аналоговый синфазный сигнал I с ведущего прибора поступает на осциллограф, например, на R&S® RTO или R&S® RTM. Синфазный сигнал I с ведомого устройства поступает на второй канал осциллографа через кабель того же типа и точно такой же длины. Сигнал с выхода MARKER 1 может быть использован как сигнал запуска для осциллографа (см. рис. 5).



Рис. 5 – Схема измерений для временной подстройки модулирующих сигналов.

На снимке экрана осциллографа видно, что оба синфазных сигнала I синхронизированы.

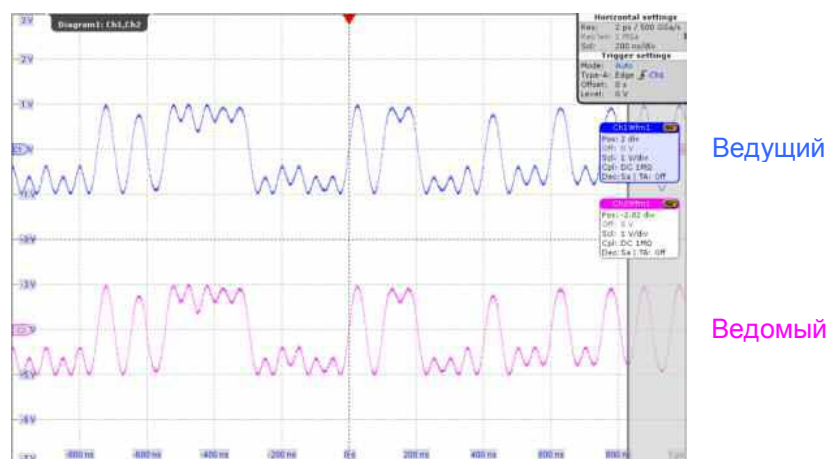


Рис. 6 – Синфазные сигналы I ведущего и ведомого приборов во временной области (масштаб: 200 нс/деление).

Рассмотрим подробнее рисунок, на котором кривые двух сигналов наложены друг на друга, и убедимся в их отличной синхронизации.

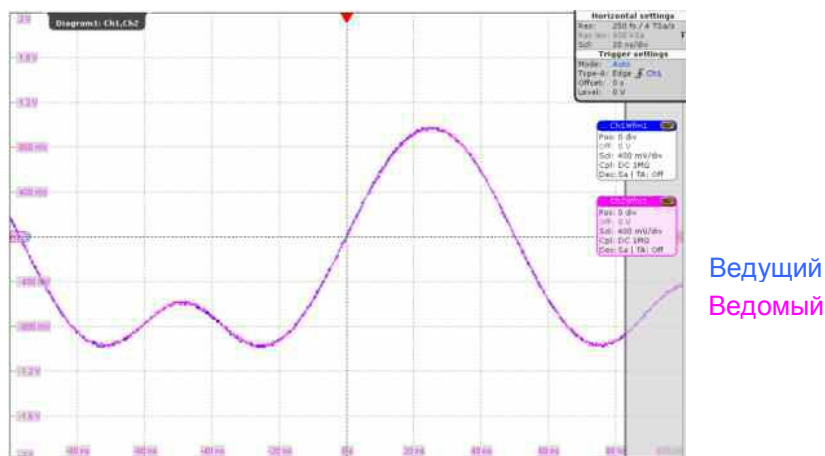


Рис. 7 – Синфазные сигналы I ведущего и ведомого приборов во временной области (масштаб: 20 нс/деление).

При еще более подробном рассмотрении мы увидим, что имеется остаточная временная разница между двумя кривыми, которая измерена с помощью курсоров осциллографа. В данном примере разница составляет всего лишь 0,31 нс.

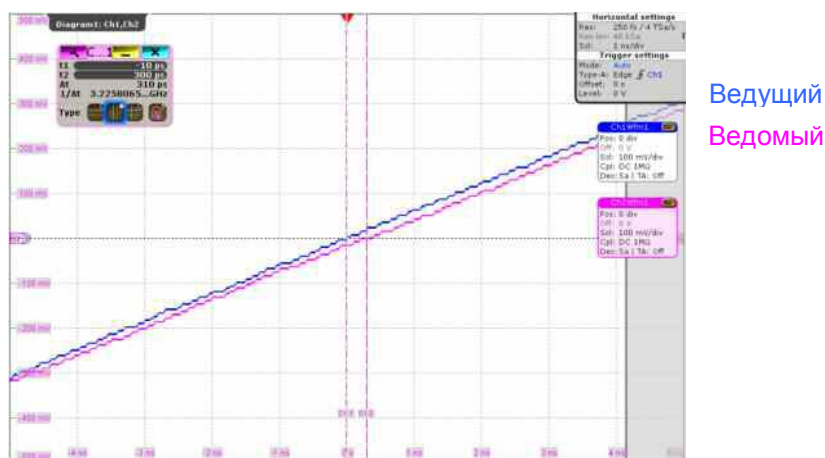


Рис. 8 – Синфазные сигналы I ведущего и ведомого приборов во временной области (масштаб: 1 нс/деление).

Обратите внимание, что для синхронизации приборов необходимо нажать кнопку “Execute Trigger” (выполнить запуск) на ведущем приборе SMBV. В противном случае при внутреннем запуске ведущий и ведомый приборы не синхронизируют выходные сигналы.

В результате измерений мы видим, что два генератора SMBV синхронизированы с большой точностью и очень маленькой погрешностью, в данном примере составляющей всего 0,31 нс. Обратите внимание, что разница между введенными длинами кабелей и реальными длинами используемых кабелей может привести к погрешности порядка нескольких нс. Например, если разница между введенной и используемой длиной кабеля составляет 50 см, то на осциллографе между двумя синфазными сигналами I будет наблюдаться временная разница 2,5 нс (более подробно см. раздел 3.2.1).

Отличная синхронизация модулирующих сигналов обычно означает и отличную синхронизацию ВЧ-сигналов. В некоторых случаях ВЧ-секции генераторов SMBV могут оказывать небольшое влияние на синхронизацию. Например, если для двух генераторов SMBV используются различные выходные ВЧ-уровни, то настройки ступенчатых аттенюаторов могут отличаться, что может привести к незначительной разнице во времени прохождения ВЧ-секции. Однако такое влияние будет незначительным. Дополнительная временная разница составила бы менее 1 нс.

### 3.5 Проверка и оптимизация синхронизации сигналов

Для применений с крайне строгими требованиями к точности синхронизации временные параметры генераторов SMBV могут быть перекрестно проконтролированы и даже оптимизированы (если это возможно) с помощью простой схемы измерения, для которой требуется лишь стандартный осциллограф, например, R&S® RTM. Такая схема показана на рис 5. Обратите внимание, что кабели, с помощью которых сигнал подается на осциллограф, должны быть одного типа и совершенно одинаковой длины. Например, оптимизация синхронизации генераторов SMBV может понадобиться в случае, если неизвестна точная длина кабелей и поэтому на приборах SMBV может быть введена только приблизительная длина. Дополнительная оптимизация возможна даже для описанного в предыдущем разделе случая отличной синхронизации с измеренной погрешностью ниже 0,31 нс.

Для точной синхронизации генераторов SMBV по времени используется простая и быстрая методика подстройки. Во-первых, используйте курсор осциллографа для измерения временной разницы между синфазными сигналами I от ведущего и ведомого приборов. Обратите внимание, что для выполнения этих измерений оба генератора SMBV должны генерировать (временно) один и тот же модулирующий сигнал. Например, допустим, что измеренная разница составляет 38 нс – такое значение может получиться в случае отключения автоматической компенсации. (Мы выбрали пример с «большой» разницей, так как в этом случае применение осциллографа может быть продемонстрировано лучше.)



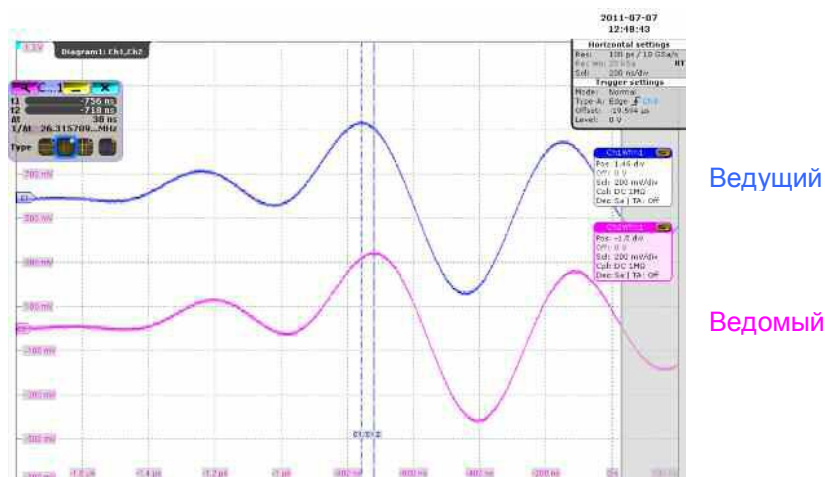
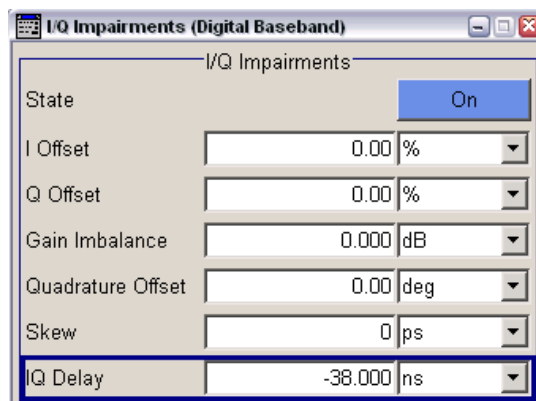
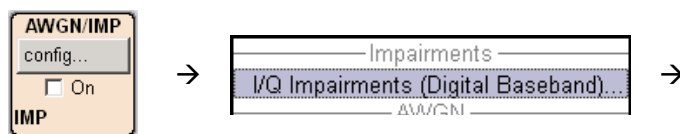


Рис. 9 – Синфазные сигналы I ведущего и ведомого приборов во временной области до временной подстройки.

Откройте меню I/Q Impairments (Digital Baseband) на ведомом SMBV и введите измеренную временную разницу как отрицательную задержку I/Q (I/Q delay).



В данном примере, параметр задержки "IQ Delay" установлен в значение -38 нс. Обратите внимание, что параметр I/Q Delay может быть установлен в режиме реального масштаба времени, без прерывания генерации сигнала. Вы можете затем использовать этот параметр для точной настройки синхронизации в реальном масштабе времени. На снимке экрана осциллографа показано, что два синфазных сигнала I неудовлетворительно подстроены по времени.



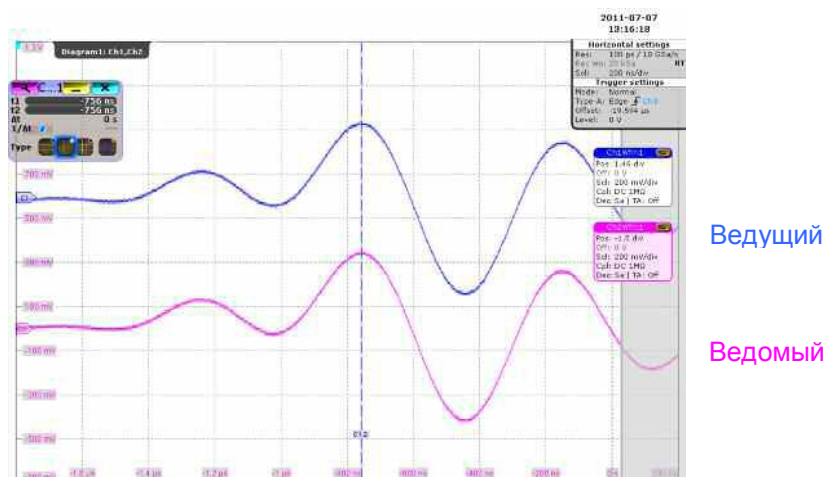


Рис. 10 – Синфазные сигналы I ведущего и ведомого приборов во временной области после временной подстройки.

Параметр I/Q delay, который должен быть задан для достижения хорошей синхронизации модулирующих сигналов, является константой и не изменяется после выключения и включения приборов SMBV. Это означает, что параметр I/Q delay необходимо определить только один раз, и он может использоваться в течение длительного времени, если параметры схемы не изменяются.

В реальных условиях работы модулирующие сигналы, генерируемые системой ведущих-ведомых SMBV, обычно отличаются. Однако для измерений, описанных выше, необходима (временная) генерация идентичных модулирующих сигналов. Не имеет значение, какой именно сигнал генерируется, важно, чтобы сигналы были одинаковы. После подстройки по времени, для каждого SMBV может быть задана генерация различных модулирующих сигналов, которые требуются для конкретного применения.

## 3.6 Поиск и устранение неисправностей

Данный раздел поможет вам при отладке работы вашей системы. Мы перечислили некоторые типы неисправностей и инструкции по их исправлению.

- Измеренная временная разница между синфазными сигналами I от ведущего и ведомого значительно больше чем 1 нс.
  - Проверьте, включена ли автоматическая компенсация задержки. Если не включена – включите ее.
  - Проверьте, введены ли корректные длины кабелей для каждого SMBV для автоматической компенсации задержки.
  - Проверьте, одинаковой ли длины кабели, подключенные к осциллографу. Если нет, замените их другими кабелями того же типа, имеющими совершенно одинаковую длину.
  - Проверьте, не используется ли режим запуска “Auto” для ведущего SMBV. Если используется, измените режим на “Retrigger”.
  - Проверьте, отключен ли параметр “Sync. Output To Ext. Trigger” на ведомом SMBV, если используется в схеме ведущий-ведомый внутренний запуск. Если параметр не отключен – отключите его.
  - Нажмите кнопку “Execute Trigger” (выполнить запуск) на ведущем SMBV или иницируйте внешнее событие запуска.

- Проверьте состояние параметра “Synchronisation State” на ведомом SMBV. Значение должно быть задано как “Sync”.
- Параметр “Synchronisation State” ведомого SMBV имеет значение “Not Sync”.



- Проверьте правильность подключения кабеля синхронизации цифровой модуляции.
- Проверьте, включен ли блок цифровой модуляции на ведомом SMBV. Если выключен, то ведомый прибор не обеспечивает передачу тактового сигнала ведомым устройствам. Поэтому прежде чем включать блок модуляции на ведомых устройствах убедитесь в том, что блок модуляции включен на ведущем устройстве.
- Осциллограф не запускается корректно
  - При использовании внутреннего запуска проверьте, установлен ли режим использования выхода как “Trigger”.
  - Используйте на осциллографе однократный режим запуска. Когда осциллограф находится в режиме ожидания сигнала запуска, нажмите кнопку “Execute Trigger” на ведущем SMBV для инициации сигнала запуска или инициации внешнего события запуска.
- Кривые синфазных сигналов I ведущего и ведомого приборов выглядят на осциллографе совершенно по-разному, а не просто сдвинутыми относительно друг друга.
  - Проверьте параметр “Synchronisation State” ведомого SMBV. Он должен быть задан как “Sync”.
  - Проверьте, задана ли в обоих SMBV генерация одинаковых сигналов. Если для вашего применения вам необходимо использовать два разных модулирующих сигнала, для данного измерения временно используйте одинаковые сигналы.
  - Проверьте, не включен ли сдвиг фаз модулирующего сигнала на одном из приборов. Если да, то отключите сдвиг фаз на время выполнения измерений, так как он приводит к искажениям сигнала I.
  - Нажмите клавишу “Execute Trigger” на ведущем SMBV или иницируйте внешнее событие запуска.
- После включения/выключения приборов ведомые SMBV показывают постоянное сообщение об ошибке: “Baseband-Synchronisation between devices failed!” (ошибка синхронизации цифровой модуляции приборов).
  - Нажмите кнопку “Set Synchronisation Settings” на ведомом SMBV, а затем нажмите кнопку “Execute Trigger” на ведущем приборе или иницируйте внешнее событие запуска.
- ВЧ-сигналы не когерентны по фазе даже после точной временной подстройки модулирующих сигналов.
  - Это ожидаемо. Режим ведущий-ведомый гарантирует *временную* синхронизацию ВЧ-сигналов, но не *фазовую* когерентность сигналов. Для обеспечения фазовой когерентности сигналов требуется общий сигнал гетеродина для ведущего и ведомого приборов, а также фазовая калибровка. Более подробно об этом можно прочитать в разделе 8.

## 4 Применение: установка для работы с сигналами MIMO

Наличие соответствующих опций позволяет генератору SMBV передавать сигналы SISO и формировать пространственно разнесенные и объединенные сигналы MIMO, отвечающие требованиям таких современных стандартов связи, как LTE, HSPA+, WiMAX™ и WLAN IEEE 802.11. Может быть эмулировано до четырех различных передающих антенн с разнесенным или пространственным разделением предварительно кодированных данных. Если имитация замираний в реальном времени не требуется, несколько приборов SMBV в режиме ведущий-ведомый формируют экономичную систему, например, для базового тестирования MIMO 2x2 или 4x4. Временная синхронизация сигналов тестирования позволяет проводить точные и повторяемые измерения параметров MIMO-приемников.

Рассмотрим пример системы MIMO 4x4, состоящей из четырех передающих и четырех приемных антенн, с 16 каналами передачи.

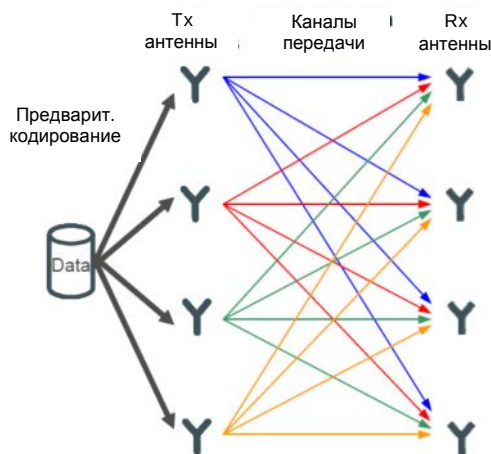


Рис. 11 – Схематичное представление системы MIMO 4x4 с 16 каналами передачи данных.

Сигналы четырех передающих антенн – четыре сигнала Tx – могут быть сгенерированы с помощью опций цифровых стандартов генератора SMBV. В указаниях по применению “Руководящие указания по установкам для измерения MIMO: часть 1” (1GP50) подробно описано, как сгенерировать такие Tx-сигналы с предварительным кодированием данных MIMO. Сигналы Tx могут быть использованы для измерения ВЧ-характеристик MIMO-приемника без эмуляции каналов, например, для измерения возможности демодуляции и декодирования, динамического диапазона, чувствительности (с применением AWGN), перекрестных помех между антеннами и многих других.

Как показано на рис. 11, сигнал одной из четырех приемных антенн является комбинацией (взвешенной) различных сигналов Tx. Таким образом, принимаемый сигнал Rx может быть сгенерирован с использованием ARB-генератора прибора SMBV. Сигналы передатчика группируются со специальным взвешиванием для получения Rx-сигнала на стороне приемника при условии статических каналов. В указаниях по применению 1GP50 также описано, как сгенерировать Rx-сигналы MIMO. Rx-сигналы допускают элементарную эмуляцию каналов, которая может быть использована для тестирования алгоритмов приемника в строго определенных условиях. Приемник должен иметь возможность реконструировать различные сигналы передатчика по принятому сигналу.

Установка, используемая для системы MIMO 4x4, идентична используемой для генерации сигналов Tx и Rx. В обоих случаях четыре генератора SMBV используются в режиме ведущий-ведомый для обеспечения синхронного запуска генерации сигналов на всех приборах. Каждый генератор SMBV генерирует один MIMO-сигнал – либо Tx-, либо Rx-сигнал.

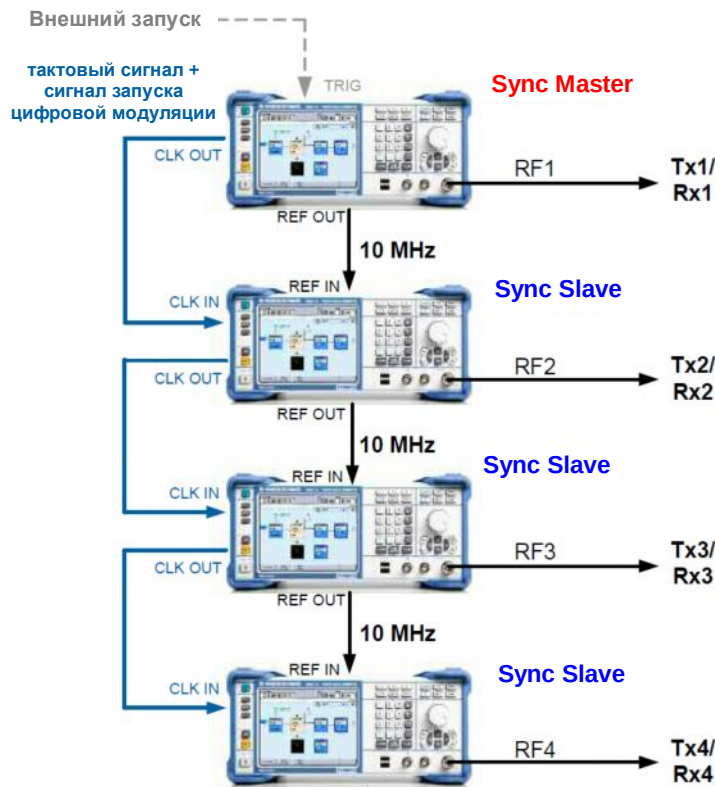


Рис. 12 – Измерительная установка для четырех антенн.

## 5 Применение: установка для работы с сигналами ГНСС

Прибор SMBV, оборудованный соответствующими опциями, может генерировать сигналы для глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) таких как GPS, ГЛОНАСС и Galileo. Различные ГНСС-сигналы могут быть эмулированы отдельно или одновременно с использованием гибридного режима. Гибридный режим очень полезен для тестирования ГНСС-приемников, потому что в реальной жизни сегодняшние приемники "видят" и обрабатывают сигналы спутников, принадлежащих не одной навигационной системе.



Рис. 13 – Изображение неба на SMBV с видимыми на небе спутниками.

### Сценарий 1, пример

Один генератор SMBV может эмулировать до 12 спутников. Этого достаточно, чтобы воспроизвести максимальное количество видимых на небе спутников одной из ГНСС. Остальные спутники этой системы скрыты за горизонтом и невидимы для приемника. Генератор SMBV может также параллельно эмулировать видимые спутники другой ГНСС (в гибридном режиме), например, шесть спутников системы GPS и шесть спутников системы ГЛОНАСС. Если необходимо воспроизвести работу более 12 спутников, то для эмуляции желаемой конфигурации спутников на небе можно использовать второй прибор SMBV. Например, один SMBV эмулирует спутники системы GPS, а второй SMBV эмулирует спутники системы ГЛОНАСС. В таком случае одновременно может быть эмулировано до 24 спутников. Для обеспечения синхронности запуска генерации сигналов обоими приборами используется режим ведущий-ведомый.

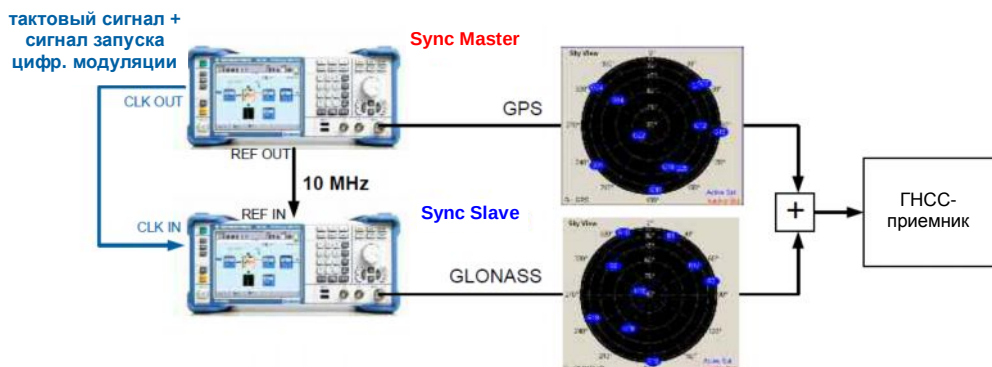


Рис. 14 – Установка для эмуляции до 24 спутников.

Подключите и сконфигурируйте схему ведущий-ведомый как описано в разделе 3. Следуйте данным там инструкциям, но обратите внимание на следующие моменты:

- Один генератор SMBV генерирует, например, GPS-сигналы. Для него, в главном меню GPS с помощью меню Trigger/Marker/Clock должен быть установлен режим ведущий-ведомый.
- Второй SMBV генерирует, например, ГЛОНАСС-сигналы. Для этого прибора режим ведущий-ведомый должен быть установлен в главном меню Glonass с помощью меню Trigger/Marker/Clock.

Для того чтобы эмулированное обоими SMBV расположение спутников соответствовало местоположению, дате и времени, должны быть выполнены следующие настройки:

- На обоих генераторах SMBV должно быть указано одинаковое географическое местоположение.
- На обоих генераторах SMBV должно быть установлено одинаковое время и дата эмуляции.

Есть два способа установки различных частот, требуемых для систем GPS и ГЛОНАСС:

- Каждый SMBV настраивается на свою частоту. Это делается автоматически, если на обоих приборах запрещен параметр "Use Common RF Frequency" (использовать общую частоту).



Этот простой метод рекомендован и должен быть всегда использован, если для тестирования не требуется фазовой когерентности ВЧ-сигналов.

- Оба генератора SMBV установлены на общую частоту, и в каждом приборе применяется подходящий сдвиг по частоте. Это происходит автоматически, если в обоих приборах SMBV разрешен параметр "Use Common RF Frequency".



Отрицательный сдвиг по частоте устанавливается неявным образом в секции модуляции одного SMBV, а положительный сдвиг – в секции модуляции другого SMBV. В результате, реальные частоты выходных сигналов приборов отличаются: один генератор SMBV подает на выход несущую частоту системы GPS 1,57542 ГГц, а второй – несущую частоту системы ГЛОНАСС 1,602 ГГц.

Этот метод немного сложнее, но его преимущество заключается в том, что возможна генерация ВЧ-сигналов, когерентных по фазе, что и требуется для ГНСС-применений, при этом вычисляется фаза несущей сигнала спутника. Для генерации когерентных по фазе ВЧ-сигналов необходимо, чтобы оба SMBV имели одинаковую установленную несущую частоту (более подробно см. раздел 6). Ограничение данного метода состоит в том, что частота несущих не может отличаться более чем на 120 МГц.



### Сценарий 2, пример

В другом сценарии тестирования два генератора SMBV используются для эмуляции спутников на разных несущих частотах. Например, оба прибора генерируют GPS-сигнал, но один выход SMBV имеет частоту 1,57542 ГГц соответствующую частоте L1, а второй – 1,2276 ГГц, соответствующую частоте L2. При передаче сигналов GPS на двух частотах, приемник может компенсировать влияние ионосферы, которое в противном случае увеличит ошибку / погрешность псевдодальности<sup>3</sup>. Точность позиционирования при этом может быть увеличена. Для обеспечения временной синхронизации обоих SMBV используется режим ведущий-ведомый.

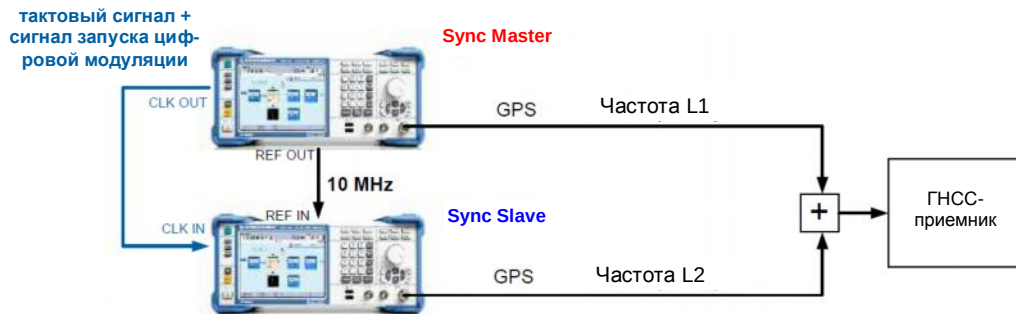
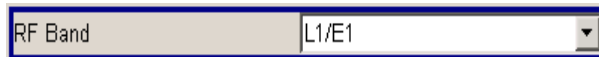


Рис. 15 – Схема для многочастотных ГНСС-применений.

Подключите и сконфигурируйте систему ведущий-ведомый как описано в разделе 3. Каждый генератор SMBV настраивается на свою частоту, соответствующую частотам L1 и L2. Для этого значение параметра “RF Band” устанавливается, соответственно, как “L1/E1” или “L2”.



Для того чтобы эмулированное обоими генераторами SMBV расположение спутников соответствовало местоположению, в обоих SMBV должны быть заданы одинаковые настройки даты и времени эмуляции.

<sup>3</sup> Псевдодальность – дистанция, которую сигнал, переданный спутником, проходит до приемника ГНСС.

Вообще, схема ведущий-ведомый с автоматической компенсацией задержки должна быть использована во всех сценариях тестирования ГНСС для обеспечения точной временной синхронизации приборов SMBV. Это очень важно, потому что в противном случае погрешность псевдодальности может быть существенной. Псевдодальность получается путем перемножения скорости света (с) на время, которое необходимо сигналу для прохождения пути от спутника до приемника. Погрешности временной синхронизации приборов SMBV могут привести к погрешности псевдодальности для спутников, что показано в следующих двух примерах:

Погрешность псевдодальности = время прохождения · с

- точность синхронизации составляет 38 нс:  
погрешность псевдодальности = 38 нс =  $3 \cdot 10^8$  м/с = 11,4 м
- точность синхронизации составляет 1 нс:  
погрешность псевдодальности = 1 нс =  $3 \cdot 10^8$  м/с = 0,3 м

При большой точности – до 1 нс, погрешность псевдодальности минимизирована и составляет 0,3 м.

Какая погрешность псевдодальности применима для тестирования, зависит от варианта применения. В следующей таблице дан краткий обзор различных применений GPS и требуемые диапазоны точности.

| Диапазоны точности применений GPS                     |                   |                                               |
|-------------------------------------------------------|-------------------|-----------------------------------------------|
| Применение                                            | Диапазон точности | Установка                                     |
| Коммерческая GPS<br>C/A-код, сдвиг кода               | от 10 до 15 м     | Ведущий-ведомый                               |
| Коммерческая GPS<br>C/A-код, сдвиг кода+ фаза несущей | от 10 до 15 м     | Ведущий-ведомый + опция фазовой когерентности |
| Военная GPS<br>C/A-код и P-код                        | от 5 до 10 м      | Ведущий-ведомый                               |
| Многочастотность,<br>например, GPS-частоты L1 и L2    | 5 м               | Ведущий-ведомый                               |

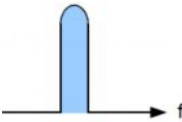
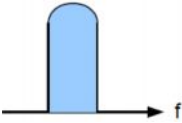
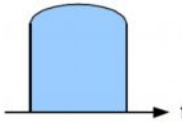
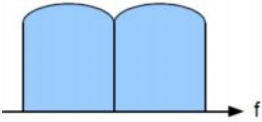
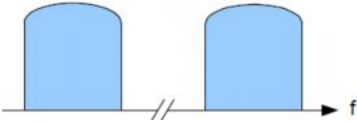
Для применений, в которых фаза несущей сигнала ГНСС вычисляется в приемнике, требуется фазовая когерентность ВЧ-сигналов. В этом случае система ведущий-ведомый должна быть улучшена: необходимо выполнить фазовую калибровку ВЧ-сигналов (как описано в разделе 8).



## 6 Применение: установка для работы с сигналами WLAN IEEE 802.11ac

Генератор SMBV, оборудованный требуемыми опциями, может генерировать сигналы, соответствующие стандарту WLAN IEEE 802.11ac. Стандарт 802.11ac обеспечивает высокую пропускную способность и более широкую полосу частот ВЧ-сигнала, чем предшествующие стандарты. Кроме каналов 20 МГц и 40 МГц (которые используются в стандарте 802.11n) в стандарте 802.11ac также используются каналы 80 МГц, 80 МГц + 80 МГц и 160 МГц.

Для канала 80 МГц + 80 МГц возможно использование двух режимов передачи: смежный режим и несмежный режим. В следующей таблице показаны сведения и иллюстрации различных полос пропускания 802.11ac.

| Полосы пропускания WLAN IEEE 802.11ac |                                                                                      |                                                                                                                       |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Полоса пропускания канала             | Иллюстрация полосы пропускания канала                                                | Требуемый прибор                                                                                                      |
| 20 МГц                                |    | например, один генератор SMBV                                                                                         |
| 40 МГц                                |   | например, один генератор SMBV                                                                                         |
| 80 МГц                                |   | например, один генератор SMBV                                                                                         |
| 80 МГц + 80 МГц смежный режим         |   | Например, два генератора SMBV                                                                                         |
| 80 МГц + 80 МГц несмежный режим       |  | Например, два генератора SMBV                                                                                         |
| 160 МГц                               |   | Один генератор модулирующего сигнала R&S® AFQ100A/B<br>+ например, один генератор SMBV для повышающего преобразования |

Сигналы, соответствующие стандарту 802.11ac, с полосой пропускания канала 20 МГц, 40 МГц и 80 МГц могут быть сгенерированы с помощью одного генератора SMBV. Для генерации канальных режимов 80 МГц + 80 МГц используются два генератора SMBV. Каждый генератор SMBV генерирует один 80 МГц сигнал соответствующей частоты. Для синхронного запуска генерации сигналов на обоих приборах необходимо использовать режим ведущий-ведомый.

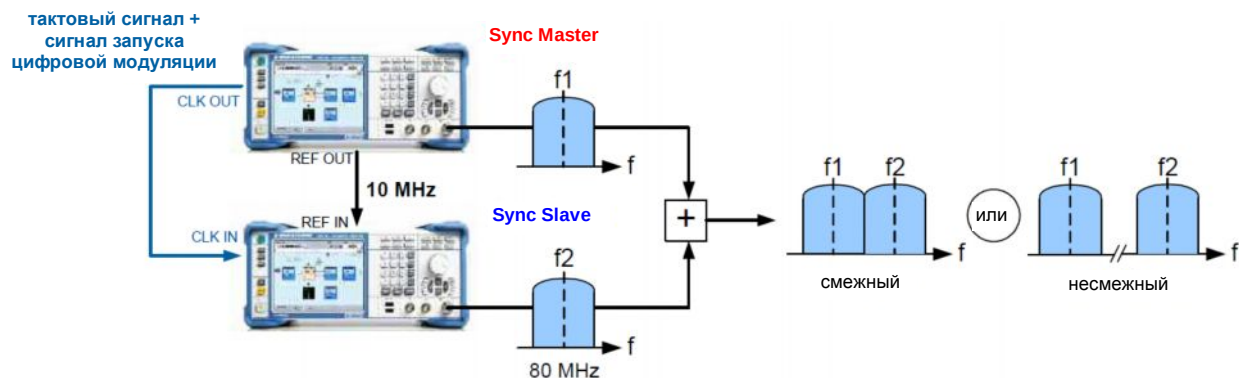


Рис. 16 – Установка для генерации сигналов 80 МГц + 80 МГц в соответствии со стандартом WLAN IEEE 802.11ac с помощью генераторов SMBV.

Подключите и сконфигурируйте приборы в режиме ведущий-ведомый (как описано в разделе 3) с помощью меню Trigger/Marker/Clock в главном меню IEEE 802.11 WLAN. Установите для каждого генератора SMBV соответствующую частоту для получения режима смежной или несмежной передачи.

## 7 Дистанционное управление в режиме ведущий-ведомый

Приборы SMBV могут управляться дистанционно с помощью автоматизированных тестовых программ с использованием команд SCPI. Тестовая программа должна координировано управлять ведущим и ведомыми приборами, чтобы избежать появления ошибок работы прибора и погрешностей измерений.

Первым всегда настраивайте ведущий генератор SMBV и включайте секцию цифровой модуляции. Обратите внимание, что если цифровая модуляция на ведущем приборе выключена, то он не подает тактовый сигнал на ведомые приборы. Это может привести к появлению сообщений об ошибке на ведомых приборах. Поэтому сначала настройте ведущий прибор и убедитесь в правильности его настройки. После этого настраивайте ведомые приборы.

В следующем примере показано, как корректно сконфигурировать систему ведущий-ведомый в режиме дистанционного управления. Команды, выделенные красным цветом, предназначены для ведущего прибора, а синим – для ведомого. Знак “//” обозначает комментарии. В данном примере используется установка для работы с ГНСС, показанная на рис. 15, с внутренним запуском.

```
// запуск ведущего прибора с определенным состоянием
*RST, *CLS
*OPC?

// запрос ведущего прибора о статических ошибках
SYST:SERR?

// запуск ведомого прибора с определенным состоянием
*RST, *CLS
*OPC?

// запрос ведомого прибора о статических ошибках
SYST:SERR?

// настройки тактового сигнала ведущего прибора
BB:GPS:CLOCK:SYNC:MODE MASTER
BB:GPS:CLOCK:SYNC:EXECUTE

// настройка опорной частоты ведущего прибора
ROSC:SOURCE INTERNAL

// настройки запуска ведущего прибора, внутренний запуск
BB:GPS:TRIG:SEQ RETRIGGER
BB:GPS:TRIG:SOURCE INTERNAL

// конфигурация модуляции ведущего прибора: GPS-сигнал, L1
...
...

// ожидание завершения выполнения команды и проверка наличия
// ошибок ведущего прибора
*OPC?
SYST:ERR:ALL?

// включение модуляции ведущего прибора
BB:GPS:STATE ON

// ожидание готовности ведущего прибора
*OPC?
```

```

// настройки тактового сигнала ведомого прибора
BB:GPS:CLOCK:SYNC:MODE SLAVE
BB:GPS:CLOCK:SYNC:EXECUTE

// глобальные настройки тактового сигнала ведомого прибора
INP:DELAY:ADCSTATE ON // активация автокомпенсации задержки
INP:DELAY:SPOSITION 1 // настройка позиции ведомого в системе
INP:DELAY:CLENGTH1 1 // установка длины кабеля 1 м

// установка опорной частоты ведомого прибора
ROSC:SOURCE EXTERNAL

// настройки запуска ведомого прибора
BB:GPS:TRIG:SEQ RETRIGGER
BB:GPS:TRIG:SOURCE EXTERNAL
BB:GPS:TRIG:EXT:SYNC:OUTPUT OFF

// конфигурация модуляции ведомого прибора: GPS-сигнал, L2
...
...

// ожидание завершения выполнения команды и проверка наличия
// ошибок ведомого прибора
*OPC?
SYST:ERR:ALL?

// включение секции модуляции ведомого прибора
BB:GPS:STATE ON

// ожидание готовности ведомого прибора
*OPC?

// Примечание: до тех пор пока ведомый прибор не получит сигнал
// запуска от ведомого прибора, на ведомом приборе будет
// отображаться статическая ошибка

// выполнение запуска на ведущем приборе
BB:GPS:TRIG:EXECUTE
*OPC?

// дайте ведомому прибору некоторое время для перевода
// статической ошибки в нормальную ошибку (хранятся в очереди
// ошибок), то есть приостановите выполнение программы на 1 с,
// например, используя команду засыпания, задержки или паузы.

// запрос ведомого о наличии статических ошибок на предмет
// правильности выполнения синхронизации модулирующего сигнала
SYST:SERR?

```

Если в процессе синхронизации произошла ошибка, то на ведомом генераторе SMBV появится *статическая* ошибка. Эта статическая ошибка отображается как постоянное сообщение, и для проверки синхронизации приборов необходим новый запрос.

Более подробную информацию и советы по SCPI-программированию вы можете найти в указаниях по применению “Первые десять советов по SCPI-программированию генераторов сигналов” (1GP79). В этом же документе объясняется фундаментальная разница между нормальной и статической ошибками.

## 8 Генерация сигналов с фазовой когерентностью

Система ведущий-ведомый сама по себе не обеспечивает фазовой когерентности сигналов. Она обеспечивает "всего лишь" точную синхронизацию сигналов по времени. Однако система ведущий-ведомый используется как база для обеспечения фазовой когерентности при векторной генерации сигналов несколькими приборами SMBV. Стабильное фазовое соотношение между двумя ВЧ-несущими может быть достигнуто за счет использования общего гетеродинного (LO) сигнала для переноса на высокую частоту модулирующего сигнала временной синхронизации. Тем самым минимизируется дрейф фазы между ВЧ-несущими. Генератор SMBV может быть оснащен опцией фазовой когерентности – R&S® SMBV-B90 – для генерации сигналов, когерентных по фазе. Эта опция обеспечивает возможность передачи сигнала LO от одного генератора SMBV на остальные приборы SMBV, позволяя управлять несколькими I/Q-модуляторами одним сигналом LO. Следовательно, все ведомые генераторы SMBV будут иметь ту же частоту ВЧ-сигнала, что и ведущий SMBV.

Для получения более подробной информации о фазовой когерентности см. указания по применению "Фазовая подстройка двух источников MIMO-сигналов с помощью опции B90" (1GP67) и "Руководящие указания по установкам для измерения MIMO: часть 1" (1GP50).

### 8.1 Подключение кабелей

Схема соответствует простой схеме ведущий-ведомый с дополнительным подключением сигналов LO.

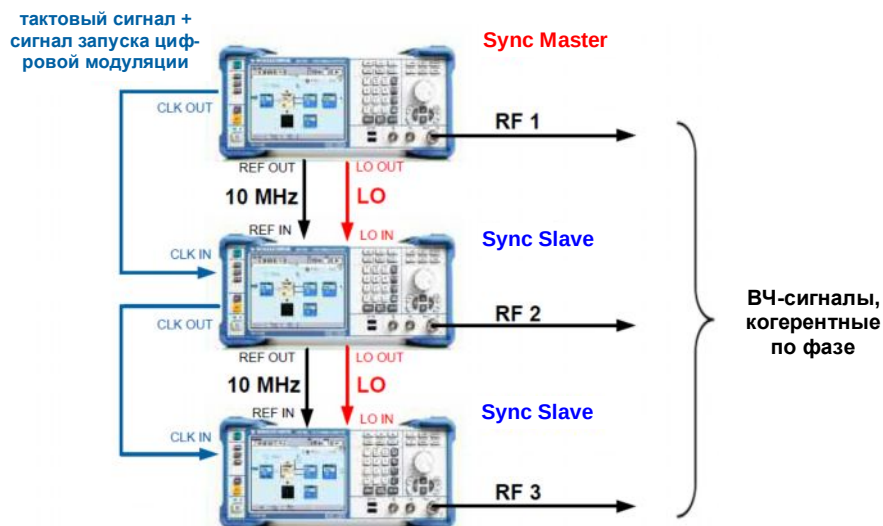


Рис. 17 – Установка для генерации трех фазовокогерентных сигналов (внутренний запуск).

Сигнал гетеродина LO, сгенерированный ведущим прибором, поступает на несколько ведомых приборов в соответствии с обычной последовательной схемой соединения: подключите разъем LO OUT ведущего генератора SMBV к разъему LO IN первого ведомого SMBV. Подключите разъем LO OUT первого ведомого SMBV к разъему LO IN второго ведомого SMBV и так далее.

Для предотвращения ослабления сигнала LO и ослабления при прохождении более чем через два прибора, сигнал LO, перед перераспределением, усиливается встроенными средствами. Конечно, качество сигнала LO, так же как качество ВЧ-сигнала, немного падает с каждым дополнительным прибором. В связи с этим невозможно использовать бесконечное количество каскадов. Но тестирование работы четырех генераторов SMBV показывает хорошее значение модуля вектора ошибок EVM для всех приборов.

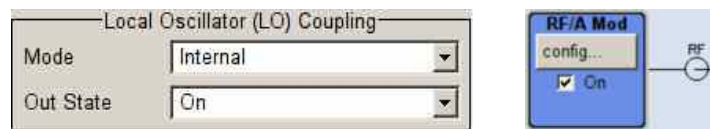
Подключение приборов SMBV в режиме ведущий-ведомый описано в разделе 3.

## 8.2 Настройки

Сконфигурируйте приборы SMBV для работы в режиме ведущий-ведомый как описано в разделе 3. Кроме того, настройте приборы для работы с общим сигналом гетеродина LO следующим образом:

### Ведущий (Master)

Нажмите на функциональный блок “RF/A Mod” и выберите из списка пункт “LO Coupling”. Установите в разделе LO Coupling значение параметров “Mode” как “Internal” и “Out State” как “On”. Ведущий генератор SMBV запускается с внутренним синтезатором сигнала LO.



### Ведомый (Slave)

Нажмите на функциональный блок “RF/A Mod” и выберите из списка пункт “LO Coupling”. Установите в разделе LO Coupling значение параметров “Mode” как “Internal” и “Out State” как “On” (только для последнего ведомого прибора “Out State” может быть установлен как “Off”). Ведомые генераторы SMBV используют внешний сигнал LO синтезатора от ведущего генератора SMBV.



## 8.3 Запуск

Запустите систему как описано в разделе 3.3.



## 8.4 Фазовая когерентность немодулированных сигналов (CW)

Общий сигнал LO обеспечивает стабильную разницу фаз между двумя ВЧ-несущими, то есть разность фаз ( $\Delta\varphi$ ) постоянна. Поэтому ВЧ-сигналы когерентны по фазе. Однако эта разность фаз неизвестна. Теперь вопрос заключается в том, каково точное значение разности фаз и как оно может быть подстроено под определенное требуемое значение? Метод, используемый для выполнения такой фазовой калибровки, подробно описан в указаниях по применению “Фазовая подстройка двух источников MIMO-сигналов с помощью опции B90” (1GP67). На рис. 18 показана такая измерительная установка.

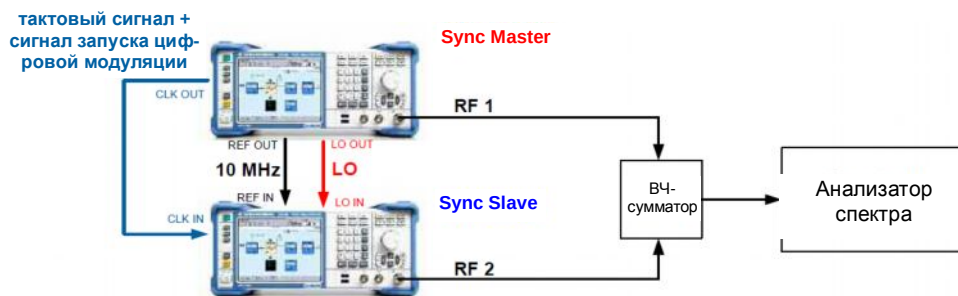
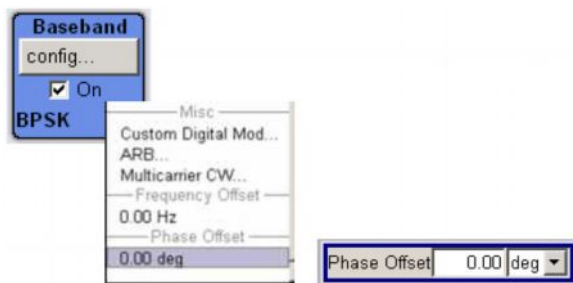


Рис. 18 – Схема для калибровки фазы.

Калибровка фазы может быть выполнена как вручную, так и с помощью программного средства (которое является частью 1GP67). В любом случае, калибровка выполняется с немодулированными сигналами. Для калибровки и следующей фазовой подстройки необходимо задать сдвиг фазы в приборе SMBV. Из-за связи ВЧ-секций (общий сигнал LO) этот сдвиг фазы не может быть установлен напрямую в ВЧ-секции, но может быть установлен в секции цифровой модуляции генератора SMBV. Поэтому, если используется связь по LO, использование I/Q-модуляции является обязательным. Это означает, что ВЧ-несущие (немодулированные сигналы) генерируются с помощью секции цифровой модуляции, например, с помощью функции “Custom Digital Modulation” (пользовательская цифровая модуляция) с BPSK-модуляцией и источником данных “All 1” или с использованием ARB-генератора для воспроизведения формы немодулированного сигнала, сгенерированного с помощью программного обеспечения R&S® WinIQSIM2.



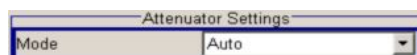
Метод калибровки основан на том факте, что два немодулированных сигнала одинаковой частоты и уровня полностью компенсируют друг друга, если разность их фаз составляет  $180^\circ$ . В таком случае они взаимно уничтожаются при сложении с помощью ВЧ-сумматора. Таким образом, выходной сигнал сумматора является индикатором разности фаз. Чем ниже его уровень, тем ближе разность фаз к  $180^\circ$ .

#### Процедура ручной калибровки фазы:

- Прогрейте приборы SMBV (примерно в течение 15 минут).
- Сгенерируйте немодулированный сигнал в *разделе модуляции* каждого SMBV, например, с помощью "Custom Digital Modulation" с модуляцией BPSK и источником данных "All 1".  
Примечание – Настройте систему ведущий-ведомый (см. раздел 3) с помощью меню цифрового стандарта, например "Custom Digital Modulation".
- Установите частоту, которую вы намереваетесь использовать в вашем приложении (на ведущем SMBV).
- Установите одинаковый ВЧ-уровень на обоих приборах SMBV. Используйте тот ВЧ-уровень, который вы намереваетесь использовать в вашем приложении.
- Установите анализатора спектра в режим нулевой полосы обзора.
- Подстройте сдвиг фаз модулирующего сигнала ведомого прибора SMBV так, чтобы мощность на анализаторе была минимальной.
- Подстройте ВЧ-уровень ведомого прибора SMBV так, чтобы мощность на анализаторе стала еще меньше. Для того чтобы достигнуть "идеального" аннулирования, уровни двух немодулированных сигналов должны точно совпадать. Этого может не произойти из-за небольшой погрешности уровня SMBV и различных потерь мощности в кабелях. Поэтому изменяйте ВЧ-уровень понемногу – по несколько десятых дБ или менее.
- Тонкая подстройка фазового сдвига ведомого генератора SMBV должна быть такой, чтобы мощность на анализаторе достигла абсолютного минимума. Например, мощность должна уменьшиться примерно на 60 дБ для таких высоких уровней ВЧ, как 0 дБмВт.
- Теперь два немодулированных сигнала имеют разность фаз  $180^\circ$ . Следовательно, следует вычесть  $180^\circ$  из фазового сдвига ведомого SMBV. Например, если текущий установленный фазовый сдвиг  $267,60^\circ$ , то новый фазовый сдвиг будет вычисляться так:  $267,60^\circ - 180^\circ = 87,60^\circ$ .
- После этого два немодулированных сигнала имеют разность фаз  $0^\circ$ . Для подстройки разности фаз до требуемого значения используйте фазовый сдвиг ведущего генератора SMBV. Это самый простой метод установить определенное фазовое соотношение между ВЧ-несущими.
- Процедура завершена

В общем, сдвиг фаз, требуемый для подстройки ВЧ-фаз, остается таким же после включения-выключения SMBV. Поэтому необходимый сдвиг фаз может быть определен только один раз и затем это значение может быть использовано в течение длительного периода времени – до тех пор, пока не изменятся настройки, влияющие на калибровку, и при условии прогрева SMBV. Калибровку необходимо повторить в следующих случаях:

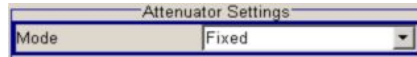
- После замены кабелей. Кабели, использованные в процессе калибровки, должны быть также использованы для подключения к испытываемому устройству, так как были учтены при калибровке.
- При изменении ВЧ частоты.
- При изменении ВЧ-уровня, когда установлен режим аттенюатора "Auto".



- После системного сброса прибора. При выполнении предустановки настройки калибровки теряются.
- Если существенно изменились условия окружающей среды, например, изменилась температура окружающей среды.

Нет необходимости повторять калибровку в следующих случаях:

- Если изменяется ВЧ-уровень в режиме аттенюатора “Fixed”.



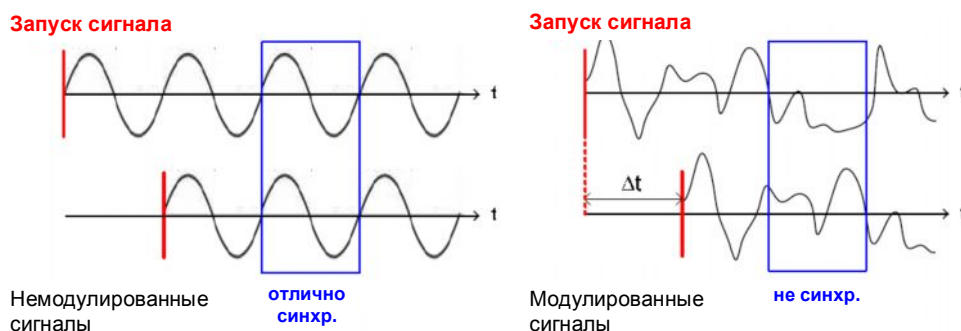
## 8.5 Фазовая когерентность I/Q модулированных сигналов

Из-за особенностей работы опции фазовой когерентности R&S® SMBV-B90 немодулированные сигналы должны генерироваться с помощью секции цифровой модуляции с использованием I/Q-модуляции. Однако в дальнейшем, I/Q модулированный сигнал всегда будет обозначать “истинно” модулированный сигнал цифровой модуляции.

Строго говоря, понятие фазовой когерентности определено только для немодулированных несущих с одинаковыми частотами (или для немодулированных несущих с кратными частотами). Тем не менее, опцию фазовой когерентности SMBV можно использовать и для I/Q модулированных сигналов. В этом случае фазовая когерентность определена только для *центральных частот* модулированных сигналов!

Такие сигналы используются, например, для MIMO-приложений формирования луча, измерений фазы несущей сигналов ГНСС, военных применений и тестирования расфазировки усилителей мощности (см. раздел 9).

Для достижения фазовой когерентности модулированных сигналов, точность синхронизации источников сигнала является совершенно необходимой. Фазовая калибровка немодулированных сигналов гарантирует, что фазы ВЧ-сигналов совпадают, а так как немодулированные сигналы периодичны, то не имеет значения, были запущены сигналы синхронно или нет. И, напротив, для I/Q модулированных сигналов синхронизация запуска является критической, так как иначе сигналы не совпадут по времени.



**Рис. 19 – Эффект рассинхронизации запуска для двух немодулированных сигналов (после фазовой калибровки) и двух модулированных сигналов.**

В связи с вышесказанным, режим работы ведущий-ведомый является необходимым, так как он обеспечивает точную синхронизацию ВЧ-сигналов. Если вы хотите проверить точность синхронизации генераторов SMBV, обратитесь к разделу 3.5.

#### Процедура генерации когерентных по фазе I/Q модулированных сигналов:

- Выполните калибровку фазы с двумя немодулированными сигналами (как описано в разделе 8.4). Убедитесь, что вы используете для подключения к сумматору кабели одинаковой длины.
- Сгенерируйте требуемый I/Q модулированный сигнал в секции цифровой модуляции каждого прибора SMBV.  
Примечание – Настройте схему ведущий-ведомый (см. раздел 3) из меню используемого цифрового стандарта, например “EUTRA/LTE”.
- Процедура завершена

Обратите внимание, что не нужно повторять фазовую калибровку, если вы изменили модулирующий сигнал, например, если вы изменили сигнал “Custom Digital Modulation” на ARB-сигнал.

Если нет уверенности, будут ли кабели и сумматор вносить задержки, которые ухудшат временную синхронизацию, то можно использовать схему, показанную на рис. 18 для точной подстройки временной синхронизации всей установки. (Однако если вы используете высококачественный сумматор и кабели одинаковой длины, то эта подстройка по большому счету не нужна.) Процедура подстройки следующая:

- Выполните фазовую калибровку двух немодулированных сигналов. (Уже сделано.)
- Сгенерируйте требуемый I/Q модулированный сигнал в секции цифровой модуляции ведущего прибора SMBV.  
Примечание – Настройте схему ведущий-ведомый (см. раздел 3) из меню используемого цифрового стандарта, например “EUTRA/LTE”.
- Сгенерируйте *идентичный* сигнал в секции модуляции ведомого прибора SMBV.
- Установите фазовый сдвиг ведущего прибора SMBV на 180°. Оба сигнала окажутся в противофазе (сдвинутыми на 180°).
- Подстройте параметр “I/Q Delay” (I/Q задержка) ведомого SMBV таким образом, чтобы мощность на анализаторе была минимальной. Обратите внимание, что можно установить как положительную, так и отрицательную I/Q задержку. Сигналы будут компенсировать друг друга при точной синхронизации по времени.
- После этой временной подстройки установите ведомый SMBV на генерацию требуемого сигнала и задайте желаемое значение фазового сдвига ведущего генератора SMBV.

### 8.5.1 Частный случай: установка для измерения фазы несущей в сигналах ГНСС

Фазовая калибровка должна выполняться с частотой и уровнем ВЧ-сигнала, которые будут использоваться в конкретном приложении. Однако уровни сигналов ГНСС чрезвычайно малы, приблизительно -130 дБмВт. При режиме аттенюатора “Fixed”, ВЧ-уровень может варьироваться только в диапазоне около 20 дБ относительно установленного уровня. Поэтому уровень на генераторе SMBV не может быть установлен значительно большим, чем примерно -120 дБмВт. Даже если для наружного ослабления ВЧ-сигнала до -120 дБмВт используется внешний аттенюатор (например, аттенюатор на 30 дБ), то установленный на генераторе SMBV уровень все равно очень низкий (около -90 дБмВт). Фазовая калибровка при столь низких уровнях возможна, но требует особой тщательности. Наиболее важным фактором является анализатор, используемый для фазовой калибровки. Анализатор должен иметь следующие характеристики:

- Уровень шума должен быть настолько низким, насколько это возможно, так как минимальный уровень шума анализатора является ограничивающим фактором при измерении сигналов с низким уровнем. Современные профессиональные анализаторы обычно имеют очень хорошие показатели в этом плане.
- Встроенный предусилитель (опция)

Выполните фазовую калибровку как описано в разделе 8.4. Кроме того, обратите внимание на следующее:

- Установите на анализаторе наименьшую возможную полосу разрешения
- Используйте опорную частоту ведущего генератора SMBV – 10 МГц – в качестве внешней опорной частоты анализатора (частотная синхронизация)
- Включите предварительное усиление на анализаторе

Дополнительную информацию вы можете найти в указаниях по применению “Фазовая подстройка двух источников MIMO-сигналов с помощью опции B90” (1GP67). В этом документе подробно описано, как с помощью спектральных анализаторов Rohde & Schwarz наилучшим образом выполнить фазовую калибровку при очень низких уровнях сигналов.

Как отмечено выше, фазовая калибровка должна быть выполнена при ВЧ-уровнях, которые будут использоваться в конкретном приложении. Для сигналов ГНСС этот уровень зависит от заданного сценария расположения спутников. Поэтому перед запуском фазовой калибровки сконфигурируйте требуемый ГНСС-сценарий на ведущем генераторе SMBV. В том числе, установите опорную мощность, количество спутников и их собственные уровни мощности (по отношению к опорной мощности).

Ref. Power  dBm

Maximum Number Of Satellites

|       | State | Standard | Signals | SV-ID | Power /dB |
|-------|-------|----------|---------|-------|-----------|
| Sat 1 | On    | GPS      | C/A     | 2     | 0.00      |
| Sat 2 | On    | GPS      | C/A     | 3     | -5.00     |
| Sat 3 | On    | GPS      | C/A     | 4     | 0.00      |
| Sat 4 | On    | GPS      | C/A     | 5     | -3.20     |
| Sat 5 | On    | GPS      | C/A     | 6     | 0.00      |

Включите сигнал ГНСС и считайте установленный ВЧ-уровень в заголовке графического интерфейса генератора SMBV. Отображаемый уровень автоматически вычисляется генератором SMBV на основе заданного ГНСС-сценария. Этот уровень необходимо использовать для фазовой калибровки.

Level

dBm

## 9 Применение: установка для измерения расфазировки усилителей мощности

Сигналы сетей мобильной связи, например, WCDMA-сигналы или OFDM-сигналы характеризуются коэффициентами амплитуды порядка 10 дБ, то есть мгновенная амплитуда сигнала значительно изменяется со временем. Поэтому используемый усилитель мощности (УМ) должен быть линейным во всем диапазоне мощностей. Строгие требования к линейности могут, однако, быть удовлетворены лишь за счет уменьшения КПД преобразования мощности. На рис 20. показана типичная установка для тестирования линейного УМ. Прибор SMBV генерирует требуемый тестовый сигнал, например 3GPP-сигнал с коэффициентом амплитуды порядка 10 дБ.

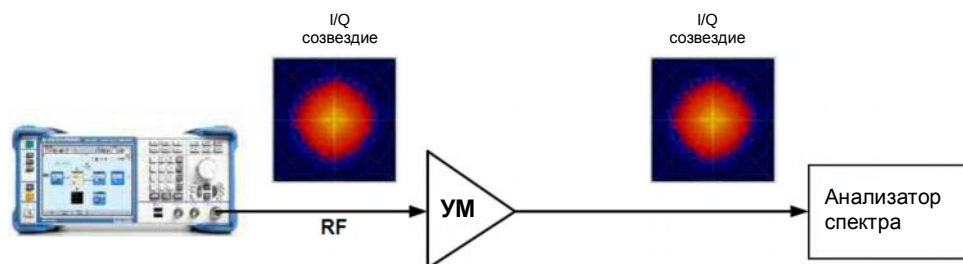


Рис. 20 – Установка для тестирования обычного линейного усилителя мощности.

Из-за субоптимальной эффективности *линейных* УМ, более эффективные подходы находятся в разработке. Одна из идей заключается в использовании *насыщения* УМ. Это могло бы быть очень эффективно, но обратная сторона заключается в том, что усилители в таком режиме не могут работать с амплитудно-модулированными сигналами. Поэтому УМ должны быть встроены в концепцию устройства, что позволит генерировать сигналы с изменяющейся амплитудой. Полярная модуляция – один из методов, которые были разработаны для GSM и EDGE [1]. Другой метод – расфазировка - требуемый сигнал сначала трансформируется в два сигнала, каждый - фазово-модулированный с постоянной амплитудой. Два сигнала несут информацию об амплитудной модуляции в своей дифференциальной фазе [2]. Так как амплитуда обоих сигналов постоянна, они могут быть усилены в режиме насыщения усилителем мощности. После усиления оба сигнала восстанавливаются. При совмещении сигналов реконструируется исходный требуемый сигнал.

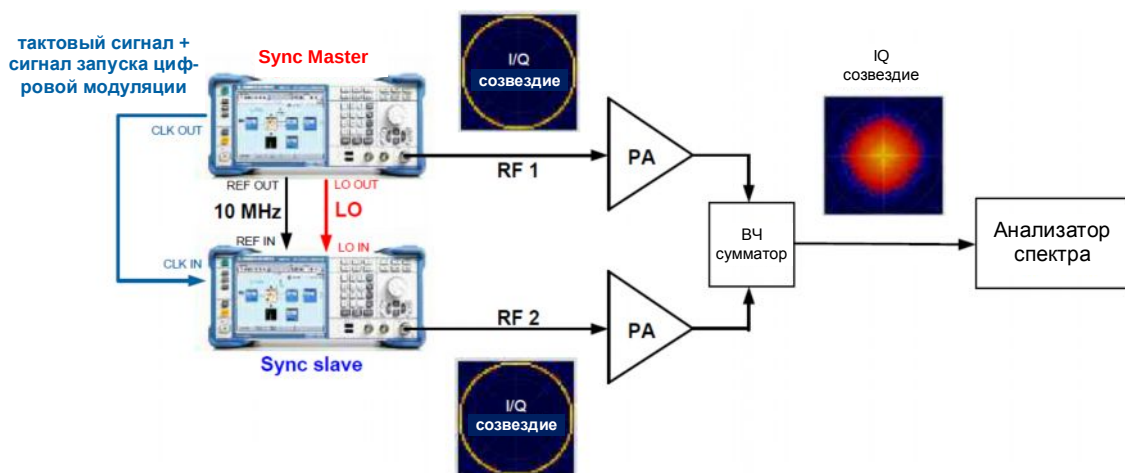


Рис. 21 – Схема тестирования (в режиме насыщения) расфазировки усилителей мощности.



На рис. 21 показана типичная схема тестирования расфазировки усилителей мощности. Два генератора SMBV, оснащенных опциями фазовой когерентности R&S®SMBV-B90, в режиме ведущий-ведомый генерируют требуемые тестовые сигналы с постоянной амплитудой. Сигналы могут быть загружены в виде сигнальных файлов в ARB-генераторы приборов SMBV и синхронно воспроизведены. Опция R&S®SMBV-B90 обеспечивает управляемость и стабильность ВЧ-фаз обоих приборов. Синхронный запуск и фазовая когерентность являются решающими для работы схемы, так как только точная синхронизация и стабильная ВЧ фаза дает возможность воспроизвести требуемый сигнал с удовлетворительным качеством. Важными характеристиками сигнала являются, например, коэффициент утечки мощности в соседний канал (ACLR) и модуль вектора ошибок (EVM).

В демонстрационных целях в данных указаниях по применению мы использовали схему, показанную на рис. 21, но без усилителя мощности. Измерения коэффициента ACLR используются в качестве индикатора точной временной синхронизации. Процедура состоит в следующем:

- Выполните фазовую калибровку двух немодулированных сигналов (см. раздел 6).
- Сгенерируйте два сигнала с постоянной амплитудой, используя ARB-генераторы приборов SMBV  
Примечание – Сконфигурируйте схему ведущий-ведомый (см. раздел 3) из меню ARB.
- Измерения коэффициента ACLR сигналов на тестовой модели 3GPP 1 дают следующие результаты:  
Нижний канал 46,9 дБ, верхний канал 44,5 дБ.

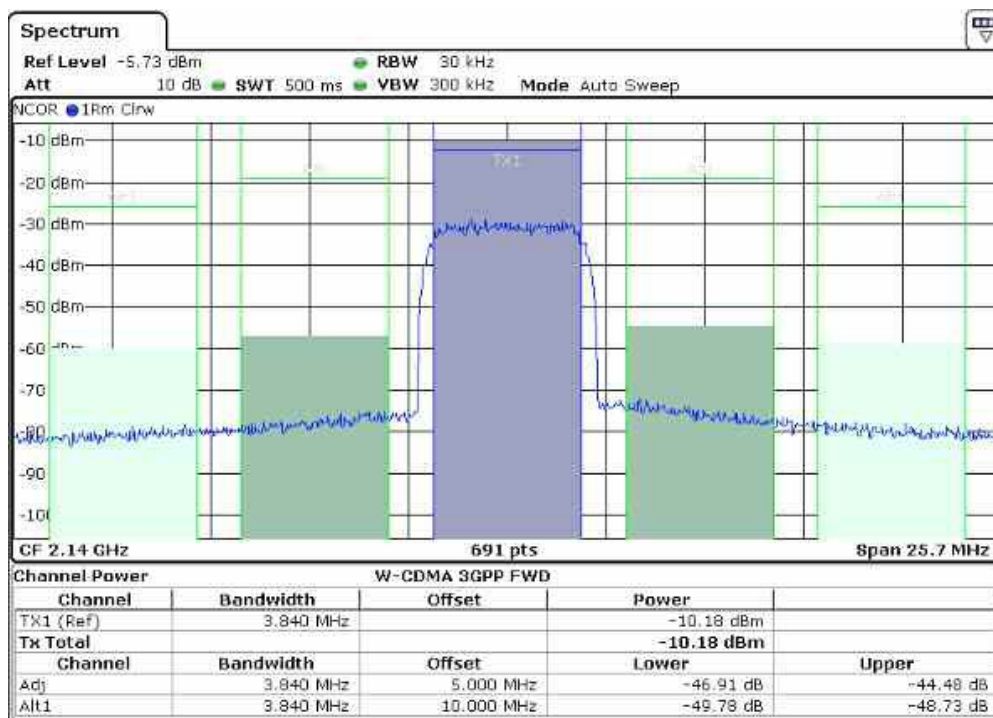


Рис. 22 – Измерение коэффициента ACLR до выполнения точной подстройки.

- Подстройте параметр "I/Q Delay" ведомого генератора SMBV так, чтобы ACLR, измеренное на анализаторе было оптимальным. Обратите внимание, что можно использовать как положительное, так и отрицательное значения параметра "I/Q Delay". Коэффициент ACLR будет иметь оптимальное значение, если временная синхронизация будет абсолютно точной. В данном примере мы установили значение "I/Q delay" равным 0,7 нс, в результате чего значение ACLR получилось около 13 дБ.
- После проведения точной подстройки, измерения ACLR дают следующие результаты:  
Нижний канал 58,1 дБ, верхний канал 59,8 дБ.  
(Указанное значение ACLR для SMBV обычно >69 дБ. В данном случае значение меньше из-за влияния внешних кабелей и ВЧ сумматора)

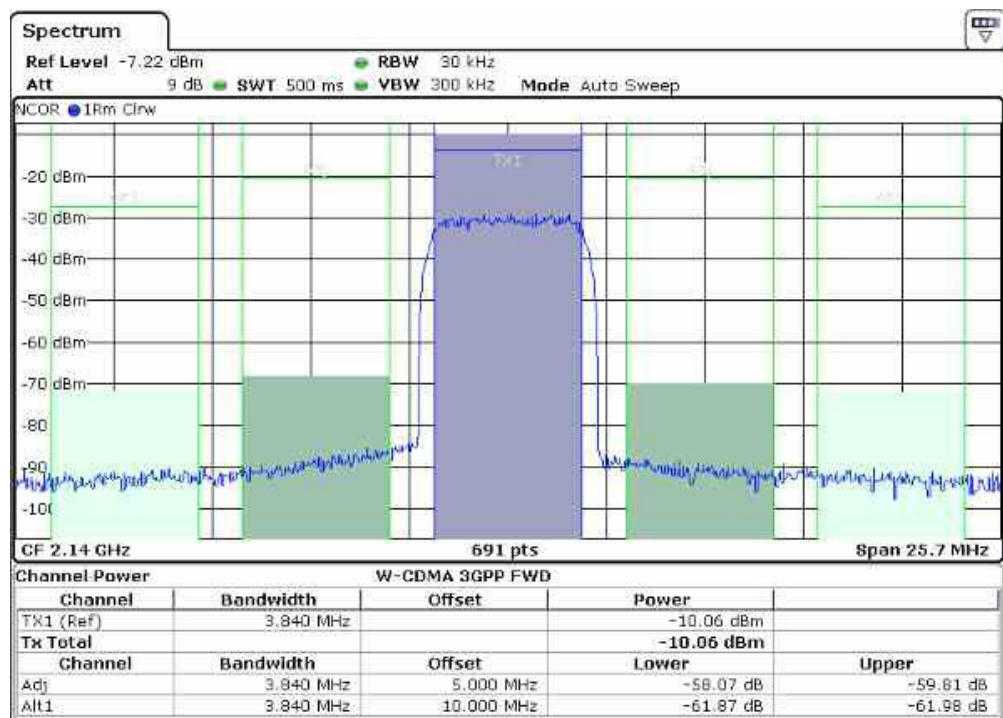


Рис. 23 – Измерение коэффициента ACLR после точной подстройки.

- Измеренное значение EVM составляет 0,5 %.



## 10 Заклучение

Схема ведущий-ведомый обеспечивает хорошую временную синхронизацию нескольких генераторов SMBV. Эта система удобна для пользователя в связи простотой подключения и настройки приборов. При корректной настройке приборов SMBV их выходные сигналы точно синхронизированы с минимальной погрешностью менее 1 нс. Это делает схему ведущий-ведомый идеальным решением для тестирования в широком спектре применений, например, для проведения базовых испытаний MIMO-систем без имитации замираний, для тестовых сценариев ГНСС с использованием до 24 спутников, для работы с сигналами WLAN IEEE 802.11ac с каналами 80 МГц + 80 МГц.

## 11 Используемые сокращения

|         |                                                                                                            |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ACLR    | Коэффициент утечки мощности в соседний канал (Adjacent channel leakage ratio)                              |
| ARB     | Генератор сигналов произвольной формы (Arbitrary waveform generator)                                       |
| CW      | Непрерывное колебание, немодулированный сигнал (Continuous wave)                                           |
| DUT     | Испытуемое устройство, ИУ (Device under test)                                                              |
| EVM     | Модуль вектора ошибок (Error vector magnitude)                                                             |
| Galileo | Галилео (глобальная навигационная спутниковая система Европейского союза)                                  |
| GPS     | Глобальная система позиционирования (США) (Global positioning system (of the United States))               |
| GPS CA  | Грубое определение местоположения с использованием системы GPS                                             |
| I/Q     | Синфазно-квадратурная модуляция (In-phase/quadrature)                                                      |
| LO      | Гетеродин (Local oscillator)                                                                               |
| MIMO    | Система с многими входами и многими выходами (Multiple input multiple output)                              |
| OFDM    | Мультиплексирование с ортогональным разделением частот (Orthogonal frequency-division multiplexing)        |
| RF (ВЧ) | Радиочастота, ВЧ                                                                                           |
| SISO    | Система с одним входом и одним выходом (Single input single output)                                        |
| WCDMA   | Широкополосный множественный доступ с кодовым разделением каналов (wideband code division multiple access) |
| ГЛОНАСС | Глобальная навигационная спутниковая система Российской Федерации                                          |
| ГНСС    | Глобальная навигационная спутниковая система                                                               |
| УМ      | Усилитель мощности                                                                                         |

## 12 Библиография

- [1] Указания по применению Rohde & Schwarz, “Полярная модуляция с использованием генератора R&S®SMU200A” (1GP58)
- [2] Advances in Radio Science, edition 4, стр. 125-133, 2006, “WCDMA outphasing power amplifier with a software defined transmitter/receiver architecture for determination of the predistortion function” by W. Gerhard and R. Knochel
- Указания по применению Rohde & Schwarz, “Руководящие указания по установкам для измерения MIMO: часть 1” (1GP50)
- Указания по применению Rohde & Schwarz, “Фазовая подстройка двух источников MIMO-сигналов с помощью опции B90” (1GP67)

## 13 Информация для заказа

Подробная информация для заказа размещена на веб-странице прибора R&S® SMBV100A по адресу [www.rohde-schwarz.com](http://www.rohde-schwarz.com).

|                                                                          |                                                                                                                                    |              |
|--------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| <b>Базовый блок</b>                                                      |                                                                                                                                    |              |
| R&S® SMBV100A                                                            | Векторный генератор сигналов                                                                                                       | 1407.6004.02 |
| <b>ВЧ-секция</b>                                                         |                                                                                                                                    |              |
| 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                                                             | Генератор опорной частоты (ОСХО)                                                                                                   | 1407.8407.02 |
| R&S® SMBV-B1H                                                            | Генератор опорной частоты (ОСХО), высокие раб. хар-ки                                                                              | 1419.1602.02 |
| R&S® SMBV-B90                                                            | Фазовая когерентность                                                                                                              | 1407.9303.02 |
| <b>Секция цифровой модуляции</b>                                         |                                                                                                                                    |              |
| R&S® SMBV-B10                                                            | Генератор модулирующего сигнала с цифровой модуляцией (в реальном времени) и ARB-генератором (32 млн. отсчетов), полоса ВЧ 120 МГц | 1407.8607.02 |
| R&S® SMBV-B50                                                            | Генератор модулирующего сигнала с ARB-генератором (32 млн. отсч.), полоса ВЧ 120 МГц                                               | 1407.8907.02 |
| R&S® SMBV-B51                                                            | Генератор модулирующего сигнала с ARB-генератором (32 млн. отсч.), полоса ВЧ 60 МГц                                                | 1407.9003.02 |
| R&S® SMBV-B55                                                            | Расширение памяти для ARB-генератора до 256 млн. отсчетов                                                                          | 1407.9203.02 |
| R&S® SMBV-B92                                                            | Жесткий диск (съёмный)                                                                                                             | 1407.9403.02 |
| R&S® SMBV-K18                                                            | Интерфейсы секции цифровой модуляции                                                                                               | 1415.8002.02 |
| <b>Системы цифровой модуляции</b>                                        |                                                                                                                                    |              |
| R&S® SMBV-K40                                                            | GSM/EDGE                                                                                                                           | 1415.8031.02 |
| R&S® SMBV-K41                                                            | EDGE Evolution                                                                                                                     | 1415.8460.02 |
| R&S® SMBV-K42                                                            | 3GPP FDD                                                                                                                           | 1415.8048.02 |
| R&S® SMBV-K43                                                            | Расширенные тесты базовых/мобильных станций 3GPP FDD, включая HSDPA                                                                | 1415.8054.02 |
| R&S® SMBV-K45                                                            | 3GPP FDD HSUPA                                                                                                                     | 1415.8077.02 |
| R&S® SMBV-K48                                                            | IEEE 802.11 (a/b/g)                                                                                                                | 1415.8102.02 |
| R&S® SMBV-K49                                                            | IEEE 802.16                                                                                                                        | 1415.8119.02 |
| R&S® SMBV-K54                                                            | IEEE 802.11n                                                                                                                       | 1415.8160.02 |
| R&S® SMBV-K55                                                            | EUTRA/LTE                                                                                                                          | 1415.8177.02 |
| R&S® SMBV-K59                                                            | HSPA+                                                                                                                              | 1415.8219.02 |
| R&S® SMBV-K84                                                            | LTE Release 9 + расширенные функции                                                                                                | 1415.8477.02 |
| R&S® SMBV-K86                                                            | IEEE 802.11ac                                                                                                                      | 1415.8648.02 |
| <b>ГНСС</b>                                                              |                                                                                                                                    |              |
| R&S® SMBV-K44                                                            | GPS                                                                                                                                | 1415.8060.02 |
| R&S® SMBV-K65                                                            | Assisted GPS                                                                                                                       | 1415.8560.02 |
| R&S® SMBV-K66                                                            | Galileo                                                                                                                            | 1415.8590.02 |
| R&S® SMBV-K91                                                            | Расширение ГНСС до 12 спутников                                                                                                    | 1415.8577.02 |
| R&S® SMBV-K92                                                            | Расширение ГНСС (напр., сценарии изменения положения, многолучевость)                                                              | 1415.8583.02 |
| R&S® SMBV-K93                                                            | GPS P-код                                                                                                                          | 1415.8660.02 |
| R&S® SMBV-K94                                                            | ГЛОНАСС                                                                                                                            | 1415.8677.02 |
| <b>Системы цифровой модуляции с использованием ПО R&amp;S® WinIQSIM2</b> |                                                                                                                                    |              |
| R&S® SMBV-K240                                                           | GSM/EDGE                                                                                                                           | 1415.8231.02 |
| R&S® SMBV-K241                                                           | EDGE Evolution                                                                                                                     | 1415.8454.02 |
| R&S® SMBV-K242                                                           | 3GPP FDD                                                                                                                           | 1415.8248.02 |
| R&S® SMBV-K243                                                           | Расширенные тесты базовых/мобильных станций 3GPP FDD, включая HSDPA                                                                | 1415.8254.02 |
| R&S® SMBV-K245                                                           | 3GPP FDD HSUPA                                                                                                                     | 1415.8277.02 |
| R&S® SMBV-K248                                                           | IEEE 802.11 (a/b/g)                                                                                                                | 1415.8302.02 |
| R&S® SMBV-K249                                                           | IEEE 802.16                                                                                                                        | 1415.8319.02 |
| R&S® SMBV-K254                                                           | IEEE 802.11n                                                                                                                       | 1415.8354.02 |
| R&S® SMBV-K255                                                           | EUTRA/LTE                                                                                                                          | 1415.8360.02 |
| R&S® SMBV-K259                                                           | HSPA+                                                                                                                              | 1415.8377.02 |
| R&S® SMBV-K284                                                           | LTE Release 9 + расширенные функции                                                                                                | 1415.8625.02 |
| R&S® SMBV-K286                                                           | IEEE 802.11ac                                                                                                                      | 1415.8654.02 |
| <b>Генерация шума</b>                                                    |                                                                                                                                    |              |
| R&S® SMBV-K62                                                            | Аддитивный белый гауссовский шум (AWGN)                                                                                            | 1415.8419.02 |

## О компании Rohde & Schwarz

Rohde & Schwarz представляет собой независимую группу компаний, специализирующуюся на производстве электронного оборудования. Rohde & Schwarz является ведущим поставщиком контрольно-измерительных систем и приборов, оборудования для теле- и радиовещания, систем радиомониторинга и радиопеленгации, а также систем профессиональной радиосвязи специального назначения. 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.

## Обязательства по охране окружающей среды

- Энергосберегающие изделия
- Постоянное улучшение экологической устойчивости
- Сертифицированная система экологического менеджмента ISO 14001



## Контакты в регионах

Европа, Африка, Ближний Восток

+49 89 4129 12345

[customersupport@rohde-schwarz.com](mailto:customersupport@rohde-schwarz.com)

Северная Америка

1-888-TEST-RSA (1-888-837-8772)

[customer.support@rsa.rohde-schwarz.com](mailto:customer.support@rsa.rohde-schwarz.com)

Латинская Америка

+1-410-910-7988

[customersupport.la@rohde-schwarz.com](mailto:customersupport.la@rohde-schwarz.com)

Азия/Тихий океан

+65 65 13 04 88

[customersupport.asia@rohde-schwarz.com](mailto:customersupport.asia@rohde-schwarz.com)

Китай

+86-800-810-8228 / +86-400-650-5896

[customersupport.china@rohde-schwarz.com](mailto:customersupport.china@rohde-schwarz.com)

Данный документ и поставляемые программы могут применяться только при соблюдении условий, изложенных в области загрузки веб-сайта Rohde & Schwarz.

R&S® является зарегистрированным товарным знаком компании Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG. Товарные знаки и торговые марки принадлежат соответствующим владельцам.

**Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG**

Mühlhofstraße 15 | D - 81671 München

Тел. + 49 89 4129 - 0 | Факс + 49 89 4129 - 13777

[www.rohde-schwarz.com](http://www.rohde-schwarz.com)