

Keysight Technologies

# Приложение для измерения коэффициента шума N9069C

на анализаторах сигналов серии X:

N9040B UXA

N9030B PXA

N9020B MXA

N9010B EXA

N9000B CXA

N8973B NFA

N8974B NFA

N8975B NFA

N8976B NFA

## Примечания

© Keysight Technologies, Inc.,  
2015–2016.

Ни одна из частей данного руководства не может быть воспроизведена в какой-либо форме и какими-либо средствами (включая хранение и поиск информации в электронном виде или перевод на иностранные языки) без предварительного согласования с компанией Keysight Technologies и получения ее письменного разрешения в соответствии с законодательством США и международным законодательством по охране авторских прав.

## Признание прав на товарные знаки

### Каталожный номер руководства

N9069-90001RURU

### Издание

Издание 1-е, март 2016 г.

Выпущено взамен: Февраль 2016 г.

Опубликовано:

Keysight Technologies  
1400 Fountaingrove Parkway  
Santa Rosa, CA 95403

## Гарантия в отношении документации

МАТЕРИАЛЫ, СОДЕРЖАЩИЕСЯ В НАСТОЯЩЕМ ДОКУМЕНТЕ, ПРЕДОСТАВЛЯЮТСЯ НА УСЛОВИЯХ «КАК ЕСТЬ» И МОГУТ БЫТЬ ИЗМЕНЕНЫ БЕЗ УВЕДОМЛЕНИЯ В ПОСЛЕДУЮЩИХ РЕДАКЦИЯХ. КРОМЕ ТОГО, В МАКСИМАЛЬНОЙ СТЕПЕНИ, РАЗРЕШЕННОЙ ПРИМЕНИМЫМ ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВОМ, КОМПАНИЯ KEYSIGHT ОТКАЗЫВАЕТСЯ ОТ ВСЕХ ГАРАНТИЙ, ЯВНЫХ И КОСВЕННЫХ, В ОТНОШЕНИИ ДАННОГО РУКОВОДСТВА И ВСЕЙ СОДЕРЖАЩЕЙСЯ В НЕМ ИНФОРМАЦИИ, ВКЛЮЧАЯ, ПОМИМО ПРОЧЕГО, ПОДРАЗУМЕВАЕМЫЕ ГАРАНТИИ ТОВАРНОЙ ПРИГОДНОСТИ И ПРИГОДНОСТИ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПО НАЗНАЧЕНИЮ. КОМПАНИЯ KEYSIGHT ОТКАЗЫВАЕТСЯ ОТ ОТВЕТСТВЕННОСТИ ЗА ОШИБКИ ИЛИ ПОБОЧНЫЕ ИЛИ КОСВЕННЫЕ УБЫТКИ В СВЯЗИ С ПРЕДОСТАВЛЕНИЕМ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАСТОЯЩЕГО ДОКУМЕНТА ИЛИ ЛЮБОЙ СОДЕРЖАЩЕЙСЯ В НЕМ

ИНФОРМАЦИИ. В СЛУЧАЕ ЕСЛИ МЕЖДУ КОМПАНИЕЙ KEYSIGHT И ПОЛЬЗОВАТЕЛЕМ БЫЛО ЗАКЛЮЧЕНО ОТДЕЛЬНОЕ СОГЛАШЕНИЕ, УСЛОВИЯ ГАРАНТИИ В КОТОРОМ В ОТНОШЕНИИ МАТЕРИАЛОВ НАСТОЯЩЕГО ДОКУМЕНТА ПРОТИВОРЕЧАТ ВЫШЕИЗЛОЖЕННЫМ УСЛОВИЯМ, ПРИОРИТЕТ ИМЕЮТ УСЛОВИЯ ГАРАНТИИ, СОДЕРЖАЩИЕСЯ В ОТДЕЛЬНОМ СОГЛАШЕНИИ.

## Лицензии на технологии

Аппаратные средства и (или) программное обеспечение, описанные в настоящем документе, предоставляются в рамках лицензионного соглашения и могут быть использованы или скопированы исключительно в соответствии с условиями такого лицензионного соглашения.

## U.S. Права государственных органов

Данное программное обеспечение является коммерческим компьютерным программным обеспечением согласно определению, содержащемуся в Федеральных правилах закупок (FAR) 2.101. Согласно FAR 12.212 и 27.405-3, а также дополнению к FAR для Министерства обороны (DFARS) 227.7202, коммерческое компьютерное программное обеспечение приобретает государственными органами США на тех же условиях, на которых данное программное обеспечение обычно предоставляется обычным клиентам. Соответственно, компания Keysight предоставляет программное обеспечение заказчиком из государственных органов США в рамках своей стандартной коммерческой лицензии, которая включена в ее лицензионное соглашение с конечным пользователем (EULA), с копией которого можно ознакомиться по адресу <http://www.keysight.com/find/sweula>. Лицензия, содержащаяся в EULA, предоставляет исключительные полномочия, в соответствии с которыми государственные органы США могут использовать, вносить изменения, распространять или раскрывать программное обеспечение. Помимо прочего, EULA и содержащаяся в нем лицензия не требуют и не дают разрешения на то, чтобы компания Keysight: (1) предоставляла техническую информацию, имеющую отношение к коммерческому компьютерному программному обеспечению или документации на коммерческое компьютерное программное обеспечение, которая обычно не предоставляется обычным клиентам; (2) отказывалась от прав

в пользу государственных органов или иным образом предоставляла права государственным органам сверх тех прав, которые обычно представляются обычным клиентам, на использование, внесение изменений, воспроизведение, выпуск, исполнение, отображение или раскрытие коммерческого компьютерного программного обеспечения или документации на коммерческое компьютерное программное обеспечение. Не должны применяться какие-либо дополнительные требования государственных органов, помимо тех, что изложены в EULA, за исключением тех случаев, когда такие условия, права или лицензии прямо требуются от всех поставщиков коммерческого компьютерного программного обеспечения в соответствии с FAR и DFARS и когда они прямо указаны в письменной форме в EULA. Компания Keysight не несет никаких обязательств по обновлению, исправлению или внесению иных изменений в программное обеспечение. В отношении любых технических данных согласно определению, содержащемуся в FAR 2.101, в соответствии с FAR 12.211 и 27.404.2, а также DFARS 227.7102, государственным органам США не предоставляется каких-либо прав сверх ограниченных прав согласно определению, содержащемуся в FAR 27.401 или DFARS 227.7103-5 (c), в зависимости от того, что применимо к техническим данным.

## Указания по технике безопасности

### ВНИМАНИЕ

Пометка «ВНИМАНИЕ!» указывает на опасность. Она означает, что при неправильном выполнении или несоблюдении рабочих процедур, методик и т. п. возможно повреждение изделия или утрата важных данных. Действия, описанные после пометки «ВНИМАНИЕ!», следует выполнять только после того, как указанные условия будут полностью поняты и соблюдены.

### ОСТОРОЖНО

Пометка «ОСТОРОЖНО!» указывает на опасность. Она означает, что при неправильном выполнении или несоблюдении рабочих процедур, методик и т. п. возможно причинение травм, в том числе со смертельным исходом. Действия, описанные после пометки «ОСТОРОЖНО!», следует выполнять только после того, как указанные условия будут полностью поняты и соблюдены.

## Где найти актуальную информацию

Документация на приборы периодически обновляется. Для получения новейшей информации, включая обновления программного обеспечения приборов, информацию о приложениях и продуктах, перейдите по ссылке, соответствующей названию вашего прибора:

<http://www.keysight.com/find/N9040B>

<http://www.keysight.com/find/N9030B>

<http://www.keysight.com/find/N9020B>

<http://www.keysight.com/find/N9010B>

<http://www.keysight.com/find/N9000B>

<http://www.keysight.com/find/N8973B>

Чтобы получать обновления по электронной почте, подпишитесь на рассылку Keysight по адресу:

<http://www.keysight.com/find/MyKeysight>

Информацию о том, как предотвратить повреждение приборов, можно получить по адресу:

[www.keysight.com/find/PreventingInstrumentRepair](http://www.keysight.com/find/PreventingInstrumentRepair)

## Установлена ли у вас последняя версия программного обеспечения?

Компания Keysight периодически выпускает обновления программного обеспечения для приборов, чтобы исправить обнаруженные дефекты и внедрить усовершенствования. Обновления программного обеспечения для вашего прибора можно найти на сайте технической поддержки компании Keysight по адресу:

<http://www.keysight.com/find/techsupport>

# Содержание

<b>1 Общие сведения о коэффициенте шума .....</b>	<b>6</b>
Как измеряется коэффициент шума? .....	7
Источник шума .....	7
Измерения по методу Y-фактора .....	7
Функции приложения Keysight N9069C для измерения коэффициента шума .....	9
<b>2 Выполнение измерений коэффициента шума .....</b>	<b>10</b>
Выполнение основных измерений .....	11
Основные измерения для усилителя .....	11
Выполнение измерений .....	16
Выполнение измерений с частотным преобразователем .....	17
Выполнение измерений тестируемых устройств с частотным преобразованием .....	17
Измерение с системным понижающим преобразователем .....	25
Расчет погрешности измерений .....	31
Применение предусилителей с шиной USB серии U7227 при выполнении измерений коэффициента шума .....	34
Первоначальное подключение к анализатору сигналов .....	35
Указания по использованию предусилителя с шиной USB серии U7227 и встроенного предусилителя, установленного внутри анализатора сигналов серии X .....	38
<b>3 Задачи и концепции, связанные с измерениями .....</b>	<b>46</b>
Настройка измерительной системы .....	47
Учет частотного преобразования .....	47
Выбор и настройка гетеродина .....	55
Калибровка анализатора .....	58
Настройка анализатора сигналов для выполнения измерений .....	61
Набор настроек тестируемого устройства .....	61
Ввод данных коэффициента избыточного шума (ENR) .....	64
Настройка измерительных частот .....	70
Настройка полосы пропускания и усреднения .....	73

Выбор диапазона ослабления на входе.....	75
Настройка управления внешним гетеродином .....	78
Использование компенсации потерь .....	79
Просмотр результатов измерений .....	84
Отображение результатов измерений.....	84
Вычисление мощности шума в различных точках системы для измерения коэффициента шума .....	87
Вычисление коэффициента шума для расчета мощности шума .....	88
Дополнительная информация .....	89

## 1 Общие сведения о коэффициенте шума

Современным приемным системам часто приходится работать с очень слабыми сигналами. Однако такие низкоуровневые сигналы могут теряться на фоне шума, создаваемого различными компонентами системы. В качестве параметров, характеризующих систему с точки зрения возможности обработки низкоуровневых сигналов, используются чувствительность, коэффициент битовых ошибок (BER) и коэффициент шума. Среди этих параметров коэффициент шума имеет особое значение, поскольку он может описывать не только систему в целом, но и ее отдельные компоненты, в том числе предварительный усилитель, смеситель и усилитель промежуточной частоты. Управляя коэффициентами шума и усиления компонентов системы, можно напрямую контролировать коэффициент шума системы в целом. Зная коэффициент шума, можно оценить чувствительность системы в определенной полосе пропускания. Коэффициент шума часто является ключевым параметром, который отличает друг от друга разные системы, усилители и транзисторы.

Для сетей коэффициент шума определяется путем деления соотношения мощности сигнала и шума для входа на соотношение мощности сигнала и шума для выхода.

Коэффициент шума не зависит от формата модуляции, а также от точности воспроизведения сигналов модуляторами и демодуляторами. Коэффициент шума — более общая концепция, чем шумоподавление, которое характеризует чувствительность FM-приемников, и коэффициент BER, который применяется в цифровых коммуникациях.

Коэффициент шума следует рассматривать как понятие, отдельное от коэффициента усиления. После того как произошло наложение шума на сигнал, усилители повышают мощность суммарного сигнала, не изменяя соотношения сигнал-шум.

## Как измеряется коэффициент шума?

В качестве тестируемых устройств для измерения коэффициента шума обычно используются устройства с двумя портами, при работе с которыми можно определить, как снижается соотношение сигнал-шум по мере прохождения сигнала со входа на выход. В приложении N9069C для вычисления коэффициента шума используется метод Y-фактора. Данный раздел содержит краткое описание всей процедуры измерения по методу Y-фактора. Более подробные сведения приведены в Рекомендации по применению 57–2 «Точность измерения коэффициента шума. Метод Y-фактора».

Для испытаний используется двухступенчатая система, показанная на следующем рисунке. Первой ступенью является тестируемое устройство, а второй — подключенный к нему измерительный прибор. Коэффициент шума тестируемого устройства может быть вычислен по следующей формуле:

Формула 1-1 
$$F_1 = [F_{12} - (F_2 - 1) / G_1]$$

Эта формула служит основой для измерений коэффициента шума. В ходе испытаний измеряются коэффициент шума и коэффициент усиления тестируемого устройства.

Рис. 1-1. Измерение коэффициента шума с помощью двухступенчатой системы



### Источник шума

Метод Y-фактора предполагает подачу испытательного сигнала на вход тестируемого устройства от источника шума. Этот источник может создавать два известных уровня шума с предварительно откалиброванным коэффициентом избыточного шума (ENR). Источник генерирует широкополосный шум.

Формула 1-2 
$$ENR = (T_S^{вкл.} - T_S^{выкл.}) / T_0$$

$T_S^{вкл.}$  и  $T_S^{выкл.}$  — шумовая температура при включенном и выключенном источнике соответственно.  $T_0$  — эталонная температура, равная 290 К.

### Измерения по методу Y-фактора

Полный процесс измерения коэффициента шума и усиления тестируемого устройства по методу Y-фактора выполняется в два этапа (калибровка и измерение), как показано на рис. 1-2. Анализатор измеряет мощность шума на различных частотах в определенной полосе пропускания при включенном и выключенном источнике шума. Всего выполняется четыре измерения.

## Процесс

1. Калибровку (рис. 1-2) выполняют без тестируемого устройства, что позволяет измерить характеристики самого прибора. При этом источник шума обычно подключают напрямую к входу измерительного прибора.

Во время калибровки с помощью анализатора выполняют два измерения при включенном и выключенном источнике шума соответственно.

Следует обратить внимание на то, что, если ENR источника шума намного меньше коэффициента шума измерительного прибора (например, если ENR составляет 6 дБ, а коэффициент шума прибора составляет 30 дБ), успешно произвести калибровку не удастся. В таких случаях для уменьшения коэффициента шума измерительного прибора рекомендуется установить предварительный усилитель с шиной USB и (или) внутренний предварительный усилитель. Если по каким-либо соображениям применение предварительного усилителя невозможно, следует воспользоваться источником шума с более высоким ENR.

2. Для выполнения измерений подключают тестируемое устройство, при этом испытательная система становится двухступенчатой: первой ступенью является тестируемое устройство, а второй — измерительный прибор. С помощью анализатора выполняют еще два измерения при включенном и выключенном источнике шума соответственно.

Если в процессе измерений тестируемое устройство усиливает сигнал, результат измерения при включенном источнике шума будет максимальным из всех четырех измерений. В некоторых случаях при высоких коэффициентах усиления, особенно если используется внешний предварительный усилитель, необходимо учитывать опасность перегрузки измерительного прибора.

По результатам четырех измерений, выполненных на двух этапах процесса, анализатор может вычислить коэффициент шума и коэффициент усиления тестируемого устройства. Описанная выше схема измерения предполагает, что тестируемое устройство имеет два порта: вход и выход.

Если тестируемое устройство является преобразователем частоты, во время калибровки и измерений необходимо использовать значения ENR для разных частотных диапазонов. Более подробные сведения приведены в разделе «Измерение коэффициента шума тестируемых устройств с частотным преобразованием» на стр. 17.

Если частотный диапазон тестируемого устройства шире, чем частотный диапазон анализатора, необходимо использовать понижающий преобразователь. Более подробные сведения приведены в разделе «Измерения с понижающим преобразователем» на стр. 25.

Рис. 1-2.

Измерение коэффициента шума методом Y-фактора осуществляется в два этапа: калибровка и измерения





## Функции приложения Keysight N9069C для измерения коэффициента шума

С помощью приложения для измерения коэффициента шума можно выполнить несколько отдельных измерений коэффициента шума в диапазоне частот, заданном частотными параметрами. После измерений в каждой точке с определенной частотой результаты отображаются на экране.

Измерения включают следующие функциональные возможности:

- режимы представления данных: графический формат, формат измерительного прибора и табличный формат;
- типы результатов, в том числе коэффициент шума, шум-фактор, коэффициент усиления, Y-фактор, эффективная температура, P<sub>hot</sub> и P<sub>cold</sub>;
- тип тестируемого устройства, включая усилитель, понижающий преобразователь, повышающий преобразователь и многокаскадный преобразователь;
- поддержка традиционных источников шума серии 346x;
- поддержка интеллектуальных источников шума (SNS) серии N4000x;
- поддержка предусилителя с шиной USB серии U7227;
- поддержка управления внешним источником для моделируемых сигналов гетеродина через интерфейсы LAN, USB и GPIB;
- настройка и калибровка нескольких тестируемых устройств (до 12 тестируемых устройств);
- встроенный калькулятор погрешности коэффициента шума с настраиваемым источником шума соответствует стилю представления нормируемых характеристик и их распределению.

## 2 Выполнение измерений коэффициента шума

В данной главе описан порядок применения предусилителей с шиной USB серии U7227 при выполнении измерений коэффициента шума, приведены два примера измерений — основные измерения и измерения с преобразователем частоты — а также рассмотрен порядок расчета погрешности для данных измерений коэффициента шума. Данная глава содержит следующие темы:

«Выполнение основных измерений» на стр. 11

«Выполнение измерений с преобразователем частоты» на стр. 17

«Расчет погрешности измерений» на стр. 31

«Применение предусилителей с шиной USB серии U7227 при выполнении измерений коэффициента шума» на стр. 34

## Выполнение основных измерений

Данный раздел содержит описание процедуры основных измерений коэффициента шума на примере основных измерений для усилителя, не выполняющего преобразование частоты.

### Основные измерения для усилителя

Измерения коэффициента шума выполняются путем измерения мощности на выходе тестируемого устройства при двух различных уровнях входной мощности шума. Входные сигналы высокой и низкой мощности подаются от калиброванного источника шума. Источник шума включается и выключается в заданной последовательности с максимальной скоростью. Для генерации входного сигнала высокой мощности, подаваемого на анализатор, используется шумовой сигнал, вырабатываемый при включенном источнике шума, а для входного сигнала низкой мощности используется сигнал, мощность шума которого соответствует шумовому сигналу, вырабатываемому при температуре окружающей среды при выключенном источнике шума.

Для демонстрации выполнения основных измерений коэффициента шума и различных базовых операций в качестве тестируемого устройства в данном разделе используется малошумный усилитель с частотным диапазоном от 100 кГц до 500 МГц и источник шума N4002A Keysight серии SNS. В таблице ниже перечислены технические характеристики, представляющие интерес для данного примера.

Табл. 2-1

Пример технических характеристик тестируемого устройства

Диапазон частот	Минимальное усиление	Полный диапазон усиления	Типичный коэффициент шума
От 100 кГц до 500 МГц	20 дБ	± 0,5 дБ	2,9 дБ

В этом примере за диапазон частот, представляющий интерес, принят диапазон от 200 до 400 МГц. Измерения выполняются с целью проверки соответствия результатов, указанных в таблице, заявленным значениям в диапазоне частот, представляющем интерес.

Измерения коэффициента шума, как правило, выполняются в два этапа:

1. Калибровка анализатора для измерения коэффициента шума, вносимого анализатором сигналов. В данном примере используется пользовательская калибровка (User Cal).

Доступны два типа калибровки: пользовательская (User Cal) и внутренняя (Internal Cal). Более подробные сведения см. в разделе «Сравнение пользовательской и внутренней калибровки» на стр. 60.

2. Выполнение измерений с использованием тестируемого устройства.

На рис. 2-1 на стр. 12 показаны схемы подключения системы для выполнения калибровки и измерений. Если используется источник шума Keysight серии 346x, подключите к источнику шума линию от порта NOISE SOURCE DRIVE OUT +28 V (PULSED) на задней панели анализатора сигналов.

#### ПРИМЕЧАНИЕ

Если тестируемое устройство имеет низкое или отрицательное усиление, для более точных результатов рекомендуется использовать вместе с анализатором сигналов предусилитель с шиной USB. Более подробные

Выполнение измерений коэффициента шума  
Выполнение основных измерений

сведения см. в разделе «Применение предусилителей с шиной USB серии U7227 при выполнении измерений коэффициента шума» на стр. 34.

Рис. 2-1. Схемы подключения системы для двухэтапных измерений коэффициента шума



При выполнении измерений следуйте описанной процедуре, изменяя значения в соответствии со своими потребностями.

### Калибровка анализатора

Соедините источник шума с анализатором сигналов согласно схеме калибровки, показанной на рис. 2-1. Затем выполните описанную ниже процедуру.

#### ПРИМЕЧАНИЕ

Возможно, что при калибровке для соединения выхода источника шума с входом анализатора потребуются адаптеры. Если это возможно, используемые разъемы должны быть включены в процесс измерений. Если требуется повышенная точность, то при исключении этих разъемов для проведения калибровки должна применяться компенсация потерь, чтобы скомпенсировать все потери, обусловленные исключением разъемов. Описание этого действия приводится в разделе «Использование компенсации потерь» на стр. 79.

### Калибровка

Этап	Действие	Примечания
1. Включить прибор	– Нажать кнопку питания	Для получения наилучшей точности измерений рекомендуется прогреть анализатор в течение 30 минут.
2. Выбрать режим и тип измерений.	– Нажать <b>MODE/MEAS</b> , <b>Noise Figure</b> , <b>OK</b>	
3. Задать предустановленный режим.	– Нажать <b>Mode Preset</b>	

#### ПРИМЕЧАНИЕ

При использовании предусилителя с шиной USB серии U7227 см. раздел «Указания по применению предусилителя с шиной USB серии U7227 и встроенного предусилителя анализатора сигналов серии X» на стр. 38, где можно найти конфигурацию системы, подходящую для конкретных условий испытаний. Включите внутренний предусилитель и, при необходимости, задайте диапазон внутреннего ослабления для калибровки и измерений.

Выполнение измерений коэффициента шума  
Выполнение основных измерений

Этап	Действие	Примечания
4. Настроить параметры уровней сигналов	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Нажать <b>AMPTD</b>, выбрать вкладку <b>Signal Path</b>, выбрать <b>On</b> из выпадающего списка <b>Internal Preamp</b>.</li> <li>– Нажать <b>MEAS SETUP</b>, выбрать вкладку <b>Cal Setup, User Cal</b> и задать значения <b>Min Atten</b> и <b>Max Atten</b> соответственно для минимального и максимального ослабления.</li> <li>– Нажать <b>AMPTD</b>, выбрать вкладку <b>Attenuation</b> и задать значение, используемое на этапе измерений.</li> </ul>	<p>При входе в режим Noise Figure Mode автоматически включается внутренний предусилитель. Если подключен внешний предусилитель U7227, во избежание перегрузки внутренний предусилитель будет отключен.</p> <p>Значение уровня ослабления, используемое при измерениях, должно находиться в диапазоне между значениями Min Atten и Max Atten.</p>
5. Настроить частотные параметры измерений.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Нажать <b>FREQ, Freq Mode</b> и выбрать <b>Swept</b>.</li> <li>– Нажать <b>Start Freq</b> и ввести <b>200 MHz</b>.</li> <li>– Нажать <b>Stop Freq</b> и ввести <b>400 MHz</b>.</li> <li>– Нажать <b>Points</b> и ввести <b>11</b>.</li> </ul>	
6. Выбрать режим ENR Mode.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Нажать <b>MEAS SETUP, ENR</b>.</li> <li>– В диалоговом окне ENR переключить <b>ENR Mode</b> на <b>Table</b>.</li> </ul>	
7. Настроить таблицу для режима ENR.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Переключить <b>Use Meas Table Data for Cal</b> на <b>On</b>.</li> </ul>	
8. Просмотреть значения ENR. Значения ENR сохраняются в памяти анализатора, пока не будет подключен другой источник шума SNS или пока таблица ENR не будет откорректирована вручную.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Нажать <b>Edit Meas Table</b> для просмотра значений ENR, автоматически загружаемых с источника шума SNS на прибор.</li> </ul>	<p>При использовании других источников шума, например источника шума Keysight 346B, ввод значений ENR выполняется вручную.</p> <p>Более подробная информация о вводе данных ENR содержится в разделе «Ввод данных коэффициента избыточного шума (ENR)» на стр. 64.</p>
9. Задать параметры усреднения.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Нажать <b>MEAS SETUP, Avg/Hold Num</b> и ввести <b>10</b>.</li> <li>– Нажать <b>Averaging</b> и переключить на <b>On</b>.</li> </ul>	

Выполнение измерений коэффициента шума  
Выполнение основных измерений

Этап	Действие	Примечания
10. Задать параметры полосы пропускания.	– Нажать <b>BW</b> , переключить <b>Res BW</b> на <b>Auto</b> .	
11. Задать параметры ослабления.	– Нажать <b>MEAS SETUP</b> , выбрать вкладку <b>Cal Setup</b> , при необходимости изменить значения <b>Min Atten</b> и <b>Max Atten</b> .	В этом примере используется минимальное и максимальное ослабление на входе, заданное по умолчанию. Более подробные сведения см. в разделе «Выбор диапазона ослабления на входе» на стр. 75.
12. Выполнить калибровку.	– Нажать <b>CALIBRATE</b> .	На экране появится запрос подтверждения калибровки. Результаты после калибровки показаны на рисунке ниже.

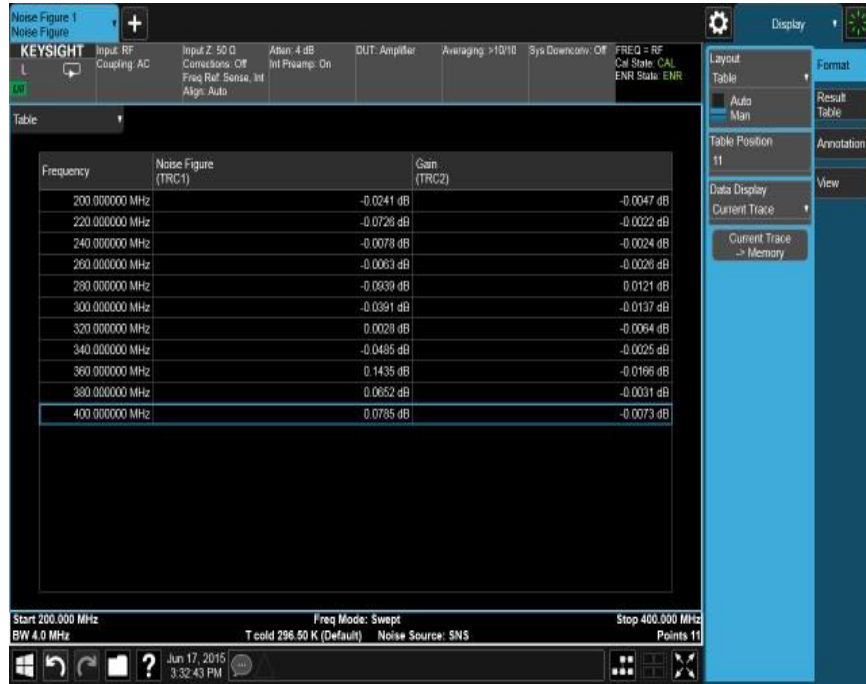
При выполненной калибровке и отсутствии установленного тестируемого устройства значения усиления и коэффициента шума будут составлять около 0 дБ. Это свидетельствует о том, что анализатор учел вносимый шум от всей измерительной системы.



13. Просмотреть результаты в таблице	– Нажать <b>Display</b> и выбрать <b>Table</b> из выпадающего списка <b>Layout</b>	Результаты отобразятся в формате, показанном на следующем рисунке. Ожидаемые значения коэффициента шума и усиления будут составлять приблизительно 0 дБ. Возможно, что данные результаты будет более удобно просматривать в режиме таблицы.
--------------------------------------	--	---

Выполнение измерений коэффициента шума  
Выполнение основных измерений

Этап	Действие	Примечания
------	----------	------------



**ПРИМЕЧАНИЕ**

Если какие-либо исследуемые частоты на входе находятся в верхнем диапазоне, то есть выше 3,6 ГГц, процесс калибровки оптимизирует режим работы преселектора на этих частотах и использует корректировочные значения собственного фильтра в результатах калибровки и при получении результатов измерений. Благодаря этому реже выдаются результаты с коррекцией ошибок, так как функция преселекции задается одновременно для сбора результатов калибровки и результатов измерений. Функция оптимизации фильтра предварительной селекции **Optimize Preselector (Meas Setup, Optimize Preselector)** позволяет получить скорректированные значения без выполнения повторной калибровки.

**ПРИМЕЧАНИЕ**

При выполнении калибровки на частоте выше 3,6 ГГц в отсутствие предусилителя верхнего диапазона или внешнего предусилителя данные калибровки будут значительно расходиться. Измерения, выполненные с применением этих калибровочных данных, могут быть действительными, но только в том случае, если тестируемое устройство имеет высокий коэффициент усиления. Во всех остальных случаях погрешность измерений будет неудовлетворительной.

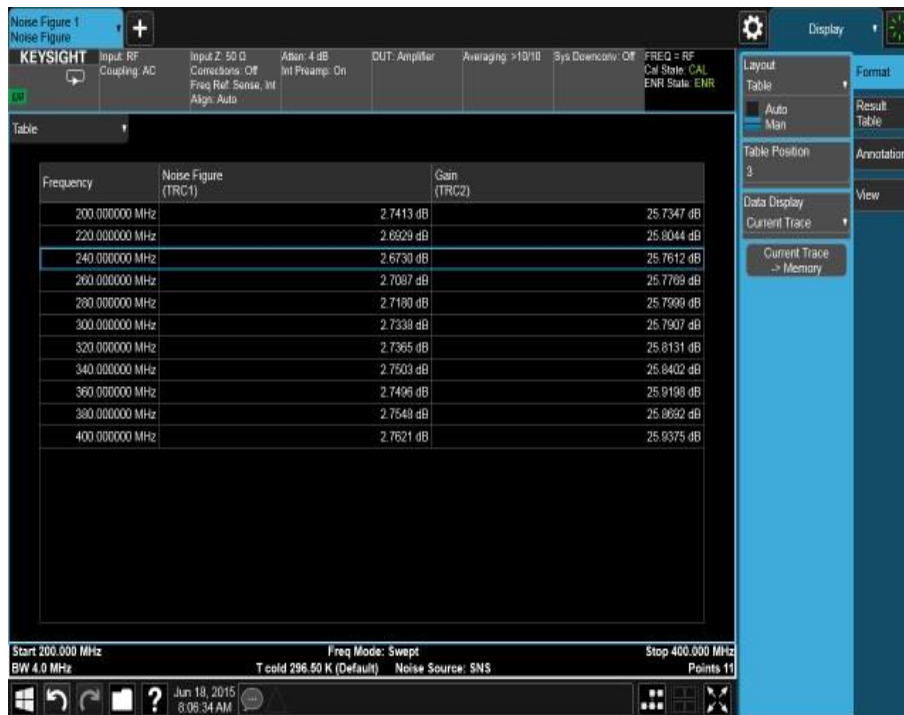
При использовании внешних предусилителей или при высоком коэффициенте усиления тестируемых устройств необходимо следить за тем, чтобы ни внешний предусилитель (или тестируемое устройство с высоким коэффициентом усиления), ни внутренний предусилитель не переходили в режим компрессии, поскольку это ухудшит точность выполняемых измерений. Если имеются основания полагать, что тот или иной предусилитель переходит в режим компрессии, то для предотвращения компрессии перед этим предусилителем необходимо использовать ослабление сигнала. Внутренний аттенуатор анализатора может повлиять только на компрессию, возникающую во внутреннем предусилителе. Он никак не будет влиять на компрессию, возникающую во внешнем предусилителе.

## Выполнение измерений

Этап	Действие	Примечания
1. Выполнение измерений	<ul style="list-style-type: none"> <li>Подключите тестируемое устройство между источником шума и анализатором сигналов в соответствии со схемой измерения, показанной на рис. 2-1.</li> </ul>	<p>После соединения тестируемого устройства и источника шума результаты измерений будут отображены на дисплее анализатора. Если это не так, нажмите на кнопку <b>Restart</b>. Результаты отобразятся в формате, показанном на следующем рисунке.</p> <p>Более подробные сведения о просмотре результатов измерений приведены в пункте «Отображение результатов измерения» на стр. 84.</p>

Из этих результатов видно, что тестируемое устройство имеет средний коэффициент шума 2,72 дБ, средний коэффициент усиления 25,82 дБ и минимальный коэффициент усиления 25,735 дБ. То есть тестируемое устройство соответствует заявленным производителем техническим характеристикам в данном диапазоне частот.

Рис. 2-2. Типовое представление результатов в табличной форме после измерений



2. Просмотр результатов в графическом формате	<ul style="list-style-type: none"> <li>Нажмите на <b>Display</b>, <b>Layout</b> и выберите <b>Graph</b> в раскрывающемся меню.</li> <li>Переключите <b>Overlaid/Combined</b> в положение <b>On</b>.</li> </ul>	<p>На экран выводятся графические результаты, на которых показаны два графика (коэффициенты шума и усиления).</p>
---	--	---



## Выполнение измерений с частотным преобразователем

В данном разделе описано, как выполнить измерение коэффициента шума с использованием частотных преобразователей. Частотные преобразователи необходимы в следующих случаях:

- тестируемое устройство выполняет функции преобразования частоты. Например, тестируемое устройство является смесителем или приемником;
- частотное преобразование является частью схемы измерения. Измерения тестируемого устройства должны производиться на более высокой частоте по сравнению с диапазоном частот анализатора. Поэтому в схему измерения необходимо включить внешний понижающий преобразователь и гетеродин, чтобы преобразовать эту высокую частоту до уровня в рабочем диапазоне анализатора.

Такая схема измерения коэффициента шума позволяет работать с несколькими частотными преобразованиями в самом тестируемом устройстве (включая многоступенчатые преобразователи) и (или) в качестве дополнительного системного понижающего преобразователя, который превращает анализатор в устройство расширения частотного диапазона. Более подробные сведения о том, что требует внимательного анализа при измерениях с частотными преобразователями, приведены в разделе **«Учет частотного преобразования» на стр. 47.**

## Выполнение измерений тестируемых устройств с частотным преобразованием

Ниже приведен пример применения анализатора для измерения коэффициента шума понижающего преобразователя, который работает в диапазоне верхней боковой полосы. Технические характеристики тестируемого устройства приведены **в табл. 2-2 на стр. 19.** Гетеродин настроен на свипирование в частотном диапазоне, а промежуточная частота зафиксирована на уровне 60 МГц.

Калибровка измерительной системы выполняется так же, как и в обычном случае: источник шума подключается напрямую к ВЧ-входу анализатора и производится калибровка. Затем между источником шума и анализатором включается тестируемое устройство и выполняется измерение с поправкой. В данной схеме измерения тестируемое устройство выполняет частотное преобразование. Однако в схеме калибровки частотного преобразования не происходит (как показано **на рис. 2-3 на стр. 18).** Целью этапа калибровки является измерение анализатором собственного коэффициента шума и чувствительности при помощи источника шума. Калибровка должна выполняться в частотном диапазоне, на который анализатор будет настроен во время измерения.

### ПРИМЕЧАНИЕ

Если тестируемое устройство имеет низкий или отрицательный коэффициент усиления, для получения точных результатов рекомендуется использовать вместе с анализатором предварительный усилитель с шиной USB. Более подробные сведения см. в разделе **«Применение предусилителей с шиной USB серии U7227 при выполнении измерений коэффициента шума» на стр. 34.**

### ПРИМЕЧАНИЕ

Входная высокочастотная секция анализаторов серии X имеет встроенный фильтр нижних частот 3,6 ГГц. Этот фильтр необходимо учитывать при планировании требований к фильтрации во время калибровки и измерения, если работы будут выполняться на низких частотах < 3,6 ГГц.

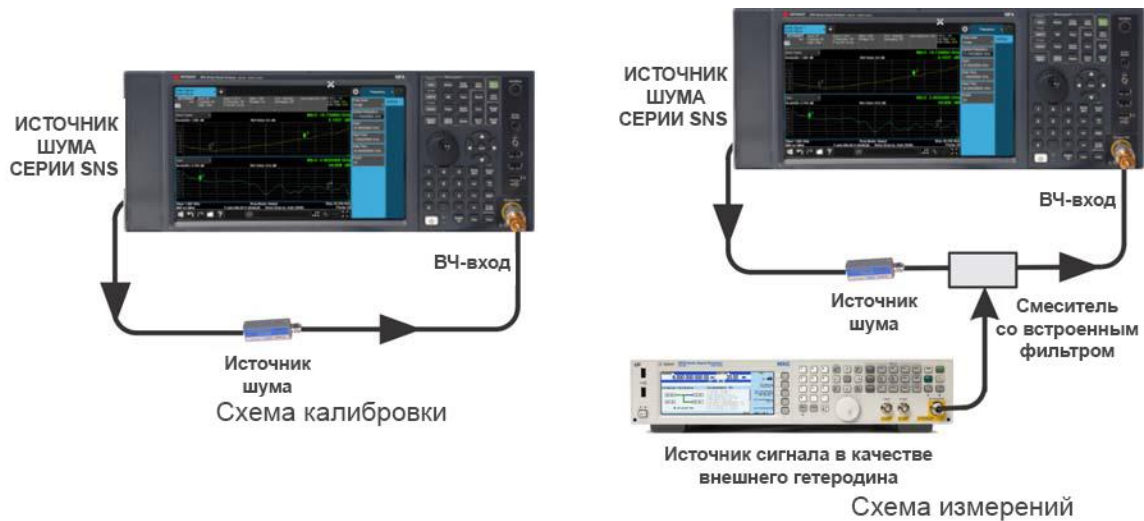
## Выполнение измерений коэффициента шума Выполнение измерений с частотным преобразователем

Во время калибровки и измерения источник шума, например Keysight 346C или Keysight N4002A SNS, необходимо подключить к специальному разъему на задней стороне анализатора серии X. В данном разделе для примера используется источник шума Keysight SNS.

Для управления генератором сигналов, от которого на гетеродин поступает входной сигнал в диапазоне от 3,14 до 3,64 ГГц, используется внешний блок управления гетеродином. Опорная частота для генератора сигналов может подаваться на вход EXT REF IN, который находится на задней панели анализатора серии X. При этом обеспечивается синхронизация гетеродина и анализатора, что повышает точность измерений.

Рис. 2-3.

Измерение тестируемого устройства с частотным преобразованием при помощи анализатора сигналов серии X



Выполнение измерений коэффициента шума  
 Выполнение измерений с частотным преобразователем

Для такого измерения необходимо перейти в диалоговое окно DUT Setup (MEAS SETUP, DUT Setup & Calibration):

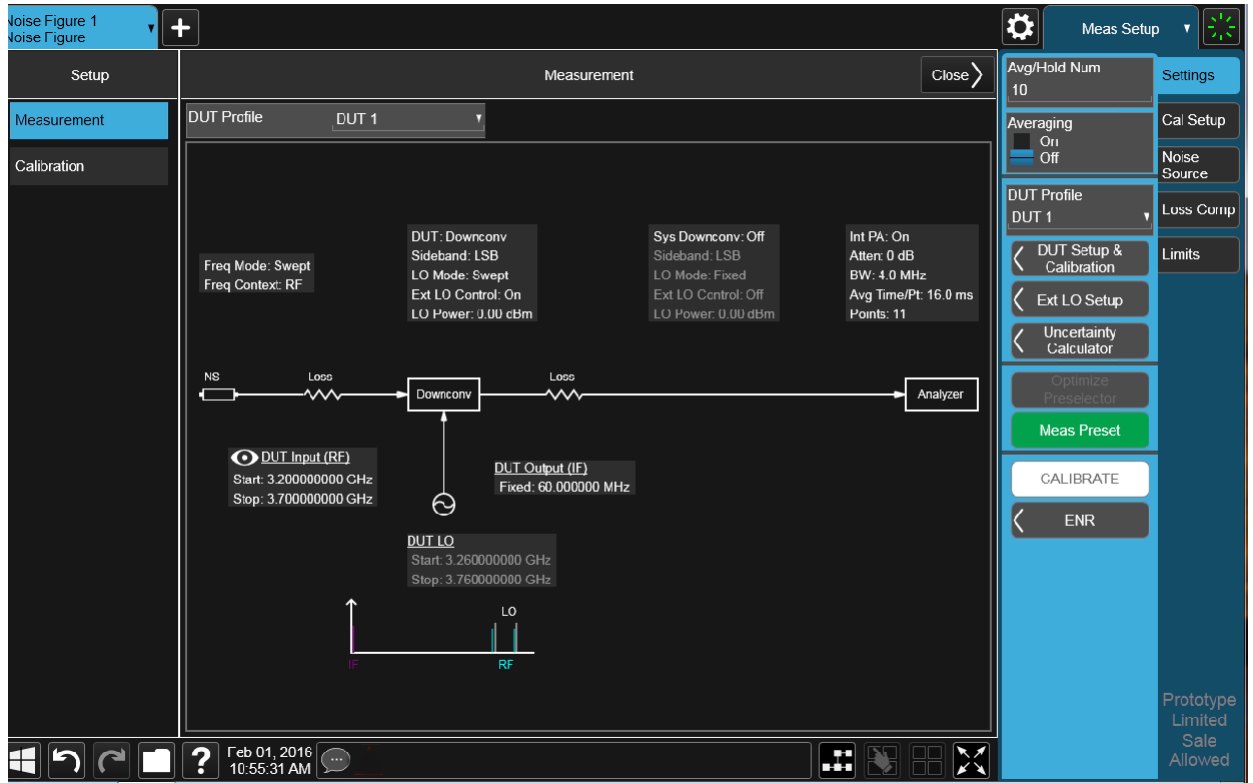


Табл. 2-2

Таблица настройки тестируемого устройства

<b>Режим переноса частоты</b>	<b>Swept (Режим со свипированием)</b>
<b>Принцип организации тракта:</b>	<b>RF</b> В этом меню определяется, куда будут поступать измеряемые сигналы: на вход тестируемого устройства ( <b>RF</b> ) или на вход анализатора ( <b>IF</b> ). См. « <b>Принцип организации тракта</b> » на стр. 62.
<b>DUT (Тестируемое устройство)</b>	<b>Downconv</b> (Понижающий преобразователь)
<b>Sideband (Боковая полоса)</b>	<b>USB</b> См « <b>Боковая полоса (для тестируемого устройства и системного понижающего преобразователя)</b> » на стр. 62.
<b>LO Mode (Режим гетеродина)</b>	<b>Swept</b> (Режим со свипированием)
<b>Внешнее управление LO</b>	<b>On</b> (Вкл.)
<b>System Downconverter (Системный понижающий преобразователь)</b>	<b>Off</b> (Выкл.)

Табл. 2-2

Таблица настройки тестируемого устройства

<b>Diagram (Схема)</b>	<b>Calibration (Калибровка) или Measurement (Измерения).</b> Это не влияет на измерение или калибровку, но показывает, как должны быть настроены источник шума, тестируемое устройство и анализатор. Синяя пиктограмма в виде глаза служит визуальным напоминанием о выбранной настройке <b>Frequency Context</b> .
<b>DUT Input (RF) (Вход тестируемого устройства (ВЧ))</b>	Start (Начальная частота): 3,2 ГГц
<b>DUT Input (RF) (Вход тестируемого устройства (ВЧ))</b>	Stop (Конечная частота): 3,7 ГГц
<b>DUT Out (IF) (Выход тестируемого устройства (ПЧ))</b>	Fixed (Фиксированная частота): 60 МГц

### Процедура первоначальной настройки

Ниже приведен обзор процедуры первоначальной настройки.

Этап	Действие	Примечания
1. Включить прибор.	– Нажать кнопку питания	Для получения наилучшей точности измерений рекомендуется прогреть анализатор в течение 30 минут.
2. Выбрать режим и тип измерений	– Нажать <b>MODE/MEAS, Noise Figure, OK</b>	
3. Задать предустановленный режим	– Нажать <b>Mode Preset</b>	
4. Настроить конфигурацию ENR	– Нажать <b>MEAS SETUP, ENR.</b> – Переключить <b>ENR Mode</b> на <b>Table</b> . – Переключить <b>Use Meas Table Data for Cal</b> на <b>On</b> .	
5. Просмотреть данные ENR	– Нажать <b>Edit Meas Table</b> для просмотра значений ENR, загружаемых с источника шума SNS на прибор. – Нажать <b>Close</b> .	При использовании других источников шума, например источника шума Keysight 346B, ввод значений ENR выполняется вручную.  Более подробная информация о вводе данных ENR содержится в разделе «Ввод данных коэффициента избыточного шума (ENR)» на стр. 64.  Следует отметить, что для калибровки и для выполнения измерений используются данные ENR для различных диапазонов частот.

Выполнение измерений коэффициента шума  
Выполнение измерений с частотным преобразователем

Этап	Действие	Примечания
<p>6. Настроить конфигурацию внешнего гетеродина</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Нажать <b>Ext LO Setup</b>.</li> <li>– В области <b>LAN</b> диалогового окна ввести <b>IP-адрес</b> и нажать <b>Done</b>.</li> <li>– Нажать <b>Add Specified IP Address</b>.</li> <li>– Нажать <b>Select Highlighted Source as DUT LO</b>.</li> </ul>	<p>Более подробные сведения о настройке гетеродина приведены в разделе «<b>Настройка управления внешним гетеродином</b>» на стр. 78.</p>
<p>7. Настроить конфигурацию гетеродина тестируемого устройства</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– В диалоговом окне Select нажать <b>Ext LO Setup</b>.</li> <li>– Нажать <b>DUT LO Setup</b>.</li> <li>– В области <b>LO Settings</b> диалогового окна ввести следующие значения: <b>LO Power; 7.0 dBm Min Freq; 250 kHz Max Freq; 6 GHz.</b></li> <li>– Нажать <b>DUT Setup &amp; Calibration</b>.</li> </ul>	<p>Это установит минимальное и максимальное значения для генератора сигналов.</p>
<p>8. Настроить конфигурацию тестируемого устройства</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Настроить параметры, как указано в <b>табл. 2-2</b>.</li> </ul>	<p>После настройки всех параметров экран DUT Setup будет выглядеть так, как показано на следующем рисунке.</p> <p>Более подробные сведения обо всех параметрах в виде наборов настроек тестируемого устройства приведены в разделе «<b>Набор настроек тестируемого устройства</b>» на стр. 61.</p>

Выполнение измерений коэффициента шума  
 Выполнение измерений с частотным преобразователем

Этап	Действие	Примечания
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <span>Setup</span> <span>Measurement <span style="float: right;">Close &gt;</span></span> </div> <div style="border-bottom: 1px solid black; padding: 5px;"> <span>Measurement</span> </div> <div style="padding: 5px;"> <span>Calibration</span> </div> </div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <span>DUT Profile</span> <span>DUT 1</span> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 10px;"> <div style="width: 20%;"> <p>Freq Mode: Swept Freq Context: RF</p> </div> <div style="width: 20%;"> <p>DUT: Downconv Sideband: USB LO Mode: Swept Ext LO Control: On LO Power: 7.00 dBm</p> </div> <div style="width: 20%;"> <p>Sys Downconv: Off Sideband: LSB LO Mode: Fixed Ext LO Control: Off LO Power: 0.00 dBm</p> </div> <div style="width: 20%;"> <p>Int PA: On Atten: 0 dB BW: 4.0 MHz Avg Time/Pt: 16.0 ms Points: 11</p> </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;"> </div> </div>	

9. Задать параметры усреднения — Нажать **MEAS SETUP**,  
**Avg/Hold Num**, 10.  
 — Переключить **Averaging** на **On**.

10. Включить внутренний предварительный усилитель — Нажать **AMPTD**, **Signal Path**,  
**Internal Preamp** на **On**.

**ПРИМЕЧАНИЕ**

Значения ENR сохраняются в памяти анализатора до тех пор, пока не будет подключен другой SNS или пока таблица ENR не будет изменена вручную.

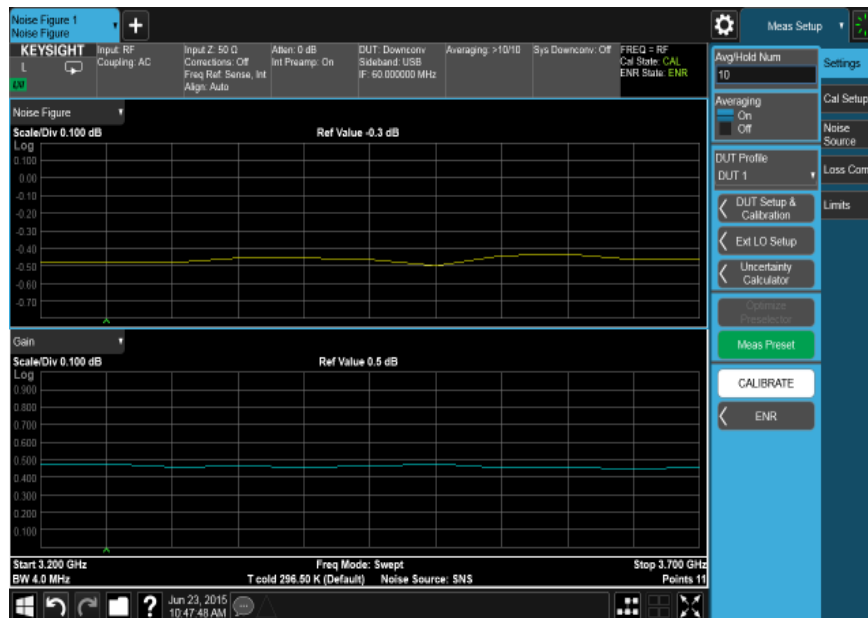
**Калибровка схемы измерения**

Калибровка схемы для измерения коэффициента шума зависит от установленной частоты. Если после калибровки частота будет изменена, потребуется выполнить повторную калибровку схемы измерения.

Подключите источник шума и анализатор для калибровки (см. [рис. 2-3](#)). Обратите внимание, что все средства фильтрации, расположенные после тестируемого устройства, необходимо подключать до калибровки.

Выполнение измерений коэффициента шума  
 Выполнение измерений с частотным преобразователем

Этап	Действие	Примечания
1. Настроить калибровку системы	<ul style="list-style-type: none"> <li>Подключить калибровочную систему, как показано на <a href="#">рис. 2-3 на стр. 18</a>.</li> </ul>	<p>При использовании предусилителя с шиной USB серии U7227 см. «<a href="#">Указания по применению предусилителя с шиной USB серии U7227 и встроенного предусилителя анализатора сигналов серии X</a>» на <a href="#">стр. 38</a>, где можно найти конфигурацию системы, подходящую для конкретных условий испытаний. Включить внутренний предусилитель и, при необходимости, задать диапазон внутреннего ослабления для калибровки и измерений.</p>
2. Настроить параметры уровней сигналов	<ul style="list-style-type: none"> <li>Нажать <b>AMPTD</b>, выбрать вкладку <b>Attenuation</b> и настроить значения, используемые на этапе измерения.</li> <li>Нажать <b>MEAS SETUP</b>, выбрать вкладку <b>Cal Setup, User Cal</b> и задать значения <b>Min Atten</b> и <b>Max Atten</b> соответственно для минимального и максимального ослабления.</li> </ul>	<p>Значение уровня ослабления, используемое при измерениях, должно находиться в диапазоне между значениями Min Atten и Max Atten.</p>
3. Выполнить калибровку.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Нажать <b>CALIBRATE</b></li> </ul>	<p>На экране появится запрос подтверждения калибровки. Результаты после калибровки показаны на рисунке ниже.</p> <p>Когда калибровка завершится, измерительная система будет откалибрована на выходе смесителя. Красный текст UNCAL вверху дисплея справа поменяется на зеленый текст CAL.</p>



Выполнение измерений коэффициента шума  
 Выполнение измерений с частотным преобразователем

Выполнение измерений скорректированного коэффициент шума и коэффициента усиления

На данной стадии выполняется измерение с коррекцией шума, создаваемого анализатором. Вставьте тестируемое устройство в систему, как показано на рис. 2-3 на стр. 18. Графическое отображение коэффициента шума и коэффициента усиления показано на рис. 2-4. Нажмите **View/Display, Table**, чтобы переключиться на табличный вид; см. рис. 2-5.

Рис. 2-4.

Скорректированные результаты измерений (графический вид)

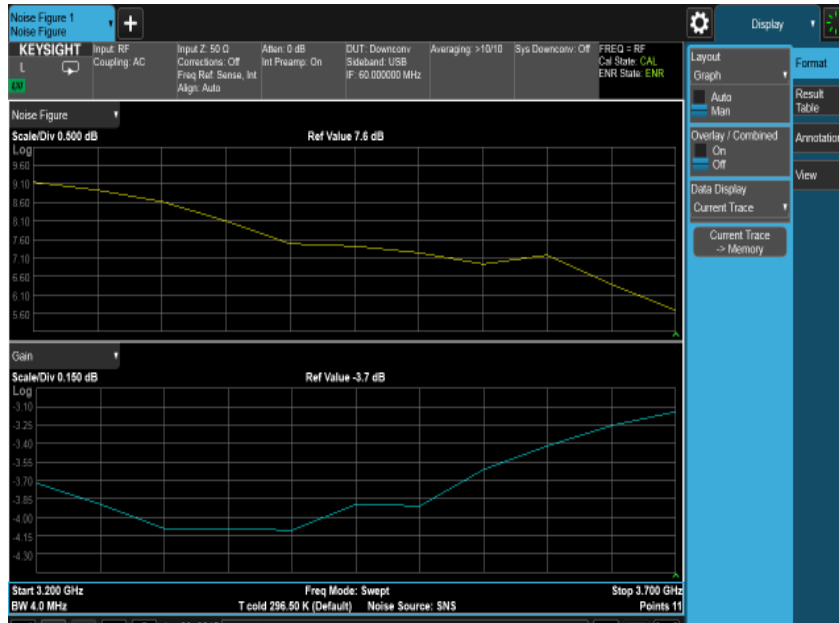


Рис. 2-5.

Скорректированные результаты измерений (табличный вид)

Frequency	Noise Figure (TRC1)	Gain (TRC2)
3.20000000 GHz	9.1379 dB	-3.7219 dB
3.25000000 GHz	8.9426 dB	-3.9050 dB
3.30000000 GHz	8.6244 dB	-4.0760 dB
3.35000000 GHz	8.0943 dB	-4.0943 dB
3.40000000 GHz	7.4312 dB	-4.0889 dB
3.45000000 GHz	7.3576 dB	-3.8948 dB
3.50000000 GHz	7.2752 dB	-3.9015 dB
3.55000000 GHz	6.9432 dB	-3.5944 dB
3.60000000 GHz	7.1776 dB	-3.4371 dB
3.65000000 GHz	6.3744 dB	-3.2404 dB
3.70000000 GHz	5.6764 dB	-3.1434 dB

**ПРИМЕЧАНИЕ**

После успешного выполнения измерений настроенная схема может быть сохранена для будущих измерений. Для этого нажмите **Save, State, Save To File**.



Выполнение измерений коэффициента шума  
Выполнение измерений с частотным преобразователем

**ПРИМЕЧАНИЕ**

Если измерение включает вносимые потери от какого-либо фильтра, который не был использован на этапе калибровки, их можно учесть, нажав на анализаторе **MEAS SETUP**, вкладку **Loss Comp, Loss (Before DUT)** или **After DUT**, **Loss Comp Mode, Fixed** и введя значение вносимых потерь для такого устройства.

Вы также можете отобразить потери в таблице и создать определенные значения частоты/уровня сигнала.

### Выполнение измерений многоступенчатых преобразователей

Измерения многоступенчатых преобразователей схожи с вышеописанной процедурой измерений. Однако при измерениях многоступенчатых преобразователей отсутствует фиксированная взаимосвязь между частотами ВЧ и ПЧ. Вам потребуется ввести частоты ВЧ и ПЧ в соответствии со входом и выходом тестируемого устройства.

В многоступенчатых преобразователях может использоваться несколько гетеродинов. Приложение для измерения коэффициента шума может управлять только одним из них.

### Измерение с системным понижающим преобразователем

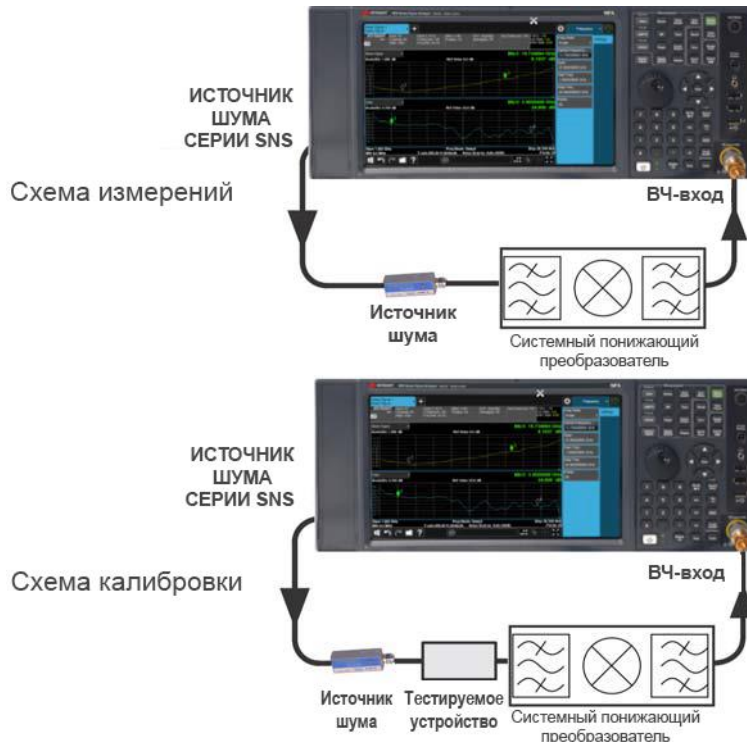
Под системным понижающим преобразователем понимается устройство, расширяющее частотный диапазон для анализатора, чтобы измерения тестируемого устройства могли выполняться на частотах, которые не входят в диапазон анализатора.

**ПРИМЕЧАНИЕ**

В этом обсуждении измерений используется внешний понижающий преобразователь с неустановленными характеристиками. Поэтому здесь отсутствуют гарантированные технические характеристики или параметры, предусмотренные для измерительной системы.

Рис. 2-6.

Калибровка и измерение системного понижающего преобразователя



## Выполнение измерений коэффициента шума Выполнение измерений с частотным преобразователем

Системный понижающий преобразователь представляет собой часть измерительной системы, и он представлен как в схеме калибровки, так и в схеме измерения. См. [рис. 2-6](#). Во время калибровки измеряются параметры шума как в анализаторе, так и в системном понижающем преобразователе. Поэтому при выполнении скорректированных измерений полученные результаты применяются только к тестируемому устройству. Если в тестируемом устройстве нет дополнительных преобразований частоты, данные ENR для того же диапазона частот будут использоваться как для калибровки, так и для измерений.

Анализатор может использоваться в гораздо более сложных системах, с несколькими частотными преобразованиями между тестируемым устройством и источником шума. Однако управление такими системами зависит от конкретного приложения. Вам потребуется выполнить расчеты частоты, подходящие для конкретной системы, учесть эффекты любых преобразований DSB, определить требования к фильтрам и вычислить подходящие значения ENR для калибровки и измерений.

Для подключения анализатора и выполнения измерений:

Шаг	Примечания
1. Включить анализатор.	
2. Нажать <b>MODE/MEAS, Noise Figure, OK, Mode Preset</b> , чтобы вернуть анализатор в известное состояние.	
3. Ввести значения ENR в анализатор, если это необходимо.	Соответствующие процедуры описаны в разделе « <b>Ввод данных коэффициента избыточного шума (ENR)</b> » на <a href="#">стр. 64</a> .
4. См. « <b>Настройка управления внешним гетеродином</b> » на <a href="#">стр. 78</a> , чтобы настроить управление гетеродином для системного понижающего преобразователя и тестируемого устройства, как это необходимо.	Обратите внимание, что необходимо использовать управление внешним гетеродином для управления другим генератором сигналов, используемым как местный гетеродин, если режим частоты гетеродина (LO Freq Mode) для тестируемого устройства или системного понижающего преобразователя установлен на свипирование (Swept).
5. Нажать <b>MEAS SETUP, DUT Setup &amp; Calibration</b> и заполнить форму настройки тестируемого устройства, как это необходимо.	Более подробные сведения обо всех параметрах в форме настройки тестируемого устройства приведены в разделе « <b>Набор настроек тестируемого устройства</b> » на <a href="#">стр. 61</a> .
6. Нажать <b>MEAS SETUP, Avg/Hold Num, 10</b> и переключить <b>Averaging</b> на <b>On</b> .	Включение усреднения в данных настройках уменьшает джиттер и обеспечивает более точные результаты измерений. См. « <b>Настройка усреднения</b> » на <a href="#">стр. 74</a> для получения дополнительных сведений.
7. Настроить конфигурацию подключений для измерения на схему калибровки, как показано на <a href="#">рис. 2-6</a> , и нажать <b>MEAS SETUP, CALIBRATE</b> для выполнения калибровки.	
8. Изменить конфигурацию подключений для измерения на схему измерения, как показано на <a href="#">рис. 2-6</a> , и выполнить скорректированные измерения.	

## Режимы измерений с системным понижающим преобразователем DSB

Источник шума генерирует широкополосный шум. В схеме калибровки системного понижающего преобразователя DSB входной шум от боковых полос USB и LSB будет преобразован в ту же ПЧ, как показано на [рис. 2-7](#). Измерения системного понижающего преобразователя DSB вызывают неявное линейное усреднение характеристик тестируемого устройства. Те же значения ENR используются как для частоты USB, так и для частоты LSB и берутся из усредненных частот USB и LSB. Это соответствует частоте используемого в системе гетеродина. Выдаваемые результаты представляют собой среднее из двух мощностей боковых полос.

К преимуществам измерений DSB относятся минимальные требования к фильтрам и широкий частотный диапазон. В измерениях DSB обычно стремятся выбрать как можно более низкую ПЧ, чтобы минимизировать разделение между боковыми полосами и за счет этого добиться оптимального возможного разрешения.

### ПРИМЕЧАНИЕ

При измерениях со сдвоенной боковой полосой (DSB) важно, чтобы ПЧ была значительно ниже частоты гетеродина. Это связано с тем, что значения в таблице ENR могут применяться к одной частоте или, в случае измерения со свипированием, одному набору частот. Значения ENR не могут применяться одновременно и к верхней, и к нижней боковым полосам, поэтому значения ENR применяются к средней точке между верхней и нижней боковыми полосами, которая равна частоте гетеродина.

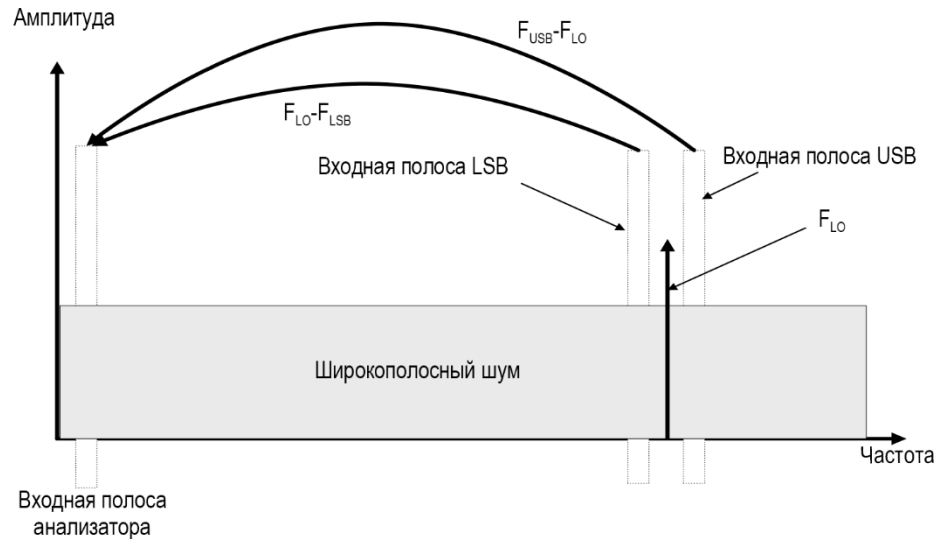
Следовательно, чем выше частота ПЧ по сравнению с частотой гетеродина, тем дальше друг от друга будут верхняя и нижняя боковые полосы. Чем дальше верхняя и нижняя боковые полосы будут от частоты гетеродина, тем менее точным будет значение ENR.

Для получения максимальной точности рекомендуется, чтобы при измерениях со сдвоенной боковой полосой частота ПЧ не превышала 1 % частоты гетеродина. При измерениях со свипированием ни одна из частот в диапазоне качающейся частоты не должна превышать 1 % частоты гетеродина.

---

Рис. 2-7.

Измерения системного понижающего преобразователя DSB



- Если полоса пропускания тестируемого устройства превышает разделение LSB-USB, системный понижающий преобразователь сможет работать в режиме USB, LSB или DSB, и те же условия будут наблюдаться как при калибровке, так и при измерениях, поэтому дополнительная коррекция мощности боковой полосы DSB не потребуется. Корректированные измерения нивелируют влияние суммирования боковых полос.

**ПРИМЕЧАНИЕ**

Для этого случая предварительные требования к использованию системного понижающего преобразователя DSB заключаются в том, чтобы ENR источника шума, коэффициент усиления и частотная характеристика тестируемого устройства в диапазоне LSB-USB были постоянны. Чтобы проверить это, вы можете поэкспериментировать с разными значениями ПЧ, чтобы увидеть, станут ли ошибки вариации частоты проблемой. Если значения коэффициента шума значительно меняются при выборе ПЧ, то рекомендуется использовать системный понижающий преобразователь SSB.

- Если полоса пропускания тестируемого устройства ниже разделения LSB-USB и при этом используется системный понижающий преобразователь DSB, схема калибровки будет работать в режиме DSB, в то время как схема измерения будет фактически работать в режиме SSB, что определяется селективностью тестируемого устройства. В этом случае к усилению потребуется применять поправочный коэффициент в связи с калибровкой в режиме DSB и измерениями в режиме SSB. Как правило, следует устанавливать компенсацию потерь после тестируемого устройства, равную 3 дБ. Для этого нажмите **Meas Setup**, вкладку **Loss Comp**, **Loss**, **After DUT**, **Loss Comp Mode**, **Fixed**, **Fixed Loss**, **3**, **dB**.

Для СВЧ-измерений на частотах свыше 3,6 ГГц входной фильтр-преселектор анализатора будет устранять просачивание сигнала гетеродина от понижающего преобразователя. В противном случае потребуется установить фильтр между системным понижающим преобразователем и анализатором. Кроме того, необходимо принять во внимание гармонические режимы гетеродина смесителя.

Выполнение измерений коэффициента шума  
Выполнение измерений с частотным преобразователем

Режимы измерения с системным понижающим преобразователем SSB

Анализатор может выполнять расчеты частоты для преобразований системного понижающего преобразователя DSB, LSB или USB. Требования к фильтрации будут определяться особенностями конкретного измерения.

На рис. 2-8 показано, как фильтрация применяется для измерений LSB, а на рис. 2-9 показано выполнение измерений USB с понижающим преобразованием.

Рис. 2-8. Измерения системного понижающего преобразователя LSB

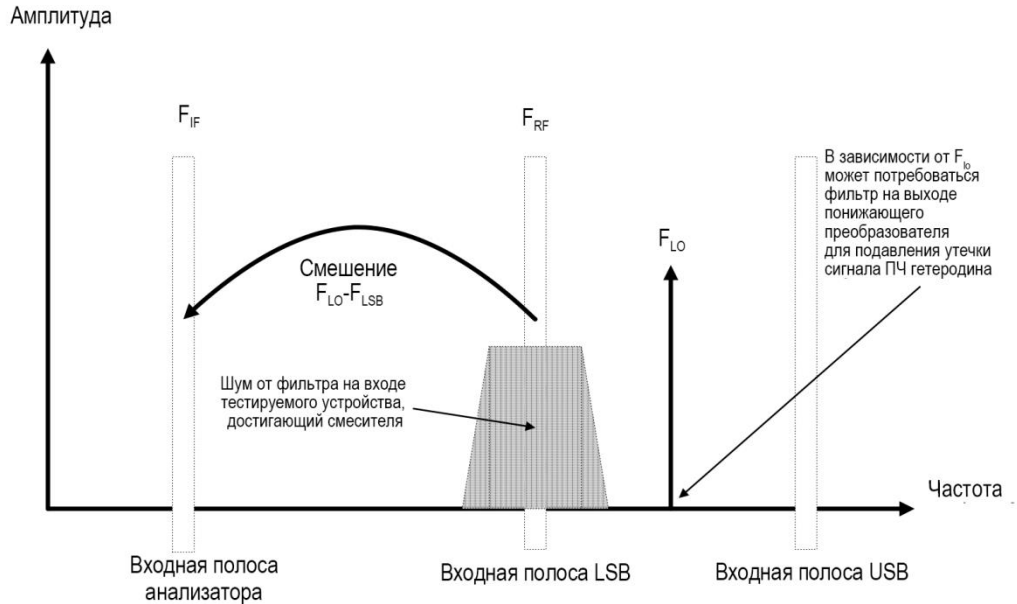
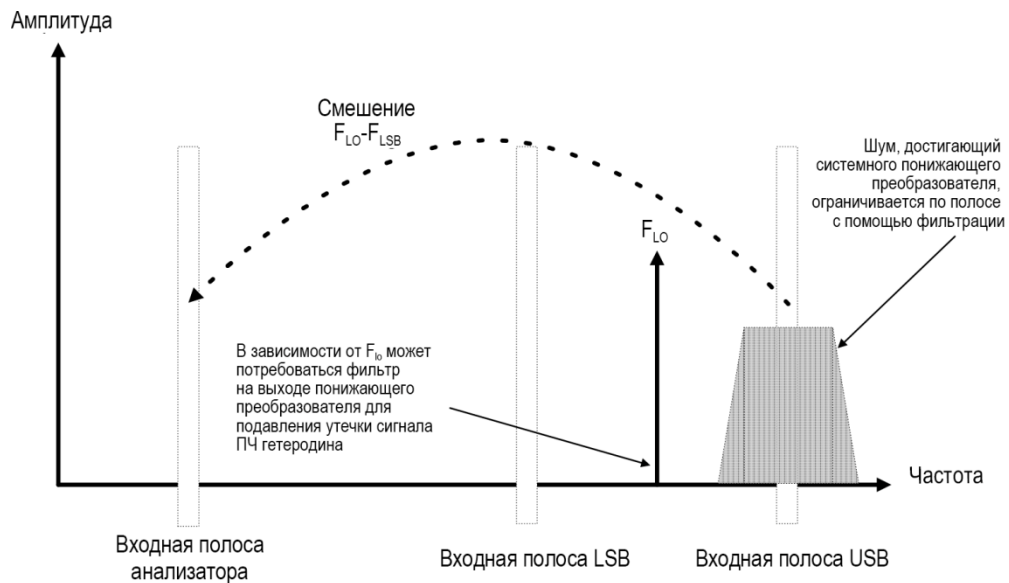


Рис. 2-9. Измерения системного понижающего преобразователя USB



В идеале следует выбирать высокую ПЧ для преобразования, чтобы разделить полосы USB и LSB, чтобы тем самым упростить требования к фильтрации.

Выполнение измерений коэффициента шума  
Выполнение измерений с частотным преобразователем

Фильтр, необходимый для выполнения измерений SSB, может быть частью тестируемого устройства; в противном случае должен быть предусмотрен и установлен на входе системного понижающего преобразователя фильтр, требуемый для конкретных измерений.

Полоса пропускания фильтра SSB ограничивает максимальный диапазон частот, в котором может быть выполнено свипирование для измерений. Поэтому измерения SSB не подходят для очень широкополосных тестируемых устройств.

Фильтрация необходима для выбора желаемой боковой полосы. В этом случае становятся возможными измерения коэффициента шума со свипированием, даже если свипирование частоты гетеродина будет невозможным.

## Расчет погрешности измерений

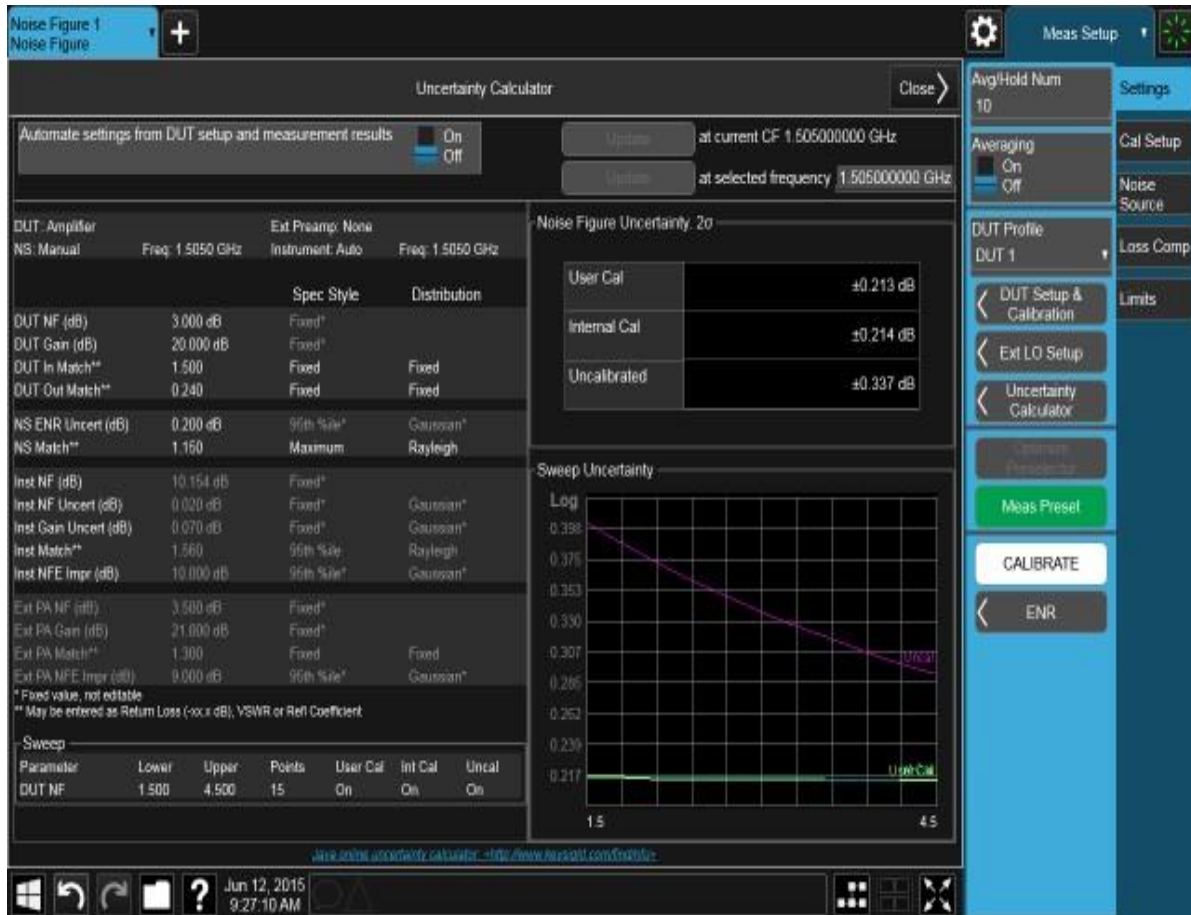
Погрешность измерений является ключевым параметром измерений коэффициента шума, особенно для тестируемых устройств с чрезвычайно низким коэффициентом шума. На стадиях разработки и производства устройств необходимо иметь четкое представление о том, как будет влиять на общую погрешность измерений совокупность переменных параметров. Источники таких влияний включают сам анализатор, источник шума и тестируемое устройство.

Приложение для измерения коэффициента шума содержит калькулятор погрешности измерений для расчета среднеквадратичного значения (СКЗ) погрешности измерений. После того как будут измерены или заданы различные характеристики устройств, они могут быть введены в анализатор для вычисления среднеквадратичной погрешности.

Для получения более подробной информации о вычислении погрешности коэффициента шума см. рекомендации по применению, номер публикации 5952-3706E. Онлайн-версия и версия в формате Excel калькулятора погрешности измерений коэффициента шума приведены на сайте

<http://www.keysight.com/find/nfu>

Рис. 2-10. Калькулятор погрешности измерений





## Выполнение измерений коэффициента шума Расчет погрешности измерений

В следующей процедуре в качестве примера используются результаты измерений, полученные на усилителе в разделе «**Выполнение основных измерений**» на стр. 11, для вычисления погрешности измерений.

Шаг	Примечания
1. Нажать <b>MEAS SETUP, Uncertainty Calculator</b> .	Данный этап должен выполняться после получения скорректированных результатов измерений.
2. В диалоговом окне Measurement Uncertainty Calculator для настройки <b>Automate settings from DUT Setup and measurement results</b> выбрать <b>On</b> .	<p>В результате будут автоматически заполнены параметры, требуемые для вычисления погрешности измерений, с использованием характеристик измерительного прибора и результатов измерений.</p> <p>После того как настройка будет установлена на <b>On</b>:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>– установить тип источника шума на <b>Auto (SNS)</b>, если SNS подключен;</li><li>– установить тип измерительного прибора на <b>Auto</b>;</li><li>– установить тип внешнего предусилителя на <b>Auto</b>, если подключен предусилитель с шиной USB серии U7227.</li></ul> <p>Затем параметры для этих устройств будут автоматически загружены из измерительного прибора.</p> <p>Вы также можете изменить эти настройки на <b>Manual</b> и ввести соответствующие параметры вручную.</p>
3. При использовании источников шума типа Keysight SNS перейти напрямую к шагу 4.  При использовании источников шума Keysight серии 346x выбрать номер используемой модели из раскрывающегося списка <b>NS</b> :  Для других источников шума выбрать <b>Manual</b> в списке типов <b>Noise Source</b> и ввести значения <b>NS ENR Uncert (dB)</b> и <b>NS Match</b> вручную.	
4. Ввести значения <b>DUT In Match</b> и <b>DUT Out Match</b> и выбрать стиль характеристик и распределение.	<p>Значения для согласования тестируемого устройства могут быть либо взяты с листа технических данных, либо получены с помощью измерений. Они могут быть введены как обратные потери (-XX.X dB), КСВН или коэффициент отражения.</p> <p>Рекомендуется, чтобы стиль характеристик был установлен на <b>Fixed</b>.</p>
5. Нажать кнопку <b>Update at current CF</b> для показа погрешности измерений для текущих результатов измерений. На следующем рисунке показан экран калькулятора погрешности.	Если требуется вычислить погрешность измерений для других точек частоты, следует ввести значение частоты в поле рядом с кнопкой <b>Update at selected frequency</b> и затем нажать кнопку <b>Update at selected frequency</b> , чтобы отобразить результаты для этой частоты.

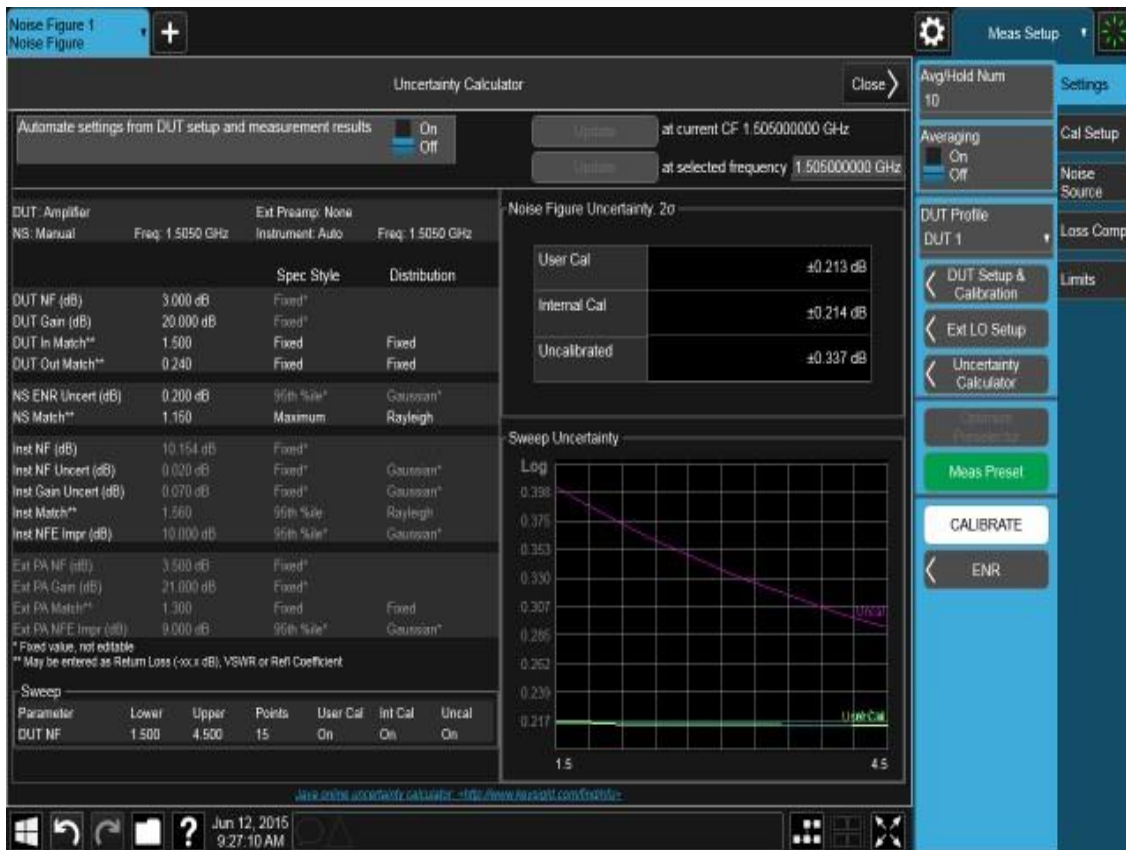


## Выполнение измерений коэффициента шума Расчет погрешности измерений

**Шаг**

**Примечания**

6. Погрешность измерений коэффициента шума для текущих результатов измерений отображается в полях **Noise Figure Uncertainty**, **2σ** и **Sweep Uncertainty**. Выдаются данные по трем видам погрешностей измерений: User Cal (Пользовательская калибровка), Internal Cal (Внутренняя калибровка) и Uncalibrated (Без калибровки). Более подробные сведения о погрешностях при пользовательской калибровке и внутренней калибровке приведены в разделе «Сравнение пользовательской и внутренней калибровки» на стр. 59.
  - В поле **Noise Figure Uncertainty**, **2σ** отображаются результаты погрешности для текущих настроек.
  - В поле **Sweep Uncertainty** отображаются результаты погрешности измерений со свипированием для параметра, который может быть задан в поле **Sweep**. На этом экране можно наблюдать влияние различных параметров на результаты погрешности.



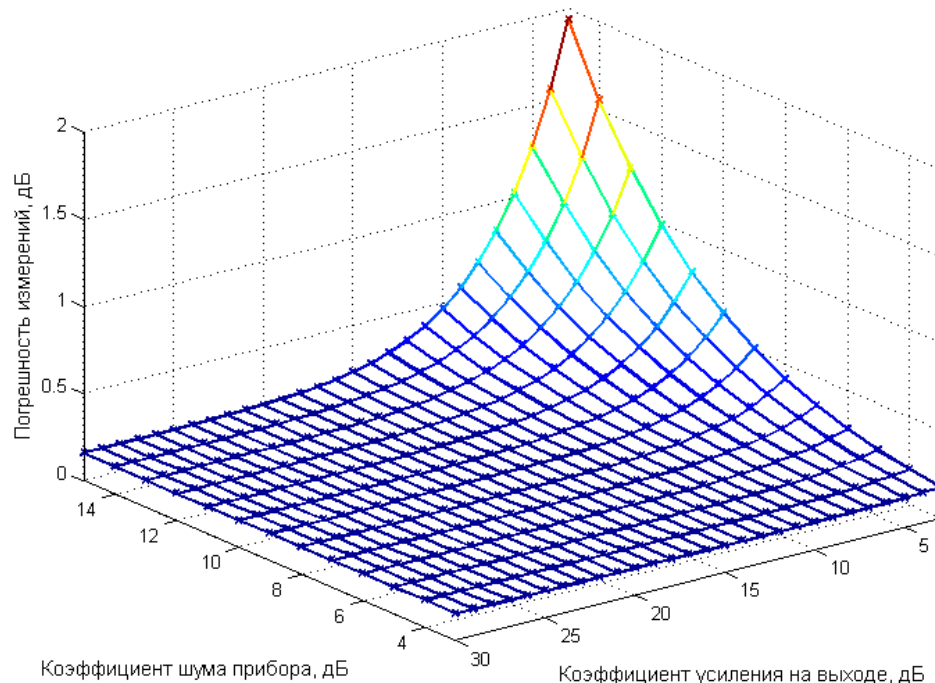
7. (Опция) В поле **Sweep** выбрать другой параметр свипирования и установить диапазоны вводом значений **Lower** и **Upper**.

## Применение предусилителей с шиной USB серии U7227 при выполнении измерений коэффициента шума

Предусилители с шиной USB серии U7227 повышают точность измерений низкоуровневых сигналов путем снижения общего коэффициента шума прибора. Такое снижение коэффициента шума требуется в случаях, когда тестируемое устройство характеризуется высокими потерями или низким коэффициентом усиления. Это связано с тем, что коэффициент шума прибора в большей степени влияет на итоговую погрешность измерений, когда тестируемое устройство имеет низкий коэффициент усиления. На [рис. 2-11](#) показано, как погрешность измерений при типичных измерениях коэффициента шума зависит от коэффициента усиления тестируемого устройства и коэффициента шума прибора. Данные получены с помощью калькулятора погрешности измерений в приложении для измерения коэффициента шума N9069C. Можно заметить, что погрешность измерений растет, когда тестируемое устройство имеет низкий коэффициент усиления и прибор имеет высокий коэффициент шума. В оптимальных условиях измерений коэффициента шума этих областей необходимо избегать.

Рис. 2-11.

Трехмерная диаграмма зависимости погрешности измерений от коэффициента усиления тестируемого устройства и коэффициента шума прибора (коэффициент шума тестируемого устройства равен 3 дБ)



В данном разделе сначала описан порядок подключения предусилителя с шиной USB серии U7227 к анализатору сигналов, а затем приведены общие указания по использованию предусилителя с шиной USB и встроенного предусилителя, установленного внутри анализатора сигналов.

[«Первоначальное подключение к анализатору сигналов» на стр. 35.](#)

[«Указания по использованию предусилителя с шиной USB серии U7227 и встроенного предусилителя, установленного внутри анализатора сигналов серии X» на стр. 38.](#)

## Первоначальное подключение к анализатору сигналов

Питание предусилителя с шиной USB серии U7227 осуществляется по соединению по шине USB от анализатора сигналов. Для подключения к анализатору выполните следующие действия.

### ВНИМАНИЕ

Перед тем как подавать сигнал на входной порт предусилителя с шиной USB серии U7227, убедитесь, что уровень подводимого сигнала безопасен для предусилителя с шиной USB. Предельные уровни сигнала обозначены у входных разъемов предусилителя с шиной USB.

1. Соедините порт вывода предусилителя с шиной USB с входным портом ВЧ-анализатора сигналов.
2. Соедините порт USB (тип A) предусилителя с шиной USB с портом USB (тип A) анализатора сигналов на передней или на задней панели с помощью USB-кабеля. Предусилитель с шиной USB может быть соединен с анализатором методом горячего подключения в любое время.

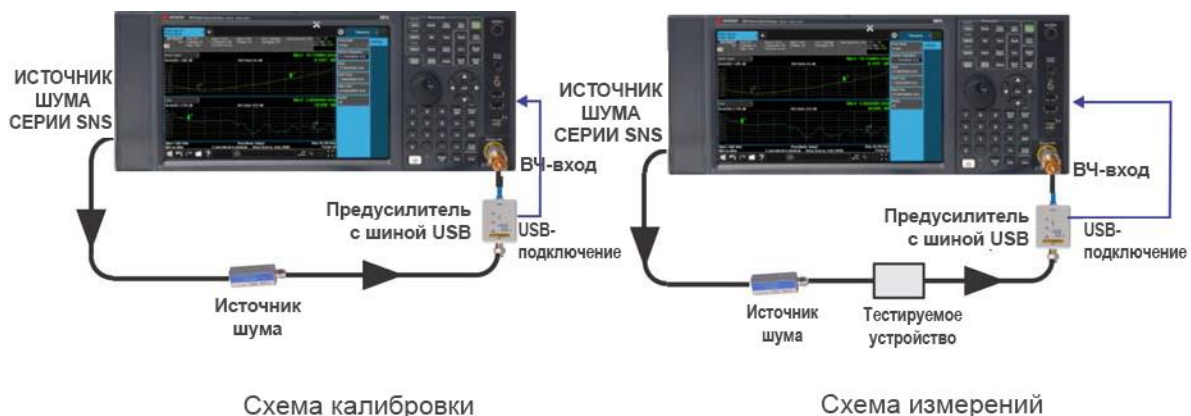
### ПРИМЕЧАНИЕ

USB-подключения предусилителя с шиной USB серии U7227 и клавиатуры к анализатору сигналов должны быть отделены друг от друга; например, если предусилитель с шиной USB подключен к передней панели, то клавиатура должна быть подключена к задней панели.

На [рис. 2-12](#) показано подключение предусилителя с шиной USB серии U7227 на двух этапах измерений коэффициента шума. Пока предусилитель с шиной USB соединен с одним из USB-портов анализатора, анализатор будет считать, что данный предусилитель находится в тракте входного ВЧ-сигнала, и будет применять настройки усиления и другие калибровочные данные предусилителя с шиной USB в процессе измерений. Поэтому добавление данных корректировки предусилителя не требуется.

Рис. 2-12.

Подключение предусилителя с шиной USB серии U7227 к анализатору на двух этапах измерений коэффициента шума

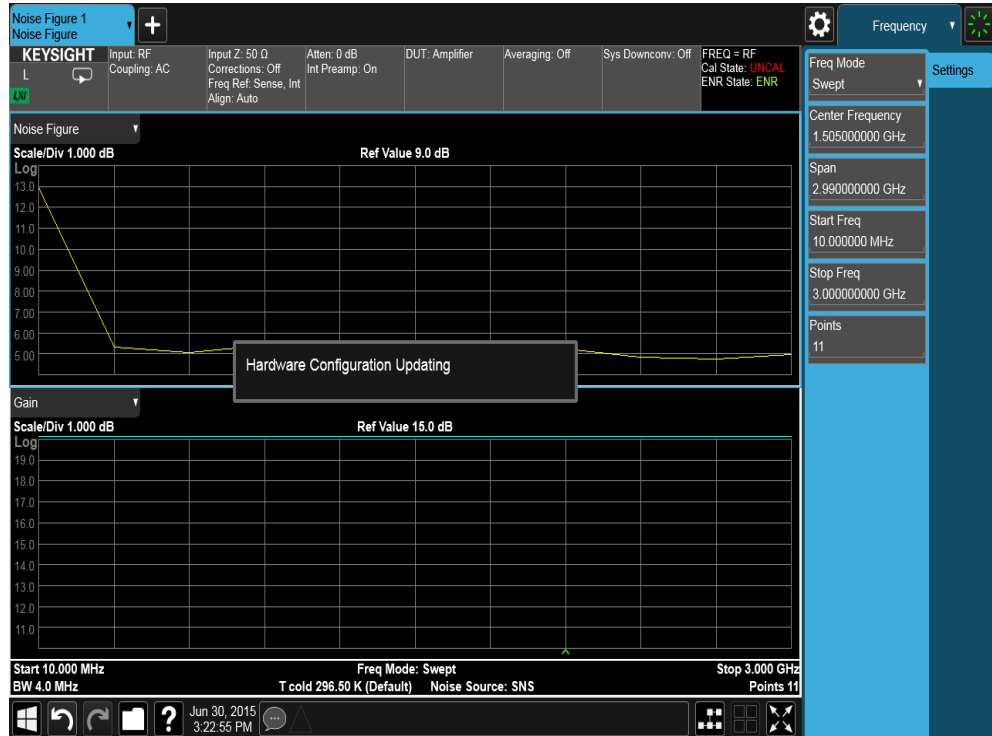


В приложении для измерения коэффициента шума анализатор сигналов будет реагировать следующим образом, когда USB-кабель предусилителя с шиной USB серии U7227 будет вставлен в один из портов анализатора:

1. Сви́пирование будет мгновенно остановлено, и на экране анализатора сигналов появится сообщение: Hardware Configuration Updating (Обновление конфигурации оборудования). См. [рис. 2-13](#).

Рис. 2-13.

Сообщение об обновлении конфигурации оборудования



2. Калибровочные данные предусилителя с шиной USB, такие как коэффициент усиления, коэффициент шума и S-параметры, будут автоматически загружены в анализатор.

**ПРИМЕЧАНИЕ**

Данные, автоматически загружаемые в память анализатора, содержат характеристики выходного кабеля, потери на соединителях и частотную характеристику предусилителя с шиной USB. Доступ пользователя к этим калибровочным данным невозможен.

3. На предусилителе с шиной USB загорается светодиодный индикатор готовности.
4. На дисплее появятся номер модели и серийный номер предусилителя с шиной USB. См. [рис. 2-14](#).

Выполнение измерений коэффициента шума  
Применение предусилителей с шиной USB серии U7227  
при выполнении измерений коэффициента шума

Рис. 2-14.

Дисплей анализатора сигналов после готовности к работе предусилителя с шиной USB



5. Предусилитель с шиной USB готов к работе.

**ПРИМЕЧАНИЕ**

Когда прибор находится в режиме измерения коэффициента шума и к нему выполняется подключение внешнего предусилителя с шиной USB серии U7227, во избежание компрессии встроенный предусилитель анализатора будет отключен. Пользователь может включить его в любое время (нажать **Amplitude, Signal Path, Internal Preamps, On**).

## Указания по использованию предусилителя с шиной USB серии U7227 и встроенного предусилителя, установленного внутри анализатора сигналов серии X

Данный раздел содержит общие указания по совместному использованию предусилителя с шиной USB серии U7227, встроенного предусилителя и внутреннего аттенюатора для получения точных результатов измерений коэффициента шума.

### Значение уровня сигнала в системе для измерения коэффициента шума

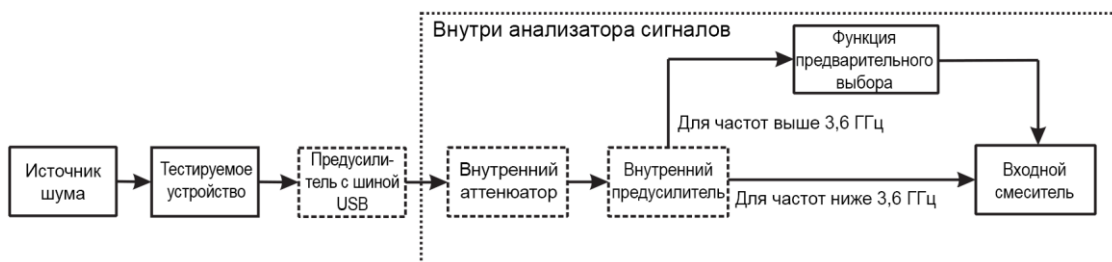
Перед тем как перейти к указаниям, давайте посмотрим, какое значение имеет уровень сигнала в измерительной системе. На [рис. 2-15](#) показаны все возможные блоки в тракте передачи сигналов шума при измерениях коэффициента шума. Блоки, показанные пунктирными линиями, могут использоваться или не использоваться по усмотрению пользователя. Предусилитель с шиной USB, встроенный предусилитель и входной смеситель внутри анализатора сигналов представляют собой нелинейные компоненты с установленными ограничениями по наибольшему уровню сигнала, который может обрабатываться. Ограничения мощности сигнала шума предусмотрены для следующих точек:

- перед предусилителем с шиной USB;
- перед встроенным предусилителем;
- перед входным смесителем.

Для получения точных результатов измерений коэффициента шума во всех этих трех точках мощность шума должна быть ниже максимальной допустимой мощности. Максимальные допустимые значения мощности можно узнать в технических описаниях предусилителя с шиной USB серии U7227 и анализаторов сигналов серии X. Для уровней мощности в точках до встроенного предусилителя и до входного смесителя может применяться внутренний аттенюатор, установленный в анализаторе сигналов, для снижения уровня мощности. Вместе с тем использование внутреннего аттенюатора повлечет за собой повышение коэффициента шума прибора.

Общие указания по конфигурации системы для измерения коэффициента шума в следующем разделе основываются на вычислении мощности шума до нелинейных компонентов. Более подробные сведения о вычислении мощности шума в различных точках измерительной системы содержатся в разделе «[Вычисление мощности шума в различных точках системы для измерения коэффициента шума](#)» на стр. 87.

Рис. 2-15. Блоки в тракте передачи сигналов шума при измерениях коэффициента шума



Выполнение измерений коэффициента шума  
Применение предусилителей с шиной USB серии U7227  
при выполнении измерений коэффициента шума



## Общие указания по конфигурации системы для измерения коэффициента шума

При определении конфигурации измерительной системы для получения точных результатов измерения коэффициента шума первейший приоритет имеет поддержание собственного коэффициента шума прибора (предусилителя с шиной USB и анализатора сигналов) на минимальном возможном уровне. Для снижения коэффициента шума прибора должны использоваться, где это возможно, предусилитель с шиной USB и/или встроенный предусилитель. Если в измерительной системе присутствует перегрузка или компрессия, то устранить эту проблему может исключение из схемы или выключение предусилителя (с шиной USB или встроенного) или добавление к схеме внутреннего ослабления. На анализаторе сигналов:

- чтобы включить/выключить встроенный предусилитель, нажмите **AMPTD**, выберите вкладку **Signal Path, Internal Preamp, On/Off**;
- чтобы настроить внутренний аттенюатор, нажмите **AMPTD**, выберите вкладку **Attenuation** и задайте ослабление.

На [рис. 2-16](#) и [2-17](#) показаны поддерживаемые характеристики тестируемых устройств (коэффициент шума и коэффициент усиления) в различных конфигурациях системы для различных диапазонов частот до 26,5 ГГц. Ось X соответствует коэффициенту шума тестируемого устройства, а ось Y — коэффициенту усиления тестируемого устройства. Данные общие указания основываются на вычислении мощности шума до нелинейных компонентов. Более подробные сведения о вычислении мощности шума в различных точках измерительной системы содержатся в разделе «[Вычисление мощности шума в различных точках системы для измерения коэффициента шума](#)» на [стр. 87](#).

Перед тем как использовать [рис. 2-16](#) и [2-17](#) для подбора подходящей конфигурации измерительной системы, необходимо обратить внимание на следующие моменты:

- Опорная полоса пропускания тестируемого устройства, используемая для вычисления мощности шума, составляет 3,59 ГГц, что соответствует наихудшему случаю для нижней полосы частот (от 10 МГц до 3,6 ГГц). Для поддержания взаимной согласованности между нижней и верхней полосами частот в расчетах для частотных диапазонов выше 3,6 ГГц используется та же самая опорная полоса пропускания тестируемого устройства. То есть обе опорные полосы пропускания (Ref BW) для частот ниже 3,6 ГГц и выше 3,6 ГГц составляют 3,59 ГГц.

Если тестируемое устройство имеет более узкую полосу пропускания, характеристики тестируемого устройства могут быть соответствующим образом пересчитаны. Например, если тестируемое устройство имеет полосу пропускания 100 МГц, то поддерживаемый коэффициент усиления тестируемого устройства может быть увеличен на коэффициент

$$10 \times \log(3,59 \times 10^9 / 100 \times 10^6), \text{ то есть на } 15,6 \text{ дБ.}$$

- В расчете используются коэффициент шума и коэффициент усиления для предусилителя с шиной USB серии U7227. При использовании устройств U7227A или U7227F поддерживаемые характеристики тестируемого устройства должны быть другими.
- В расчете используется источник шума с ENR 6 дБ. При использовании источника шума с более высоким ENR доступный для точных измерений коэффициент усиления тестируемого устройства будет приведен ниже.
- Для различных приборов и для широкого диапазона частот данные по предусилителю с шиной USB и анализатору сигналов серии X значительно отличаются, и в большинстве случаев используются наиболее точные данные.



Выполнение измерений коэффициента шума  
Применение предусилителей с шиной USB серии U7227  
при выполнении измерений коэффициента шума

Ниже представлена процедура подбора подходящей конфигурации системы при помощи [рис. 2-16](#) и [2-17](#). С примерами использования этой процедуры можно ознакомиться в разделе «[Примеры использования указаний для подбора конфигурации измерительной системы](#)» на [стр. 44](#).

1. Проверьте тестируемое устройство и соберите ориентировочные данные по полосе пропускания (DUT\_BW), коэффициенту шума (DUT\_NF) и коэффициенту усиления (DUT\_Gain) тестируемого устройства.

2. Рассчитайте поправочный коэффициент для полосы пропускания (AF) по следующей формуле:

$$AF = 10 \times \log(\text{Ref\_BW} / \text{DUT\_BW}) = 10 \times \log(3,59 \times 10^9 / \text{DUT\_BW})^1$$

Затем вычтите значение AF из коэффициента усиления тестируемого устройства. Полученное значение именуется исправленным коэффициентом усиления тестируемого устройства (DUT\_Gain\_Modified):

$$\text{DUT\_Gain\_Modified} = \text{DUT\_Gain} - AF$$

3. Используйте значения DUT\_NF и DUT\_Gain\_Modified для поиска на [рис. 2-16](#) или [2-17](#) снизу вверх и найдите их приблизительное расположение на графиках.

4. Найдите соответствующую конфигурацию системы. Если конфигурация системы включает внутреннее ослабление, выполните следующие шаги, чтобы найти соответствующий уровень ослабления:

- a. Установите ослабление на 0 дБ и запишите коэффициент шума своего тестируемого устройства.
- b. Увеличьте ослабление на один шаг (4 дБ). Если коэффициент шума изменится слишком сильно, например на 0,3 дБ, то такое ослабление будет требоваться для точных измерений.
- c. Повторяйте шаг (b), пока не найдете подходящее значение.

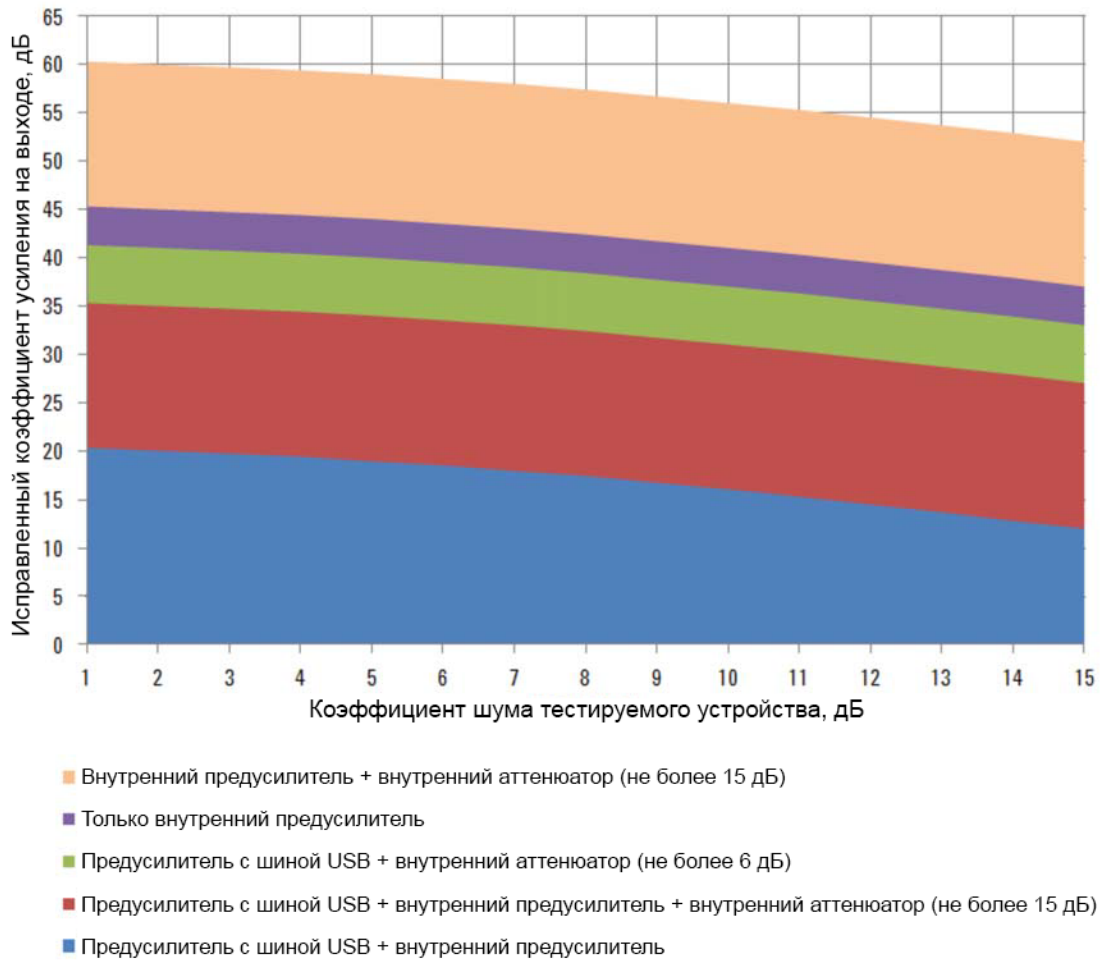
**ПРИМЕЧАНИЕ**

Так как в расчетах поддерживаемых характеристик тестируемого устройства на [рис. 2-16](#) и [2-17](#) в большинстве случаев используются наиболее точные данные, рекомендуется сначала попробовать конфигурацию системы ниже той, которая будет подобрана с использованием значений DUT\_NF и DUT\_Gain\_Modified.

---

<sup>1</sup> Ref BW представляет собой полосу пропускания, используемую на [рис. 2-16](#) или [2-17](#) для вычисления мощности шума, и составляет 3,59 ГГц.

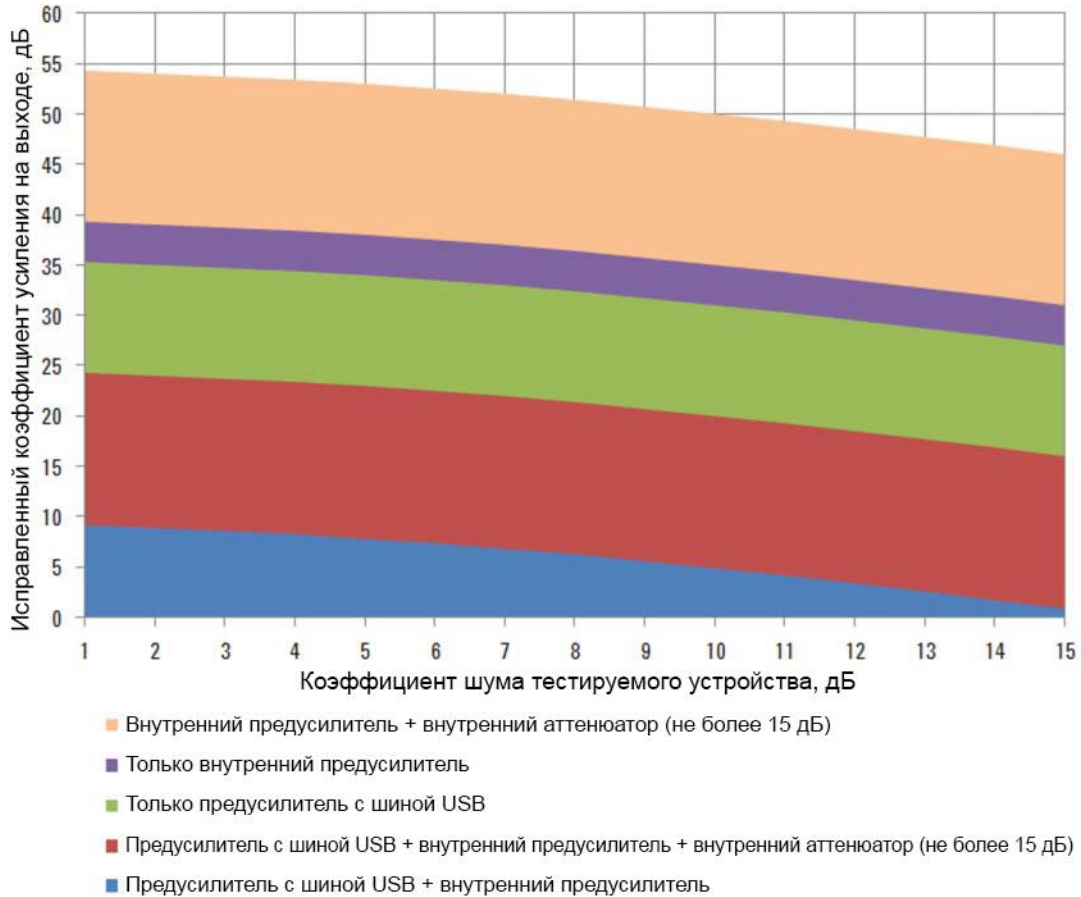
Рис. 2-16. Поддерживаемые характеристики тестируемого устройства и рекомендуемая конфигурация измерительной системы для диапазонов частот ниже 3,6 ГГц



Выполнение измерений коэффициента шума  
 Применение предусилителей с шиной USB серии U7227  
 при выполнении измерений коэффициента шума

Рис. 2-17.

Поддерживаемые характеристики тестируемого устройства и рекомендуемая конфигурация измерительной системы для диапазонов частот выше 3,6 ГГц



**ПРИМЕЧАНИЕ**

Для диапазонов частот выше 3,6 ГГц, если в анализаторе сигналов не используется предусилитель, основную роль будет играть мощность шума до смесителя.

В этом случае входной шум, находящийся вне полосы пропускания встроенного фильтра-преселектора (менее 80 МГц), будет отфильтрован. Это может влиять на поддерживаемые характеристики тестируемого устройства.

Рис. 2-16 и 2-17 предоставляют общие указания для диапазонов частот до 26,5 ГГц. При более высоких диапазонах частот предусилитель с шиной USB серии U7227, используемый совместно с анализаторами серии X, может поддерживать частоту до 50 ГГц. Метод расчета для диапазонов частот выше 26,5 ГГц аналогичен тому, который был описан для диапазона от 3,6 до 26,5 ГГц. Поддерживаемый коэффициент усиления тестируемого устройства будет уменьшаться вследствие увеличения коэффициента шума и коэффициента усиления как у предусилителя с шиной USB, так и у встроенного предусилителя. См. табл. 2-3 и 2-4.

Табл. 2-3 Нормируемые значения коэффициента шума и коэффициента усиления предусилителя с шиной USB серии U7227<sup>a</sup>

Характеристики	U7227A	U7227C	U7227F
Частота	От 10 МГц до 4 ГГц	От 100 МГц до 26,5 ГГц	От 2 ГГц до 50 ГГц
Коэффициент усиления, дБ <sup>b</sup>	Свыше 16 (от 10 МГц до 100 МГц) Свыше 0,5 F + 17 (от 100 МГц до 4 ГГц)	Свыше 0,26F + 16,1 (от 100 МГц до 26,5 ГГц)	Свыше 0,23F + 16,5 (от 2 ГГц до 50 ГГц)
Коэффициент шума	Менее 5,5 дБ (от 10 МГц до 100 МГц) Менее 5 дБ (от 100 МГц до 4 ГГц)	Менее 6 дБ (от 100 МГц до 4 ГГц) Менее 5 дБ (от 4 ГГц до 6 ГГц) Менее 4 дБ (от 6 ГГц до 18 ГГц) Менее 5 дБ (от 18 ГГц до 26,5 ГГц)	Менее 10 дБ (от 2 ГГц до 4 ГГц) Менее 8 дБ (от 4 ГГц до 40 ГГц) Менее 9 дБ (от 40 ГГц до 44 ГГц) Менее 10 дБ (от 44 ГГц до 50 ГГц)

- a. Нормируемые характеристики испытаны и измерены при рабочей температуре 23 °С.  
b. F обозначает частоту в ГГц.

Табл. 2-4 Нормируемые значения коэффициента шума и коэффициента усиления анализатора коэффициента шума NFA серии X

Характеристики (номинальные)	Анализатор коэффициента шума NFA серии X
Коэффициент усиления, дБ (макс.)	20 дБ (от 100 кГц до 3,6 ГГц) 35 дБ (от 3,6 ГГц до 26,5 ГГц) 40 дБ (от 26,5 ГГц до 40 ГГц)
Коэффициент шума	От 13 до 14,5 дБ (от 100 кГц до 3,6 ГГц) 9 дБ (от 3,6 ГГц до 8,4 ГГц) 10 дБ (от 11 ГГц до 18 ГГц) (отображаемый средний уровень шума + 176,24 дБ) (свыше 13,6 ГГц)

### Примеры использования указаний для подбора конфигурации измерительной системы

В данном разделе приведен пример использования процедуры, описанной в разделе «Общие указания по конфигурации системы для измерения коэффициента шума» на стр. 40, для подбора подходящей конфигурации измерительной системы.

Тестируемые устройства с диапазонами частот ниже 3,6 ГГц

Характеристики тестируемого устройства:

Коэффициент шума тестируемого устройства: 5 дБ

Коэффициент усиления тестируемого устройства: 30 дБ

Диапазон частот: от 1 до 2 ГГц

Полоса пропускания тестируемого устройства составляет:

$DUT\_BW = 1 \times 10^9$  Гц

Поправочный коэффициент для полосы пропускания составляет:

$$AF = 10 \times \log(3,59 \times 10^9 / (DUT\_BW)) = 5,55 \text{ дБ}$$

Выполнение измерений коэффициента шума  
Применение предусилителей с шиной USB серии U7227  
при выполнении измерений коэффициента шума

Исправленный коэффициент усиления тестируемого устройства составляет:

$$DUT\_Gain\_Modified = DUT\_Gain - AF = 24,45 \text{ дБ}$$

Используйте значения коэффициента шума тестируемого устройства и исправленного коэффициента усиления тестируемого устройства для поиска на [рис. 2-16](#) в направлении снизу вверх. Конфигурация измерительной системы должна быть следующей: Предусилитель с шиной USB + Встроенный предусилитель + Внутренний аттенюатор.

### Тестируемые устройства с диапазонами частот выше 3,6 ГГц

Характеристики тестируемого устройства:

Коэффициент шума тестируемого устройства: 4 дБ

Коэффициент усиления тестируемого устройства: 25 дБ

Диапазон частот: От 3 до 10 ГГц

Полоса пропускания тестируемого устройства составляет:

$$DUT\_BW = 7 \times 10^9 \text{ Гц}$$

Поправочный коэффициент для полосы пропускания составляет:

$$AF = 10 \times \log(3,59 \times 10^9 / (DUT\_BW)) = -2,9 \text{ дБ}$$

Исправленный коэффициент усиления тестируемого устройства составляет:

$$DUT\_Gain\_Modified = DUT\_Gain - AF = 27,9 \text{ дБ}$$

Используйте значения коэффициента шума тестируемого устройства и исправленного коэффициента усиления тестируемого устройства для поиска на [рис. 2-17](#) в направлении снизу вверх. Конфигурация измерительной системы должна быть следующей: Только предусилитель с шиной USB.

### 3 Задачи и концепции, связанные с измерениями

Данная глава содержит более подробные сведения об измерительных задачах и концепциях, связанных с измерением коэффициента шума. Они описаны в нижеследующих трех разделах. Также здесь приведено упрощенное сравнение трех типов приборов и дана некоторая дополнительная информация.

#### ПРИМЕЧАНИЕ

С фундаментальными принципами, положенными в основу коэффициента шума и измерений по методу Y-фактора, можно ознакомиться в рекомендациях по применению 57-1 и 57-2, перечисленных в разделе «Дополнительная информация» на стр. 89.

- 
- «Настройка измерительной системы» на стр. 47
    - «Учет частотного преобразования» на стр. 47
    - «Выбор и настройка гетеродина» на стр. 55
    - «Калибровка анализатора» на стр. 58
  - «Настройка анализатора сигналов для выполнения измерений» на стр. 61
    - «Набор настроек тестируемого устройства» на стр. 61
    - «Ввод данных коэффициента избыточного шума (ENR)» на стр. 64
    - «Настройка измерительных частот» на стр. 70
    - «Настройка полосы пропускания и усреднения» на стр. 73
    - «Выбор диапазона ослабления на входе» на стр. 75
    - «Настройка управления внешним гетеродином» на стр. 78
    - «Использование компенсации потерь» на стр. 79
  - «Просмотр результатов измерений» на стр. 84
    - «Отображение результатов измерений» на стр. 84

## Настройка измерительной системы

### Учет частотного преобразования

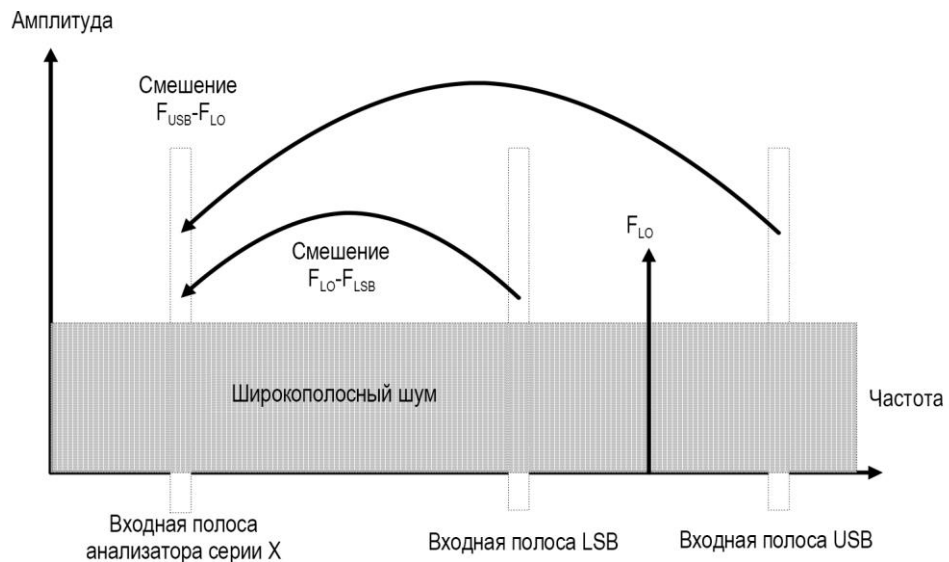
В случае если измерения коэффициента шума включают частотные преобразования, необходимо уделить особое внимание следующим пунктам.

#### Боковые полосы частот и отклики на дисплее

Для любых измерений, включающих частотное преобразование, необходимо принять во внимание точные значения задействованных диапазонов частот и определить требования к фильтрованию с учетом конкретных условий измерений. Например, может быть несколько различных методов выполнения измерений на смесителе, при этом выбор того или иного метода может зависеть от выбора имеющихся фильтров.

Рис. 3-1.

Боковые полосы частот и отклики на дисплее с понижающим преобразованием



Для простого случая идеального смесителя в выходном сигнале присутствуют компоненты как для суммы, так и для разности частот на ВЧ-входе и частоты гетеродина. Следовательно, для фиксированной выходной частоты и фиксированной частоты гетеродина существуют две различные входные частоты, которые преобразуются в выходную частоту заданного значения. Это показано на [рис. 3-1](#).

Для измерений коэффициента шума используются широкополосные источники шума. При использовании понижающего преобразователя существует вероятность того, что шум будет поступать на простой смеситель как в верхней, так и в нижней полосе частот на входе, которые преобразуются в одну и ту же полосу ПЧ на выходе, на которую настроен анализатор. Анализатор принимает создаваемый смесителем шум из двух полос частот, которые накладываются друг на друга. Шум имеет случайный характер, и два уровня мощности объединяются между собой путем простого сложения. Аналогичным образом на анализатор поступает шум, создаваемый источником шума, из двух полос частот, объединенных при суммировании мощности. Любые измерения, в которых происходит

Задачи и концепции, связанные с измерениями  
Настройка измерительной системы

объединение двух результатов смещения, как описано выше, называют измерениями со сдвоенной боковой полосой (Double-Sideband, DSB).



Принято называть верхнюю занимаемую полосу частот в спектре выходного сигнала верхней боковой полосой (Upper-Sideband, USB), а нижнюю полосу частот — нижней боковой полосой (Lower-Sideband, LSB).

Неидеальные смесители вносят ряд нежелательных эффектов:

- просачивание входного сигнала непосредственно в сигнал на выходе;
- просачивание сигнала гетеродина и его гармоник непосредственно в сигнал на выходе;
- присутствие в спектре результирующего смещения входного сигнала и гармоник гетеродина.

Кроме того, существуют и другие нежелательные результаты смещения с участием гармоник входного сигнала, однако они не создают столь же серьезных проблем, как вышеперечисленные эффекты, при условии что смеситель работает в своем линейном диапазоне.

### Просачивание сигнала

Просачивание входного сигнала на выход смесителя может создавать значительные затруднения по той причине, что источники шума генерируют сигнал в широком диапазоне частот. Просачивание сигнала, как правило, не создает проблем, если источник шума не характеризуется большой изменчивостью ENR и если смеситель имеет хорошую развязку в тракте ВЧ-ПЧ.

### Просачивание сигнала гетеродина

Как правило, мощность гетеродина превосходит самый сильный входной сигнал, с которым должен работать смеситель. Утечка мощности гетеродина с выхода смесителя превышает по уровню амплитуды сигналов, используемых при измерениях коэффициента шума. В связи с этим просачивание сигнала гетеродина должно приниматься во внимание при измерениях коэффициента шума тестируемых устройств с частотным преобразованием.

При работе в нижней полосе частот ниже 3,6 ГГц, если частота гетеродина будет достаточно низкой для прохождения через фильтр на входе ВЧ-секции анализатора (фильтра нижних частот с настройкой 3,6 ГГц), просачивание сигнала гетеродина может препятствовать успешным измерениям коэффициента шума тестируемого устройства. Чтобы избежать уменьшения чувствительности вследствие просачивания сигнала гетеродина, можно добавить фильтр между тестируемым устройством и анализатором с целью удаления частотного компонента гетеродина.

Фильтры нижних частот с отсечкой на низких частотах могут проявлять паразитные резонансы и утечки на частотах в низком СВЧ-диапазоне. При этом может потребоваться использовать пару фильтров нижних частот — одного фильтра СВЧ и одного фильтра ВЧ, чтобы обеспечить подавление в полосе пропускания ПЧ.

### Гармоники гетеродина

Многие смесители работают с использованием синусоидальных управляющих сигналов гетеродина. В смесителе могут образовываться гармоники гетеродина на значительно более высоких уровнях. Во многих случаях заданный входной уровень гетеродина для диодного смесителя выбирают таким образом, чтобы диоды работали в диапазоне между насыщением и диапазонами отключения, в результате чего смеситель работает как переключатель. Результаты смещения гармоник гетеродина от стандартных промышленных кольцевых балансных смесителей могут быть схожими по уровню с теми

## Задачи и концепции, связанные с измерениями Настройка измерительной системы

результатами, которые наблюдались бы при прямоугольном сигнале гетеродина. Вместо того чтобы иметь чувствительность лишь к одной паре частот  $[F_{LO} \pm F_{IF}]$ , вход смесителя в данном случае демонстрирует чувствительность к ряду пар частот:

Формула 3-1

$$[F_{LO} \pm F_{IF}] + [2F_{LO} \pm F_{IF}] + [3F_{LO} \pm F_{IF}] + [4F_{LO} \pm F_{IF}] + [5F_{LO} \pm F_{IF}] + \dots$$

Для удаления нежелательного шума на входе тестируемого устройства на этих частотах более высокого порядка необходима дополнительная фильтрация. Однако эти частоты могут быть достаточно большими для подавления смесителем, чтобы пренебречь их влиянием.

### Измерения с одной боковой полосой

В большинстве приложений с использованием смесителей присутствует смешение с одной боковой полосой (single sideband, SSB) — нижней (LSB) или верхней (USB). Поэтому идеальным будет выполнять измерения коэффициента шума на смесителе в тех условиях, в которых он используется. Для выполнения измерений SSB требуется применять соответствующие фильтры для удаления нежелательного отклика, всех просачиваний сигнала гетеродина и других нежелательных результатов смешения. Для этого могут потребоваться фильтры, которые не всегда могут быть в наличии или могут быть дорогостоящими, при этом для измерений понижающего преобразователя или измерений с использованием системного понижающего преобразователя в качестве компромиссного решения могут выбираться измерения DSB. Какие-либо общие указания относительно того, какое фильтрование необходимо, отсутствуют. Каждый случай нуждается в отдельном рассмотрении.

Аспекты, требующие рассмотрения, включают следующее:

- определение диапазонов частот, которые должны быть охвачены: частоты на входе, частоты гетеродина и частоты на выходе;
- расчет диапазона частот, который будет охватывать нежелательный отклик;
- расчет диапазона частот, который будут охватывать гармонические составляющие сигнала гетеродина;
- выбор фильтра, устанавливаемого между источником шума и тестируемым устройством, который будет пропускать желаемую полосу частот на входе и задерживать нежелательные полосы частот на входе;
- принятие во внимание диапазона частот гетеродина (и его гармоник) и определение необходимости в использовании фильтра для защиты входа анализатора от уменьшения чувствительности вследствие просачивания сигнала гетеродина в диапазоне от 0 до 4,6 ГГц;
- при необходимости, выбор фильтра, устанавливаемого между тестируемым устройством и анализатором.

Если конкретные требования по любому из этих диапазонов конфликтуют между собой, делая невыполнимыми одновременное их выполнение, измерение может быть разделено на группу меньших диапазонов с различными фильтрами для каждого из этих поддиапазонов.

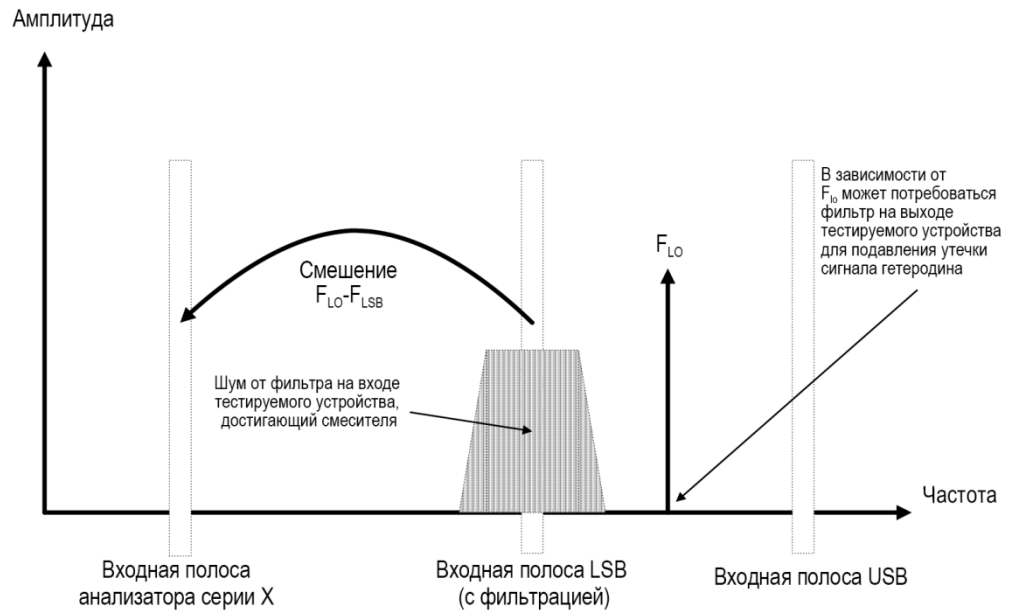
Если тестируемое устройство представляет собой сложный смеситель, оно уже может содержать фильтры, чтобы смеситель работал в режиме одной боковой полосы в интересующем диапазоне частот. Составные смесители в финальной реализации имеют те же проблемы, которые осложняют

Задачи и концепции, связанные с измерениями  
Настройка измерительной системы

измерения коэффициента шума, поэтому при их испытаниях потребуется фильтрация, аналогичная той, которая необходима во время базовых измерений коэффициента шума.

Рис. 3-2.

Измерения смесителя с одной боковой полосой



На рис. 3-2 показана схема измерений смесителя SSB (понижающий преобразователь, LSB), в которой режим одной боковой полосы достигается с помощью фильтра. Если понизить частоту ПЧ, анализатор настроится на меньшую частоту, и полосы частот USB и LSB передвинутся ближе к частоте гетеродина. Это осложняет фильтрование. Если еще понизить ПЧ, то будет достигнута точка, в которой фильтрование станет невозможным и измерения SSB не смогут проводиться. Ширина пропускания фильтра ограничивает область свипирования частот гетеродина или ПЧ для выполнения измерений.

Анализатор выполняет расчеты частоты и контролирует частоту для различных режимов смесителя. Однако пользователю необходимо будет определить требования к фильтрам и включить эти фильтры в схему измерений.

Использование понижающего преобразователя означает, что частота на выходе (ПЧ) будет ниже частоты на входе (ВЧ).

Использование повышающего преобразователя означает, что частота на выходе (ПЧ) будет выше частоты на входе (ВЧ).

**ПРИМЕЧАНИЕ**

Такие правила приняты для данного типа анализаторов. В некоторых технических терминах для повышающих преобразователей применяются обратные правила.

Анализатор способен обрабатывать измерения смесителя SSB в режимах, которые определяются следующими комбинациями настроек:

- **DUT (Тестируемое устройство): Upconverter (Повышающий преобразователь), Downconverter (Понижающий преобразователь) или Amplifier (Усилитель) с настройкой System Downconverter On (Системный понижающий преобразователь включен).**
- **Sideband (Боковая полоса): LSB или USB.**

## Измерения со сдвоенной боковой полосой

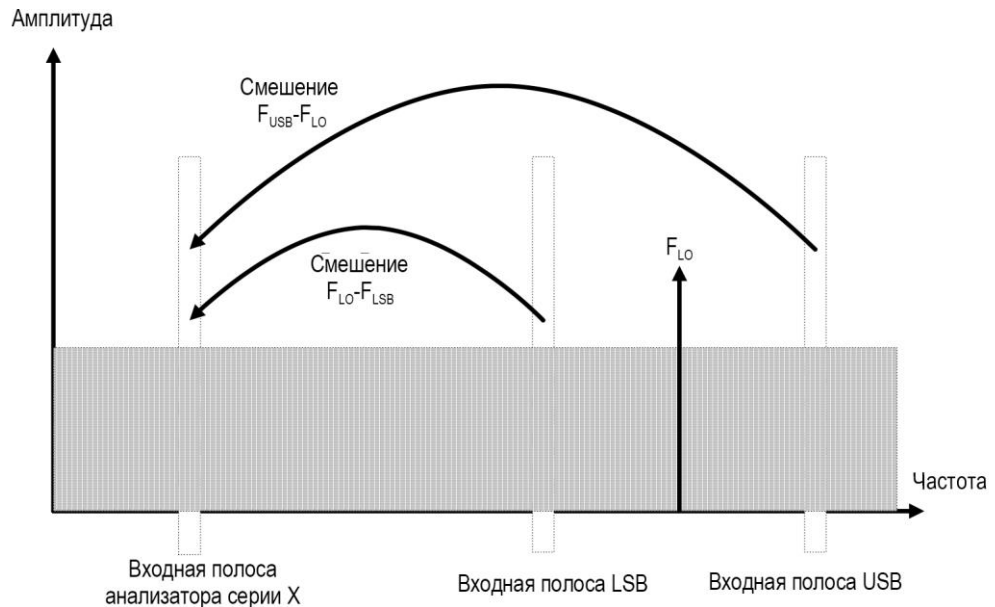
Измерения со сдвоенной боковой полосой (DSB) возможны только в том случае, если тестируемое устройство представляет собой понижающий преобразователь или если системный понижающий преобразователь включен. Методики DSB могут быть полезны при измерениях коэффициента шума в следующих условиях:

- если отсутствуют подходящие фильтры для измерений SSB без откликов сигнала зеркальной частоты;
- если требуется охватить диапазоны частот, в которых использование фильтров SSB становится нецелесообразным или невозможным.

Измерения DSB не исключают необходимость фильтрования. Однако они могут значительно упростить требуемое фильтрование. Данное преимущество достигается за счет эффективного усреднения результатов для LSB и USB и усреднения значений ENR. Это приводит к потерям разрешения по частоте и точности.

Рис. 3-3.

Измерения со сдвоенной боковой полосой



На рис. 3-3 показана схема измерений со сдвоенной боковой полосой с понижением частоты и смещением. Шум от двух разделенных полос частот ВЧ смешивается с полосой ПЧ, где происходит суммирование мощности.

Измерения DSB выполняются по мощности шума, расположенной в паре отдельных полос частот, симметрично расположенных относительно частоты гетеродина. Значение ПЧ должно быть низким, в идеале не более 1 % частоты гетеродина. Так как две боковые полосы — USB и LSB — генерируются при частотах, равных  $F_{Lo} \pm F_{IF}$ , в данной методике обе полосы частот располагаются близко друг к другу. Необходимость в этом обусловлена допущением о постоянстве изменений ENR, коэффициента усиления и коэффициента шума источника шума в обеих полосах частот. Значения ENR применяются в средней точке между верхней и нижней боковыми полосами частот, которая соответствует частоте гетеродина.

На рис. 3-3 показано, что во время измерений шум от двух полос частот объединяется, в то время как при калибровке, когда тестируемое устройство не было подключено, использовалась только одна полоса частот (на частоте ПЧ).

Если допущения о равномерности и симметричности параметров в диапазоне частоты между двумя боковыми полосами действительны, ваши результаты продемонстрируют удвоение мощности (увеличение на 3 дБ) уровня шума при измерениях любого тестируемого устройства, в котором происходит преобразование с понижением частоты. При использовании системного понижающего преобразователя также произойдет удвоение измеренной мощности, однако компенсация здесь не потребуется, так как мощность при калибровке также удваивается.

Такое увеличение измеренной мощности на 3 дБ при работе с тестируемыми устройствами с преобразованием с понижением частоты может быть скорректировано с помощью экрана настройки компенсации потерь (**MEAS SETUP**, вкладка **Loss Comp**). Установите параметр **Loss Comp Mode** на **Fixed**, введите в поле **Fixed Value** фиксированное значение  $-3$  дБ и задайте для **Temperature** температуру холодного источника шума. Суммирование мощности DSB происходит для шума как от **горячего**, так и от **холодного** источника шума и для шума, создаваемого на входе тестируемого устройства. Значение температуры может быть назначено для этих потерь посредством температуры до тестируемого устройства. Использование температуры **холодного** источника шума (часто принимается равной 290 К) обеспечивает коррекцию этого эффекта, и анализатор будет выдавать откалиброванные результаты, сопоставимые с теми, которые были бы получены при измерениях SSB.

Измерения DSB не подходят для условий, когда характеристики тестируемого устройства или ENR источника шума сильно изменяются в диапазоне частоты  $[F_{Lo} \pm F_{IF}]$ .

Измерения DSB требуют внимательности при определении условий фильтрации.

#### ПРИМЕЧАНИЕ

При выполнении измерений со сдвоенной боковой полосой (**DSB**) в **ВЧ**-разделе меню переноса частоты, задаваемые как начальная частота ВЧ и конечная частота ВЧ, относятся только к нижней боковой полосе частот (**LSB**).

### Просачивание сигнала гетеродина (в контексте измерений DSB)

Просачивание сигнала гетеродина создает проблемы при работе в диапазоне от 200 кГц до 3,6 ГГц. Этих проблем можно избежать путем настройки гетеродина на частоты выше 3,6 ГГц. Выше 3,6 ГГц фильтр на входе анализатора динамически ослабляет сигнал гетеродина. Для измерений DSB с понижающим преобразователем с частотой гетеродина ниже приблизительно 3,6 ГГц потребуется низкочастотный фильтр. Частота среза должна выбираться таким образом, чтобы обеспечить пропускание ПЧ частоты измерений. Степень ослабления в диапазоне частот гетеродина должна быть достаточной для снижения просачивания сигнала гетеродина до уровня широкополосного шума (от 10,0 МГц до 3 ГГц), поступающего на вход анализатора.

В большинстве измерений DSB с понижающим преобразователем ПЧ поддерживается низкой относительно частот ВЧ и гетеродина, поэтому сложные фильтры в них не требуются.

#### ПРИМЕЧАНИЕ

Фильтры нижних частот с отсечкой на низких частотах могут обладать паразитными резонансами и допускать просачивание сигналов на частотах в низком СВЧ-диапазоне. При этом может потребоваться использовать пару фильтров нижних частот — одного фильтра СВЧ и одного фильтра ВЧ, чтобы обеспечить затухание в полосе задержания в широком диапазоне частот.

## Гармоники гетеродина (в контексте измерений DSB)

Многие смесители имеют парные результирующие сигналы смещения, связанные с гармониками гетеродина. В зависимости от гетеродина уровень этих сигналов может быть достаточным для искажения результатов измерения коэффициента шума. Во избежание такого эффекта следует установить входной фильтр между источником шума и тестируемым устройством. Если имеются проблемы с просачиванием сигнала, то в этой точке может также потребоваться установить высокочастотный фильтр.

Какие-либо общие указания относительно того, какое фильтрование необходимо, отсутствуют. Каждый случай нуждается в отдельном рассмотрении:

1. Определить диапазоны частот, которые должны быть охвачены: частоты на входе, частоты гетеродина и частоты на выходе.
2. Рассчитать диапазон частот, который будут охватывать гармонические составляющие сигнала гетеродина.
3. Если результаты смещения, связанные с гармониками гетеродина, создают проблемы, выбрать фильтр, устанавливаемый между источником шума и тестируемым устройством, который будет пропускать желаемую полосу частот на входе и задерживать моды гармоник гетеродина. При широких диапазонах частот может потребоваться разделить измерения на диапазоны частот с различными фильтрами для каждого диапазона.
4. Оценить частоту (и гармоники) гетеродина. Оценить, требуется ли фильтр для защиты входа анализатора от уменьшения чувствительности под действием просачивания сигнала гетеродина в диапазоне от 0 до 4,6 ГГц.
5. При необходимости, выбрать фильтр, устанавливаемый между тестируемым устройством и анализатором.

Анализатор способен обрабатывать измерения смесителя DSB при использовании **понижающего преобразователя** или **при включенном системном понижающем преобразователе**.

## Выбор и настройка гетеродина

### Выбор гетеродина для измерений в расширенном диапазоне частот с помощью анализатора серии X

В результате взаимного смещения компоненты шума, содержащиеся в сигнале гетеродина, преобразуются в сигнал ПЧ, поступающий на вход анализатора. Такой преобразованный шум, вызванный сигналом гетеродина, приводит к тому, что измеренный коэффициент шума становится выше коэффициента шума смесителя.

Если в своей финальной реализации смеситель должен будет использоваться с определенным гетеродином, коэффициент шума смесителя следует измерять с таким же гетеродином. В этом случае в результате измерений будет получен коэффициент шума для сочетания устройства с расширенным диапазоном частот и гетеродином в конечной системе.

Для проведения измерений в расширенном диапазоне частот гетеродин должен иметь низкий минимальный уровень шума в диапазоне, равном частоте гетеродина  $\pm$  ПЧ. Также важно, чтобы основной шум, связанный с сигналом гетеродина, был в

Задачи и концепции, связанные с измерениями  
Настройка измерительной системы

нижней полосе частот, так как весь шум на частоте ПЧ будет проходить в сигнал ПЧ и искажать результаты.



## Влияние паразитных сигналов высокого уровня и шума гетеродина на измерения смесителей с недостаточной развязкой гетеродин-ПЧ

Уровень паразитных сигналов гетеродина также должен быть низким. На частотах, где присутствует высокий уровень паразитного сигнала, измеренный коэффициент шума будет иметь пик на данной ПЧ. Например, в идеале необходимо, чтобы уровень шума гетеродина, включая паразитные сигналы, был ниже  $-90$  дБм. Если смеситель имеет более высококачественную развязку, уровень шума гетеродина может быть выше, так как смеситель будет более эффективно подавлять шум гетеродина.

Это особенно необходимо, если смеситель неравномерно сбалансирован или обладает недостаточной развязкой гетеродин-ПЧ. При малом значении развязки возрастает вероятность того, что смеситель будет пропускать шум гетеродина и увеличивать тем самым измеренный коэффициент шума.

### ПРИМЕЧАНИЕ

Развязка гетеродин-ПЧ характеризует способность смесителя подавлять основные тона, гармоники и паразитные сигналы гетеродина и не позволять им проникать на выход ПЧ.

---

## Выбор гетеродина

При выборе гетеродина должен быть соблюден ряд критериев:

- частота гетеродина должна соответствовать диапазону частот тестируемого устройства, диапазону ПЧ и выбранной боковой полосе частот;
- гетеродин должен иметь достаточную мощность, чтобы управлять смесителями (как правило, порядка  $+7$  дБм);
- гетеродин должен иметь очень высокую точность по частоте и воспроизводимость (как правило, не хуже, чем у используемого анализатора).

Последний пункт, касающийся точности по частоте, заслуживает дальнейших разъяснений. В измерениях коэффициента шума имеется три частотно-зависимых компонента, которые должны быть взаимно согласованы, чтобы обеспечить точные измерения на ПЧ. Необходимая точность по частоте является основной причиной для того, чтобы рекомендовать в качестве гетеродина метрологический прибор с синтезом необходимой частоты, такой как аналоговый генератор сигналов Keysight E8257D с опцией UNX.

### ПРИМЕЧАНИЕ

То, какой тип генератора сигналов необходимо использовать, будет определяться требованиями к измерениям.

---

Можно использовать и другие гетеродины, однако их следует протестировать, чтобы убедиться в том, что уровень шума у них достаточно низок, так как шум гетеродина может приводить к увеличению коэффициента шума сочетания смеситель/гетеродин и калибровка системы может стать невозможной. Широкополосные усилители с высоким коэффициентом усиления на выходе гетеродина обычно создают недопустимо высокий уровень шума. Это практически всегда является основной причиной превышения требуемого коэффициента шума в случаях, когда в качестве гетеродина используются генераторы качающейся частоты или базовые генераторы сигналов.

## Калибровка анализатора

Для того чтобы скомпенсировать вносимую мощность шума от анализатора и сопутствующих кабелей в измерительном тракте, необходима калибровка. В ходе калибровки измеряется вносимая мощность шума от анализатора в отсутствие тестируемого устройства. Такую корректировку часто называют калибровкой второго этапа. Полученная корректировка затем применяется при измерениях с установленным тестируемым устройством.

Чтобы выполнить калибровку, необходимо ввести значения ENR и задать диапазон частот, число точек измерений, полосу пропускания, усреднение и режим измерений, которые должны использоваться при измерениях.

### ПРИМЕЧАНИЕ

Если после того, как будет выполнена калибровка анализатора, изменить диапазон частот, это приведет к изменению статуса анализатора либо на неоткалиброванный (красный индикатор UNCAL), либо на интерполированный (желтый индикатор ~ENR). Чтобы выполнить следующее измерение с заданной точностью, потребуется либо повторно откалибровать анализатор, либо вызвать ранее сохраненный файл состояния, в котором были сохранены калибровочные данные.

---

## Скорректированные измерения

Скорректированные измерения могут выполняться только на частотах, охватываемых текущей калибровкой. Попытки выполнить скорректированные измерения на частотах ниже наименьшей частоты калибровки или выше наибольшей частоты калибровки приведут к выдаче ошибки и сделают калибровку недействительной.

Чтобы продолжить, потребуется выполнить одно из следующих действий:

- выполнить калибровку в желаемом диапазоне частот для измерений;
- изменить частоту для измерений на частоту, охватываемую текущей калибровкой;
- выполнить измерения без калибровки.

При нескорректированных измерениях фактически измеряется коэффициент шума анализатора и всех сопутствующих компонентов во входном тракте. Это может быть полезным, если вы намереваетесь использовать калькулятор погрешности измерений.

### ПРИМЕЧАНИЕ

При выполнении измерений за пределами откалиброванного диапазона анализатора параметр **Apply Calibration** автоматически устанавливается на **Off** и на экран выводится сообщение: User Cal:Cal invalidated (Пользовательская калибровка: недействительная калибровка). Если после этого вернуть частоту для измерений обратно к значению в пределах откалиброванного диапазона, вместо предыдущего сообщения об ошибке появится сообщение: User Cal:Cal valid (Пользовательская калибровка: действительная калибровка). Примените калибровку из меню MEAS SETUP. Для этого нажмите **MEAS SETUP**, выберите вкладку **Cal Setup** и установите **Apply Calibration** на **On**, чтобы выполнить скорректированные измерения.

## Когда требуется калибровка

Для того чтобы выполнить скорректированные измерения, анализатор необходимо калибровать каждый раз:

- при включении/отключении питания анализатора;
- при сбросе настроек анализатора (клавиша Mode Preset);
- при выборе частоты или диапазона частот для измерений за пределами текущего откалиброванного диапазона;
- когда произошли значительные колебания температуры с момента последней калибровки;
- уровень входного сигнала больше не может измеряться с использованием одного из откалиброванных диапазонов аттенюатора на входе;
- при обнаружении некорректных результатов, и если состояние обозначено как «XX».

## Интерполированные результаты

При измерении распределения точек измерений без выхода за границы диапазона измеряемых частот применяется интерполяция между точками калибровки, и новая калибровка не требуется.

Расположение точек измерений, то есть частоты, на которых выполняются измерения, меняется при каждом изменении начальной частоты, конечной частоты или числа точек сканирования.

## Индикатор калибровки

В случае любых изменений в анализаторе, в результате которых текущая калибровка становится недействительной, в поле CAL STATE в верхней части дисплея будет отображаться красная надпись UNCAL. Если анализатор был успешно откалиброван для текущих настроек частоты и измерений, в поле CAL STATE в верхней части дисплея будет отображаться зеленая надпись CAL.

## Интерполированная калибровка

В случае любых изменений в анализаторе, в результате которых текущая калибровка принудительно заменяется интерполированными калибровочными данными, в поле CAL STATE в верхней части дисплея вместо зеленой надписи CAL появится желтая надпись ~CAL. Например, это произойдет при изменении разрешения в полосе анализа после калибровки, но до измерения.

## Сравнение пользовательской и внутренней калибровки

Пользовательская калибровка является наиболее часто используемым методом калибровки. Для анализаторов серии X, используемых совместно с предусилителем с шиной USB, доступен другой метод калибровки — внутренняя калибровка. В [табл. 3-1](#) приведено сравнение пользовательской и внутренней калибровки.

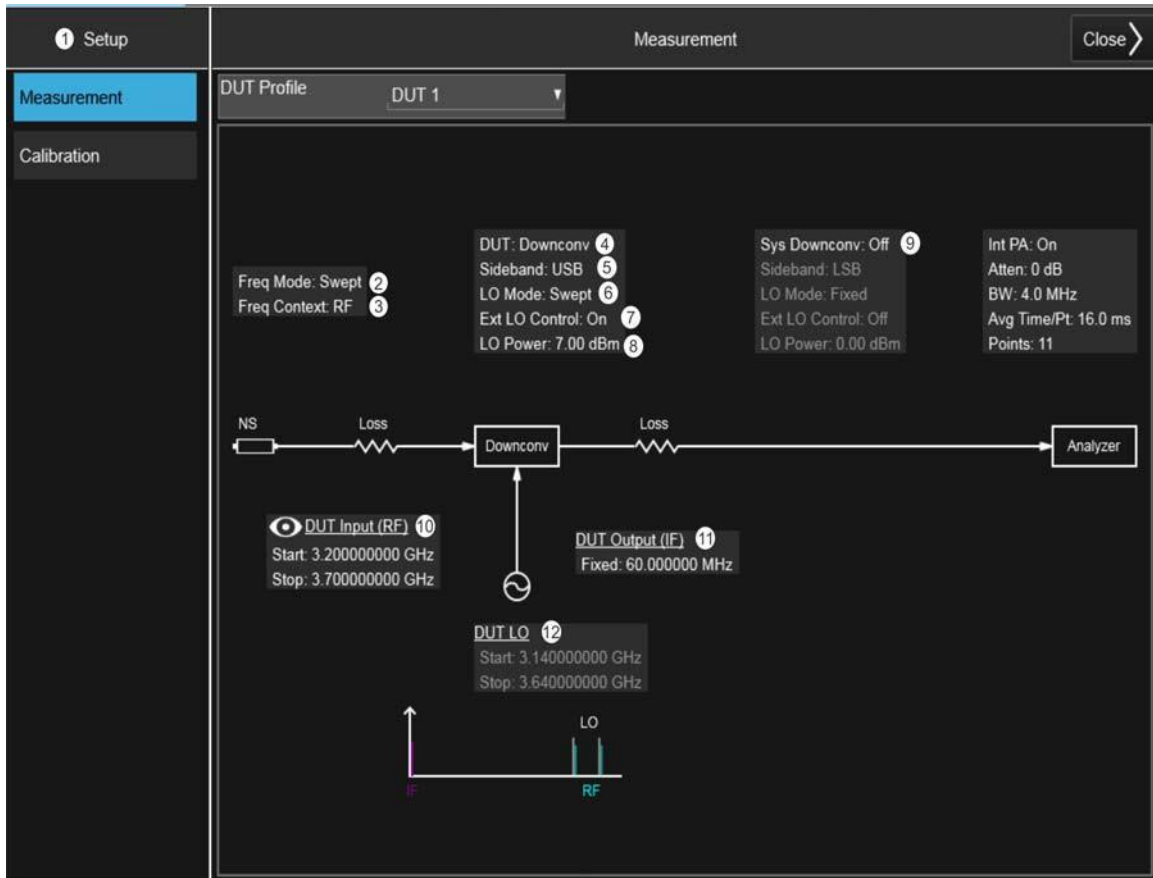
Задачи и концепции, связанные с измерениями  
Настройка измерительной системы

Табл. 3-1 Сравнение пользовательской и внутренней калибровки

Пункты	Пользовательская калибровка	Внутренняя калибровка
Системное подключение и процедура настройки	Пользовательская калибровка требует дополнительной организации подключения. Чтобы выполнить пользовательскую калибровку, сначала необходимо подключить источник шума напрямую к анализатору сигналов без тестируемого устройства, как показано на <a href="#">рис. 2-1 на стр. 12</a> . Затем на приборе выполнить следующие действия:  1. Нажать <b>MEAS SETUP, Cal Setup, User Cal</b> .  2. Нажать <b>CALIBRATE</b> .	Внутренняя калибровка НЕ требует специального системного подключения. Для нее требуется всего лишь подключить между собой источник шума, тестируемое устройство и анализатор сигналов, как это необходимо, и выполнить внутреннюю калибровку.  На приборе нажать <b>MEAS SETUP, Cal Setup, Internal Cal</b> .
Теория калибровки	В пользовательской калибровке прибор непосредственно измеряет значения $P_{cold}$ и $P_{hot}$ и хранит их в своей памяти.	Для внутренней калибровки используются файлы внутренней калибровки, хранящиеся в памяти прибора и предусилителя с шиной USB. Используя содержащуюся в этих файлах информацию, прибор может вычислить значения $P_{cold}$ и $P_{hot}$ .
Когда требуется калибровка	В случаях, описанных в разделе <a href="#">«Когда требуется калибровка» на стр. 59</a> , необходимо изменить системное подключение на схему калибровки и вновь выполнить пользовательскую калибровку.	При выполнении внутренней калибровки большинство случаев, описанных в разделе <a href="#">«Когда требуется калибровка» на стр. 59</a> , автоматически учитывается прибором. Поэтому в большинстве случаев вам не потребуется выполнять внутреннюю калибровку вновь и вновь.  Однако в случае значительных изменений температуры окружающей среды рекомендуется выполнить операцию определения минимального уровня шума в анализаторе сигналов. Для этого следует нажать <b>System, Alignments, Advanced, Characterize Noise Floor</b> .
Преимущества	Точные результаты калибровки	Простое системное подключение без необходимости в механических изменениях подключения для калибровки.
Рекомендуемые сценарии использования	Выбирайте пользовательскую калибровку, когда:  — очень большое значение имеет точность получаемых данных;  — тестируемое устройство подключается к источнику шума и анализатору сигналов не напрямую, а через некоторые тестовые приспособления или автоматизированное измерительное оборудование.	Выбирайте внутреннюю калибровку, когда:  — очень большое значение имеет скорость измерений.

## Настройка анализатора сигналов для выполнения измерений

### Набор настроек тестируемого устройства

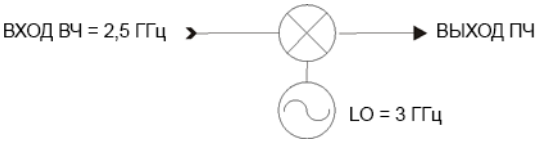
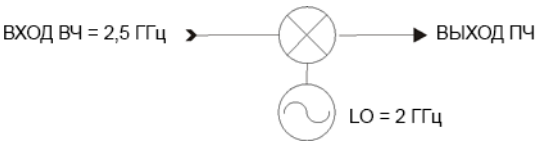


Позиция		Описание	
№	Наименование	Доступные для выбора опции	
1	Setup (Настройка)	Calibration (Калибровка)	Выбирает отображаемую схему калибровки. На схеме показаны подключения, которые необходимо сделать для выполнения калибровки с использованием текущих настроек.
		Измерения (Measurement)	Выбирает отображаемую схему измерений. На схеме показаны подключения, которые необходимо сделать для выполнения измерений с использованием текущих настроек.
2	Freq Mode (Режим переноса частоты)	Swept (Режим со свипированием)	Точки линейно распределены между начальной и конечной частотами, а число точек определяется параметром Points в меню Sweep/Control. Параметры Start Freq (Начальная частота), Stop Freq (Конечная частота), Center Freq (Центральная частота) и Span (Диапазон) связаны между собой.
		Fixed (Фиксированная частота)	Измерения проводятся для одной частоты (определяемой параметром Fixed Freq (Фиксированная частота)).

**Задачи и концепции, связанные с измерениями**  
**Настройка анализатора сигналов для выполнения измерений**

Позиция		Описание	
№	Наименование	Доступные для выбора опции	
		List (Список)	Измерения проводятся для заданного пользователем списка частот. Данный список может быть задан с помощью соответствующих команд SCPI, загрузки списка частот из файла или ручного ввода данных в список частот. Дублирование частот не допускается. При изменении режима переноса частоты значения в списке будут пересчитаны для приведения в соответствие новому режиму.
3	Freq Context (Режим переноса частоты)	RF (ВЧ)	<p>ВЧ относится к непосредственно контролируемой частоте или диапазону частот перед тестируемым устройством. В случае измерений DSB с понижающим преобразователем представленные частоты ВЧ-диапазона могут быть только диапазоном начальной и конечной частоты LSB.</p> <p>Если для параметра Freq Context будет выбрана настройка RF, то результаты измерений будут отображаться с частотой, соответствующей установке частоты для ВЧ-диапазона. Если в измерительной системе присутствуют частотные преобразования, то частоты, отображаемые в результатах измерений, будут отличаться от частоты на входе анализатора.</p>
		IF (ПЧ)	<p>ПЧ относится к промежуточной частоте или диапазону частот после тестируемого устройства. Если системный понижающий преобразователь не используется, частота ПЧ будет представлять собой частоту на входе анализатора сигналов.</p> <p>При использовании системного понижающего преобразователя ПЧ означает частоту перед системным понижающим преобразователем. Затем частота на входе анализатора сигналов будет определяться либо частотой ПЧ и гетеродином системного понижающего преобразователя, либо частотой ПЧ системного понижающего преобразователя.</p> <p>Если для параметра Freq Context будет выбрана настройка IF, то результаты измерений будут отображаться с частотой, соответствующей установке частоты для ПЧ-диапазона. Если используется системный понижающий преобразователь, то частоты, отображаемые в результатах измерений, будут отличаться от частоты на входе анализатора.</p>
		LO (Гетеродин)	<p>Частота гетеродина относится непосредственно к самой выбранной частоте или диапазону частот гетеродина тестируемого устройства. Этот параметр не относится к частотам, физически измеряемым анализатором.</p> <p>Если для параметра Freq Context будет выбрана настройка LO, то результаты измерений будут отображаться с частотой, соответствующей установке частоты для гетеродина. Данный раздел позволяет просматривать частоты гетеродина или частоты, заданные анализатором при использовании управления внешним источником.</p>
4	DUT (Тестируемое устройство)	Amplifier (Усилитель)	<p>Устройство, в котором отсутствуют внутренние частотные преобразования.</p> <p><b>ПРИМЕЧАНИЕ</b> Тип тестируемого устройства Amplifier применяется к любому тестируемому устройству, в котором не производится преобразование частоты. К таким устройствам относятся усилители, фильтры, аттенюаторы и т. д.</p>
		Downconv (Понижающий преобразователь)	Устройство, в котором выполняется внутреннее преобразование с понижением частоты.
		Upconv (Повышающий преобразователь)	Устройство, в котором выполняется внутреннее преобразование с повышением частоты.
		Converter (Multi-Stage) (Многоступенчатый преобразователь)	Устройство, в котором выполняются многоступенчатые преобразования частоты.

Задачи и концепции, связанные с измерениями  
 Настройка анализатора сигналов для выполнения измерений

Позиция		Описание	
№	Наименование	Доступные для выбора опции	
5	Sideband (Боковая полоса) (для тестируемого устройства и системного понижающего преобразователя)	LSB	<p>Нижняя боковая полоса частот: ВЧ-частота на входе ниже частоты гетеродина.                      Пример (понижающий преобразователь):</p> 
		USB	<p>Верхняя боковая полоса частот: ВЧ-частота на входе выше частоты гетеродина.                      Пример (понижающий преобразователь):</p> 
		DSB	<p>Сдвоенная боковая полоса частот: присутствуют и верхняя, и нижняя боковые полосы частот.</p> <p><b>ПРИМЕЧАНИЕ</b> Опция доступна в случаях, когда тестируемое устройство является понижающим преобразователем или когда системный понижающий преобразователь включен.</p> <p><b>ПРИМЕЧАНИЕ</b> При выполнении измерений со сдвоенной боковой полосой (<b>DSB</b>) в ВЧ-режиме меню переноса частоты параметры, задаваемые как начальная частота ВЧ и конечная частота ВЧ, относятся только к нижней боковой полосе частот (<b>LSB</b>).</p> <p>При измерениях со сдвоенной боковой полосой (<b>DSB</b>) важно, чтобы частота ПЧ была значительно ниже частоты гетеродина. Это связано с тем, что значения в таблице ENR могут применяться только к одной частоте, которая представляет собой частоту гетеродина. Значения ENR не могут применяться одновременно и к верхней, и к нижней боковым полосам. Поэтому значения ENR применяются к средней точке между верхней и нижней боковыми полосами, которая равна частоте гетеродина.</p> <p>Следовательно, чем выше частота ПЧ по сравнению с частотой гетеродина, тем дальше друг от друга будут верхняя и нижняя боковые полосы. Чем дальше верхняя и нижняя боковые полосы будут от частоты гетеродина, тем менее точным будет значение ENR.</p> <p>Для получения максимальной точности рекомендуется, чтобы при измерениях со сдвоенной боковой полосой частота ПЧ не превышала 1 % частоты гетеродина. При измерениях со свипированием ни одна из частот в диапазоне качающейся частоты не должна превышать 1 % частоты гетеродина.</p>
6	LO Freq Mode (Режим частоты гетеродина)	Fixed (Фиксированная частота)	Частота внешнего гетеродина постоянна.
		Swept (Режим со свипированием)	<p>Частота внешнего гетеродина изменяется между точками развертки.</p> <p><b>ПРИМЕЧАНИЕ</b> Если параметру LO Freq Mode задана настройка Swept, потребуется управление внешним гетеродином на отдельном источнике сигнала.</p>

Задачи и концепции, связанные с измерениями  
Настройка анализатора сигналов для выполнения измерений

Позиция		Описание	
№	Наименование	Доступные для выбора опции	
7	External LO Control (Внешнее управление гетеродином)	On/Off (Вкл./выкл.)	Предоставляет возможность включения и выключения управления внешним гетеродином через интерфейс LAN, USB или GPIB.
8	LO Power (Мощность гетеродина)		Позволяет задавать уровень мощности гетеродина в дБм.
10	DUT Input (RF) (Вход тестируемого устройства (ВЧ))	Start/Stop (Начальная/конечная частоты)	Позволяет задавать начальную и конечную частоты для ВЧ-диапазона. ВЧ здесь относится к частоте или диапазону частот перед тестируемым устройством.
12	DUT LO (Гетеродин тестируемого устройства)	Start/Stop (Начальная/конечная частоты)	Позволяет задавать начальную и конечную частоты для частоты гетеродина. Частота гетеродина относится здесь к частоте или диапазону частот гетеродина тестируемого устройства.
11	DUT Output (IF) (Выход тестируемого устройства (ПЧ))	Fixed (Фиксированная частота)	Позволяет задавать фиксированную частоту ПЧ. ПЧ здесь относится к частоте или диапазону частот после тестируемого устройства.
9	Sys Downconv (Системный понижающий преобразователь)	IF (ПЧ)	Позволяет задавать частоту настройки на выходе системного понижающего преобразователя, когда режим частоты гетеродина (LO Freq Mode) для системного понижающего преобразователя установлен на свипирование (Swept). Эта частота будет представлять собой частоту на входе анализатора сигналов.
		LO (Гетеродин)	Позволяет задавать частоту внешнего гетеродина системного понижающего преобразователя, когда режим частоты гетеродина (LO Freq Mode) для системного понижающего преобразователя установлен на фиксированную частоту (Fixed). Частота на входе анализатора сигналов может быть рассчитана путем вычитания частоты гетеродина системного понижающего преобразователя (System Downconv LO) из частоты на выходе тестируемого устройства (ПЧ) (DUT Output (IF)).
		On/Off (Вкл./выкл.)	Позволяет указать, будет или нет использоваться системный понижающий преобразователь в ходе измерений.

## Ввод данных коэффициента избыточного шума (ENR)

Данные ENR для используемого источника шума могут вводиться через Meas Setup в форме таблицы значений или в виде единичных точечных значений. Значения, содержащиеся в таблице, могут использоваться для измерений как в диапазоне частот, так и при фиксированной частоте.

Единичные точечные значения используются для измерений либо на одной частоте, либо в диапазоне частот, который достаточно узок, чтобы значение ENR не претерпевало существенных изменений в этом диапазоне.

Существует два типа источников шума. К первому типу относятся источники шума, например Keysight 346B, питание которых осуществляется от импульсного выхода +28 В на задней панели анализатора. Для таких источников данные ENR должны вводиться вручную, либо с помощью редактора Alpha Editor, либо путем переноса данных с дискеты, поставляемой вместе с источниками шума Keysight, на устройство хранения данных USB. Более подробную информацию можно получить в разделе «Ввод табличных данных ENR источников шума» на стр. 65.

К другому типу относятся так называемые smart-источники шума SNS, например Keysight N4000A. Такие источники шума серии SNS подключаются непосредственно к разъему SNS на задней панели, и их данные ENR автоматически загружаются в анализатор.



Задачи и концепции, связанные с измерениями  
Настройка анализатора сигналов для выполнения измерений

Задачи, связанные с вводом данных ENR и описанные в этом разделе, перечислены ниже:

«Выбор общей таблицы ENR» на стр. 65

«Ввод табличных данных ENR для источников шума» на стр. 65

«Сохранение таблицы ENR» на стр. 68

«Ввод данных ENR из внутреннего хранилища» на стр. 69

«Использование точечных значений ENR» на стр. 69

«Настройка значения Tcold» на стр. 69

## Выбор общей таблицы ENR

Возможно использование как одной таблицы ENR для калибровки и измерений, так и отдельных таблиц ENR для измерений (Meas Table) и калибровки (Cal Table). Отдельные таблицы для измерений и калибровки необходимо использовать в случаях, когда для измерений тестируемого устройства и калибровки используются различные источники шума. Например, такой случай возможен при использовании преобразователей частоты, у которых диапазон калибровки отличается от диапазона измерений.

### ПРИМЕЧАНИЕ

Таблицы ENR могут содержать до 501 точки частоты.

Чтобы использовать одну таблицу ENR для калибровки и измерений:

нажмите **MEAS SETUP**, **ENR** и задайте для **Use Meas Table Data for Cal** значение **On**.

При включенном параметре Use Meas Table Data for Cal (Использовать таблицу данных измерений для калибровки) в качестве источника данных ENR и для измерений, и для калибровки будет использоваться общая таблица ENR. Если данный параметр выключен, то источником данных ENR для измерений и калибровки будут служить различные таблицы.

## Ввод табличных данных ENR для источников шума

Ввод данных ENR в виде таблицы ENR может осуществляться следующими способами:

- Ввод вручную требуемых частот и соответствующих значений ENR.
- Ввод данных ENR с устройства хранения данных USB, на котором ранее были сохранены эти данные. (На дискете, входящей в комплект поставки каждого источника шума серии Keysight 346, содержатся данные ENR для конкретного источника шума. Информация может быть перенесена с дискеты на устройство хранения данных USB, чтобы эти данные могли загружаться или храниться в памяти анализатора.)
- Ввод данных ENR из внутренней памяти анализатора, где они были ранее сохранены.
- В режиме измерения коэффициента шума данные ENR источника шума SNS по умолчанию будут автоматически загружены при подключении источника шума SNS к анализатору.

Задачи и концепции, связанные с измерениями  
 Настройка анализатора сигналов для выполнения измерений

**ПРИМЕЧАНИЕ**

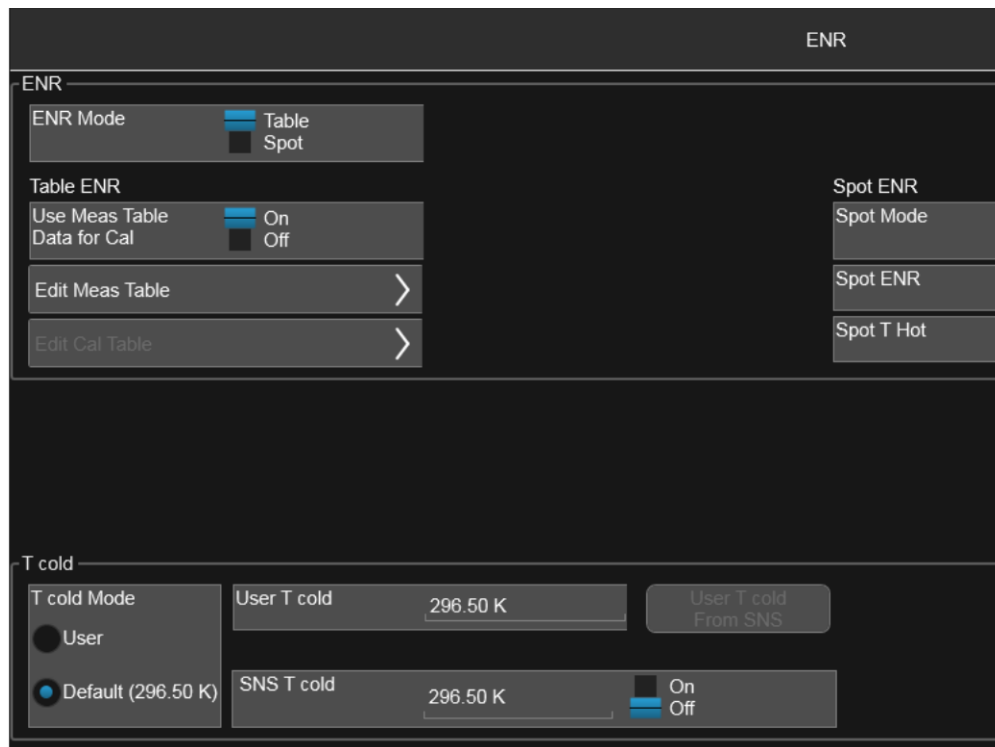
Значения ENR для источников шума серии 346 компании Keysight Technologies напечатаны на табличке, прикрепленной к корпусу устройства. Эти значения ENR также представлены в форме протокола калибровки и на дискете, которая входит в комплект поставки всех источников шума серии Keysight 346x. Значения, напечатанные на самом источнике шума, имеют точность только до двух знаков после запятой. Значения, хранящиеся на дискете, имеют точность до трех знаков после запятой.

Чтобы ввести данные ENR вручную, необходимо выполнить следующие действия:

Табл. 3-2

Этап	Примечания
1.	Включить питание анализатора и выдержать рекомендованное время прогрева.
2.	Нажать <b>MODE/MEAS, Noise Figure, OK</b> .
3.	Нажать <b>MEAS SETUP, ENR</b> .

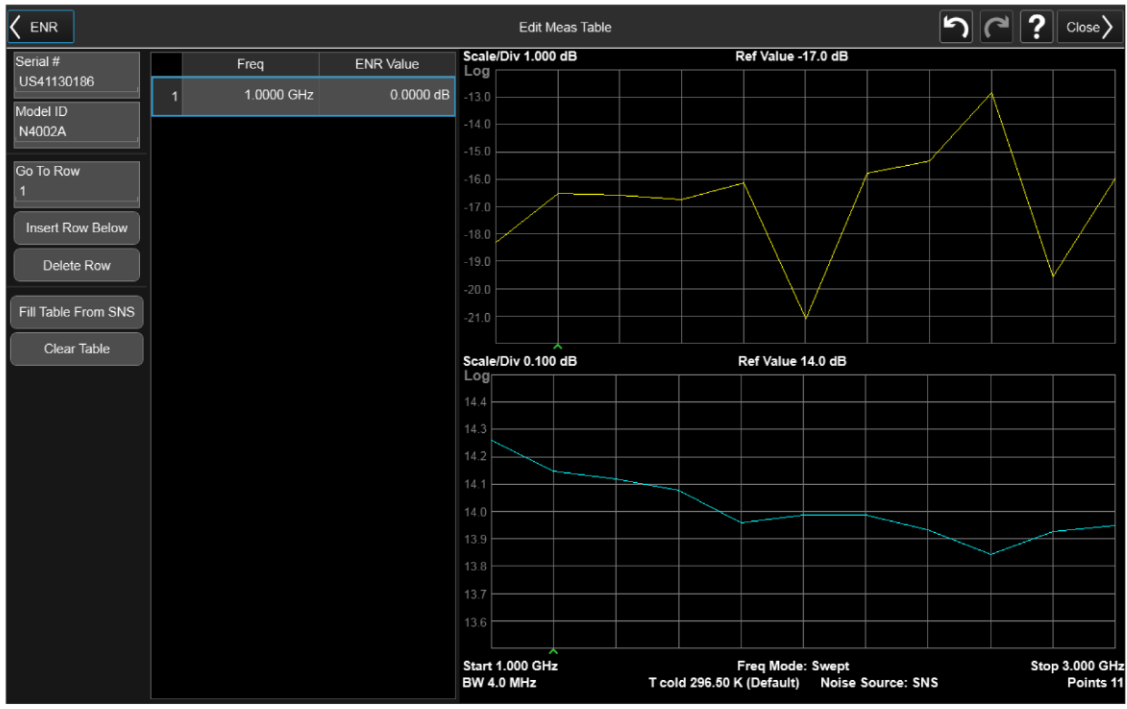
Рис. 3-4. Диалоговое окно ENR



Задачи и концепции, связанные с измерениями  
 Настройка анализатора сигналов для выполнения измерений

Этап	Примечания
<p>4. Нажать <b>Edit Meas Table</b> для доступа к таблице ENR, в которую требуется ввести данные.</p> <p>На экране появится таблица ENR с меню редактирования и навигации по таблице, расположенным слева. См. следующий рисунок.</p> <p>Чтобы очистить существующую таблицу, следует нажать <b>Clear Table</b>.</p>	<p>Для ввода общих данных ENR для измерений и калибровки параметр <b>Use Meas Table Data for Cal</b> должен быть установлен на <b>On</b>. Данные из таблицы для измерений будут автоматически использоваться в качестве данных для калибровки.</p> <p>Для отдельного ввода данных ENR для измерений или калибровки необходимо убедиться, что параметр <b>Use Meas Table Data for Cal</b> установлен <b>Off</b>, и затем выбрать требуемую таблицу, нажав <b>Meas Table</b> или <b>Cal Table</b>.</p>

Рис. 3-5. Таблица ENR



- (Опция) Нажать **Serial #**, ввести серийный номер источника шума с помощью экранной клавиатуры или внешней USB-клавиатуры и нажать **Done**.
  - (Опция) Нажать **Model ID**, ввести номер модели источника шума с помощью экранной клавиатуры или внешней USB-клавиатуры и нажать **Done**.
  - Нажать **Go To Row**, чтобы перенести выделение на колонки Frequency/ENR (Частота/ENR). Ввести значения в таблицу с помощью числовых клавиш и завершить ввод с использованием клавиш в меню единиц измерения.
- Ввод частот в таблицу ENR может производиться в произвольном порядке, так как анализатор автоматически рассортирует список частот в порядке возрастания.

Задачи и концепции, связанные с измерениями  
Настройка анализатора сигналов для выполнения измерений

Этап	Примечания
8. Повторять этап 7 до тех пор, пока не будут введены все требуемые значения частоты и ENR.	Данные в таблице ENR хранятся в формате с разделением запятыми (.csv). В некоторых случаях бывает более удобно использовать текстовый редактор для редактирования или ввода этих данных вместо того, чтобы вводить эти данные вручную с помощью анализатора. Чтобы начать, следует сохранить хотя бы одно значение ENR в памяти и затем редактировать или добавлять значения в сохраненный файл.
9. По окончании ввода данных в таблицу ENR нажать <ENR для возврата в меню ENR.	
10. (Опция) По окончании ввода данных ENR можно сохранить таблицу ENR с помощью кнопки Save. Подробная информация о сохранении файлов содержится в разделе «Сохранение таблицы ENR» на стр. 68.	Данные в таблице ENR сохраняются после циклов включения-выключения питания и применения предварительных настроек. Чтобы иметь возможность удобного вызова данных ENR, их необходимо сохранить.  В случаях, когда требуются результаты в точках между значениями, введенными в таблицы ENR, для этих частот автоматически используются значения, полученные линейной интерполяцией.

### Сохранение таблицы ENR

Таблица ENR может быть сохранена во внутренней памяти анализатора следующим образом:

Табл. 3-3

Этап	Примечания
1. Нажать <b>Save, ENR Table, Save As...</b>	
2. Нажать <b>Meas (Common) Table</b> или <b>Cal Table</b> и указать место, куда требуется сохранить файл.	
3. Нажать на поле рядом с <b>File Name</b> , чтобы ввести название файла, если вы не желаете использовать имя по умолчанию.	Несмотря на то что в имени файла по умолчанию показано расширение файла, при вводе собственного имени файла указывать расширение не требуется. Расширение файла будет определено по типу файла, который будет указан анализатору при сохранении. Расширение будет автоматически добавлено к введенному имени файла.
4. Нажать <b>Save</b> .	

## Ввод данных ENR из внутреннего хранилища

Если данные ENR используемого источника шума были ранее сохранены во внутренней памяти, эти данные ENR могут быть загружены в анализатор следующим образом:

Этап	Примечания
1. Нажать <b>Recall</b> , <b>ENR Table</b> .	
2. Нажать <b>Meas (Common) Table</b> , <b>Cal Table</b> , <b>Recall From....</b>	
3. Выбрать требуемый файл из списка сохраненных таблиц ENR и нажать <b>Recall</b> .	

## Использование точечных значений ENR

Точечное значение ENR может применяться во всем диапазоне частот для измерений; кроме того, при выполнении измерений в режиме фиксированной частоты может быть введено определенное точечное значение ENR, соответствующее фиксированной частоте.

Чтобы включить режим точечного значения ENR и ввода точечного значения ENR необходимо выполнить следующие действия:

Этап	Примечания
1. Нажать <b>MEAS SETUP</b> , <b>ENR</b> .	
2. Нажать <b>ENR Mode</b> для выбора опции <b>Spot</b> .	
3. В поле <b>Spot ENR</b> нажать <b>Spot Mode</b> для выбора опции <b>ENR</b> .	
4. Ввести значение ENR. Значение по умолчанию равно 15,200 дБ.	Вместо ввода точечного значения ENR может быть использовано точечное значение $T_{hot}$ . Для этого следует нажать <b>Spot T Hot</b> и ввести требуемое точечное значение $T_{hot}$ . После этого данное точечное значение будет применяться ко всему диапазону частот для измерений.

## Настройка значения $T_{cold}$

При проведении измерений в условиях с отличающейся температурой окружающей среды значение  $T_{cold}$  может быть изменено вручную.

По умолчанию температура задана равной 296,50 K (23,25 °C или 73,85 °F). Для подтверждения этой температуры по умолчанию для  $T_{cold}$  должно быть установлено значение **Default**.

Чтобы вручную изменить пользовательское значение  $T_{cold}$ , следует нажать **MEAS SETUP**, **ENR**, установить **TCold Mode** на **User**, **User T Cold**, ввести температуру  $T_{cold}$  и нажать **K**.

Чтобы автоматически загрузить значение  $T_{cold}$  для SNS, необходимо сначала убедиться, что источник шума SNS соответствующим образом соединен с анализатором, и затем на анализаторе нажать **MEAS SETUP**, **ENR**, установить **TCold Mode** на **Default** и переключить **SNS T<sub>cold</sub>** на **On**.

## Настройка измерительных частот

Перед тем как приступить к настройке частот, на которых требуется выполнять измерения, необходимо выбрать режим переноса частоты. Для доступа к трем режимам частоты следует нажать **FREQ, Freq Mode**:

- **Swept** (Режим со свипированием) — точки линейно распределены между начальной и конечной частотами, а число точек определяется параметром **Points**. Начальная частота, конечная частота, центральная частота и диапазон связаны между собой. Кнопка **Fixed Freq** в режиме **Swept** недоступна.
- **Fixed** (Фиксированная частота) — измерения выполняются на одной частоте. Начальная частота, конечная частота, центральная частота и диапазон в режиме **Fixed** недоступны.
- **List** (Список) — измерения выполняются в заданном пользователем списке частот. Данный список может быть задан с помощью соответствующих команд **SCPI**, загрузки списка частот из файла или ручного ввода данных в список частот. Начальная частота, конечная частота, центральная частота и диапазон в режиме **List** недоступны.

### Использование режима частоты со свипированием

В режиме частоты со свипированием вы можете настроить начальную и конечную частоты (или эквивалентную центральную частоту с диапазоном), между которыми будет выполняться свипирование. Кроме того, необходимо будет задать число точек измерений. Данные точки измерений равномерно распределены по диапазону частот. Максимальное число точек равно 501. Число точек по умолчанию равно 11.

#### ПРИМЕЧАНИЕ

В случае изменения диапазона после калибровки, если калибровка была выполнена в более узком диапазоне, текущая калибровка станет недействительной. Статус калибровки отображается следующим образом:

UNCAL (красный) — калибровка недействительна

CAL (зеленый) — калибровка действительна

~CAL (желтый) — калибровка интерполирована или скорректирована с учетом изменений

Порядок действий для выполнения измерения в определенном диапазоне частот:

Этап	Примечания
1. Нажать <b>FREQ, Freq Mode</b> .	
2. Выбрать режим со свипированием.	
3. Нажать <b>Start Freq</b> , ввести значение начальной частоты и завершить ввод с помощью меню единиц измерения. Нажать <b>Stop Freq</b> , ввести значение конечной частоты и завершить ввод с помощью меню единиц измерения.	Также можно использовать кнопки <b>Center Freq</b> и <b>Span</b> соответственно для ввода требуемых значений центральной частоты и диапазона.
4. Нажать <b>Points</b> , ввести число точек измерений и нажать <b>Enter</b> .	

## Использование режима частоты со списком

В режиме частоты со списком могут быть введены точечные значения частоты, в которых должны выполняться измерения. Это позволяет задать точки измерений, например, в интересующей области, которая в режиме со свипированием имела бы меньшее покрытие.

Размер списка частот ограничен 501 значением.

Чтобы настроить анализатор на использование данных из таблицы списка частот, следует нажать **FREQ, Freq Mode, List**.

Список частот может быть создан следующими способами:

- Вручную путем задания каждой отдельной точки.
- На основании точек свипирования путем задания диапазона частот для измерений и настройки анализатора на создание равномерно распределенных точек в этом диапазоне. Для этого необходимо нажать Edit Freq List, ввести начальную и конечную частоты и нажать кнопку Fill Using Start and Stop Freq. При необходимости, данный список частот может быть в дальнейшем отредактирован.
- Загрузка списка из внутренней памяти, где данные были ранее сохранены.

Чтобы вручную создать список частот,

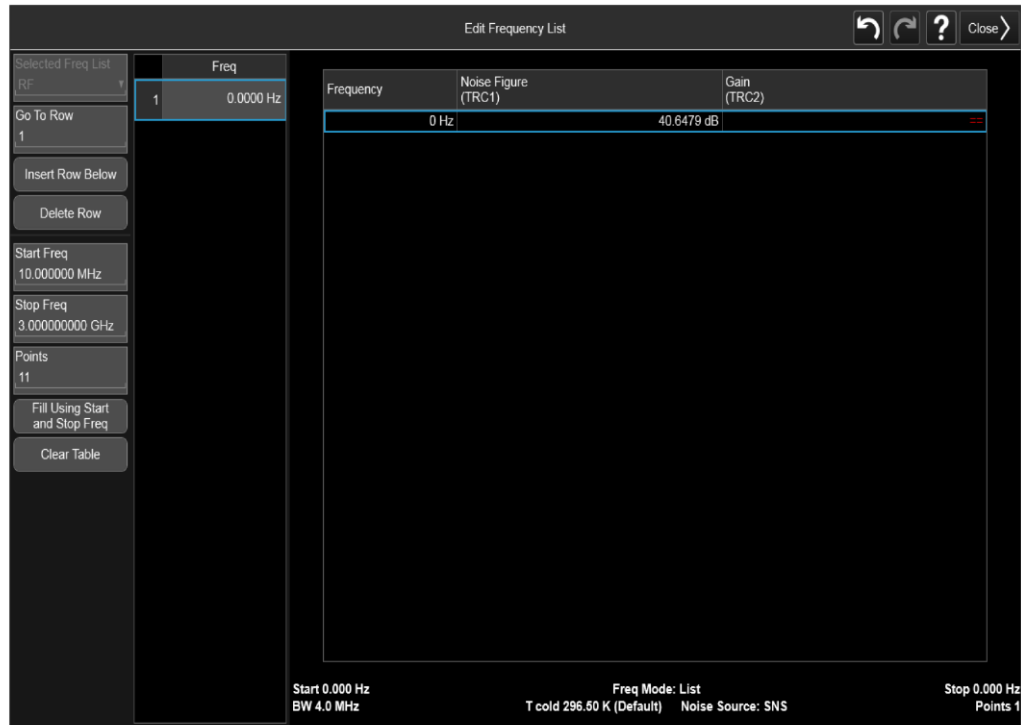
Этап	Примечания
1.	Нажать FREQ, Freq Mode, List.
2.	Нажать Edit Freq List, Edit. На экране появится таблица списка частот.

Задачи и концепции, связанные с измерениями  
Настройка анализатора сигналов для выполнения измерений

Этап

Примечания

Рис. 3-6. Незаполненный список частот



3. Нажать **Insert Row Below**, чтобы добавить строку ниже.

4. Щелкнуть по выделенной строке в столбце **Freq**, ввести значение частоты в таблицу и завершить ввод с помощью меню единиц измерения.

Необязательно вводить частоты в порядке увеличения, так как анализатор последовательно расставляет значения в возрастающем порядке.

5. Повторять этапы 3 и 4, пока список не будет завершен.

Данные по частотам хранятся в формате с разделением запятыми (.csv). В некоторых случаях бывает более удобно использовать текстовый редактор для редактирования или ввода этих данных вместо того, чтобы вводить эти данные вручную с помощью анализатора. Чтобы начать, следует сохранить хотя бы одно значение в памяти и затем редактировать или добавлять значения в сохраненный файл.

6. Сохранить список частот во внутренней памяти анализатора. Если не сохранить список частот, данные могут быть утрачены.

**ПРИМЕЧАНИЕ**

Для создания списка частот на основании точек свипирования следует нажать **FREQ**, **Ed it Frequency List**, **Fill Using Start and Stop Freq**. Текущий список частот будет очищен, и в него будут внесены частоты, созданные в режиме частоты со свипированием. В результате будет составлен тот же список частот, который был бы получен при установке параметра **Frequency Mode** на **Swept**. Вы можете использовать этот список как начальную точку и затем редактировать частоты по мере необходимости.



## Использование режима фиксированной частоты

Режим фиксированной частоты применяется в случаях, когда требуется выполнить измерение на одной частоте.

Чтобы задать фиксированную частоту, следует нажать **FREQ, Freq Mode, Fixed**, затем нажать Fixed Freq и ввести значение частоты с помощью числовых клавиш, завершив ввод с помощью меню единиц измерения.

### ПРИМЕЧАНИЕ

Если ранее не были введены данные ENR для источника шума, который предполагается использовать для измерений в режиме фиксированной частоты, можно ввести точечное значение ENR и переключить режим ENR на Spot.

## Настройка полосы пропускания и усреднения

### Влияние полосы пропускания и усреднения на скорость, джиттер и точность измерений

Джиттер — это естественное явление при измерениях шума. Для уменьшения джиттера необходимо увеличить количество усреднений или расширить измерительную полосу пропускания.

При сужении полосы пропускания необходимо будет увеличить количество усреднений, чтобы сохранить погрешность измерений на том же уровне.

Чем больше выбранное количество усреднений, тем выше точность измерений, так как это способствует уменьшению влияния джиттера на измерения. Однако вместе с этим необходимо учитывать, сколько времени займут такие измерения.

Таким образом, должен быть найден компромисс между скоростью, точностью и погрешностью измерений.

Выбор значения разрешающей способности по полосе пропускания (RBW)

Чтобы настроить значение RBW, нажмите **BW, RBW** и выберите, как должна устанавливаться разрешающая способность по полосе пропускания — автоматически или вручную.

При выборе режима Auto (настройка по умолчанию) разрешающая способность по полосе пропускания будет устанавливаться автоматически в зависимости от частоты для измерений.

При частоте для измерений 8 МГц и выше разрешающая способность по полосе пропускания автоматически устанавливается на 4 МГц.

При частоте для измерений ниже 8 МГц полоса разрешающего фильтра ПЧ автоматически устанавливается равной одной трети от частоты для измерений.

При выборе ручного режима (Man) пользователь может вручную задать разрешающую способность фильтра в интервале от минимального значения 1 Гц до максимального значения 8 МГц. Чем ниже настройка разрешающей способности, тем больше времени займут измерения. При настройке разрешающей способности по полосе пропускания, равной 1 Гц, на обработку каждого измерения может потребоваться до 6000 секунд.

#### ВНИМАНИЕ

**Запрещается включать режим связи по постоянному току, если во входном сигнале присутствует постоянная составляющая. В противном случае возможны необратимые повреждения компонентов входного тракта.**

---

#### ПРИМЕЧАНИЕ

Для более высокой точности измерений коэффициента шума компания Keysight рекомендует использовать режим связи по постоянному току при частотах для измерений ниже 10 МГц и режим связи по переменному току при частотах для измерений выше 20 МГц. При переключении анализатора в режим связи по постоянному току необходимо убедиться, что в сигнале на входе анализатора отсутствует постоянная составляющая, так как в противном случае возможно повреждение анализатора. Чтобы переключить анализатор в режим связи по постоянному или переменному току, нажмите **Input/Output, RF Input** и затем кнопку **RF Coupling**. По умолчанию настройка входного тракта ВЧ-сигнала установлена на связь по переменному току.

---

## Настройка усреднения

Увеличение количества усреднений уменьшает влияние джиттера и обеспечивает более точные результаты измерений. Однако при этом также снижается и скорость измерений.

Существует два способа скомпенсировать разброс измеренных значений. Первый заключается в увеличении настройки Avg Time/Pt в меню Sweep/Control. Второй заключается в задании значения Average Num в меню Meas Setup.

Настройка Avg Time/Pt представляет собой продолжительность измерений для каждого из двух состояний (при включенном и при выключенном источнике шума), которые наблюдаются в каждой точке по частоте. Таким образом, для одного графика результатов требуемое время будет равно двум, умноженным на число точек по частоте и значение Avg Time/Pt. При увеличенных значениях параметра Avg Time/Pt уменьшается отклонение результатов, но снижается общая производительность. Чтобы задать среднее время для точки, нажмите **Sweep/Control, Avg Time/Pt** и введите среднее время для каждой точки.

Настройка Avg/Hold Num в меню Meas Setup задает число графиков, которое будет подвергаться усреднению. Нажмите **MEAS SETUP**, установите **Averaging** на **On** и введите среднее число. В приложении для измерения коэффициента шума применяется экспоненциальное усреднение.

По сравнению с увеличением значения Avg Time/Pt, задание числа Avg/Hold Num потребует большего времени на минимизацию разброса значений, так как каждое свипирование требует передачу служебных сигналов (для включения и выключения источника шума) в каждой точке. Поэтому увеличение значения Avg Time/Pt является более эффективным способом, в то время как меньшее значение Avg Time/Pt в сочетании с более высоким числом Avg/Hold Num

обеспечивает лучшую оперативность с возможностью более раннего получения первых результатов.

## Выбор диапазона ослабления на входе

По умолчанию приложение для измерения коэффициента шума имеет диапазон калибровки ослабления на входе от 0 до 8 дБ с шагом 4 дБ.

К недостаткам установки широкого диапазона изменений значения АТТ при калибровке можно отнести увеличенное число циклов свипирования для калибровки и время, которое занимает вся процедура калибровки. Преимуществом широких диапазонов является отсутствие необходимости повторять калибровку при проведении измерений коэффициента шума устройств с повышенной выходной мощностью.

В приложении для измерения коэффициента шума автоматический выбор диапазона аттенюаторов не предусмотрен. В связи с этим возникает риск перегрузки анализатора. Если уровень мощности входного сигнала превышает  $-26$  дБм в нижнем диапазоне (от 0 до 3,6 ГГц) или  $-31$  дБм в верхнем диапазоне (свыше 3,6 ГГц), предусилитель может перейти в режим компрессии, что негативным образом скажется на точности результатов. В большинстве случаев достаточным будет ослабление 0 дБ.

Указания по уровню входной мощности, с которым могут работать анализаторы серии X в каждом диапазоне частот, приведены в [табл. 3-4 на стр. 75](#). Чтобы проверить, не происходит ли перегрузка анализатора, которая выражается в компрессии на ступени предварительного усиления, установите ослабление (**AMPTD**, вкладка **Attenuation**) на 0 дБ и зафиксируйте коэффициент ослабления своего тестируемого устройства. Затем увеличьте ослабление на одну ступень (4 дБ), нажав клавишу со стрелкой вверх. Если коэффициент шума изменится слишком сильно, например на 0,3 дБ, то такое ослабление будет требоваться для точных измерений. С каждым дополнительным шагом ослабления на 4 дБ уменьшение погрешности будет достигать 40 %, после чего остаточная погрешность при более высоком ослаблении составит приблизительно две трети от наблюдаемого изменения коэффициента шума. При увеличении значения ослабления во избежание погрешностей, связанных с компрессией, вы также получаете повышенную неопределенность вследствие неидеально откалиброванного уровня шума анализатора относительно уровня шума тестируемого устройства. Как правило, любой уровень шума, достаточно высокий для того, чтобы вызывать компрессию, будет достаточным для того, чтобы шум анализатора стал незначительным фактором, влияющим на неопределенность результатов измерений.

Табл. 3-4 Обнаружение и определение диапазонов мощности анализаторами сигналов серии X

Частота	Установка коэффициента ослабления	Максимальная входная мощность для высокой точности	Приблизительные оптимальные характеристики тестируемого устройства <sup>a</sup>
От 10 МГц до 3,6 ГГц	0 дБ	$-26$ дБм	В полной полосе пропускания <sup>b</sup> , тестируемое устройство с коэффициентом шума, равным 5 дБ, и коэффициентом усиления менее 44 дБ или с коэффициентом шума, равным 15 дБ, и коэффициентом усиления менее 37 дБ
	4 дБ	$-22$ дБм	Коэффициент усиления на 4 дБ выше, чем в случае с коэффициентом ослабления 0 дБ

Задачи и концепции, связанные с измерениями  
Настройка анализатора сигналов для выполнения измерений

	8 дБ	-18 дБм	Коэффициент усиления на 8 дБ выше, чем в случае с коэффициентом ослабления 0 дБ
	12 дБ	-14 дБм	Коэффициент усиления на 12 дБ выше, чем в случае с коэффициентом ослабления 0 дБ

Задачи и концепции, связанные с измерениями  
 Настройка анализатора сигналов для выполнения измерений

Табл. 3-4 Обнаружение и определение диапазонов мощности анализаторами сигналов серии X

Частота	Установка коэффициента ослабления	Максимальная входная мощность для высокой точности	Приблизительные оптимальные характеристики тестируемого устройства <sup>a</sup>
От 3,6 до 26,5 ГГц <sup>c</sup> (анализаторы с СВЧ-предусилителями)	0 дБ	-31 дБм	Тестируемое устройство с широкой полосой пропускания с коэффициентом шума, равным 5 дБ, и коэффициентом усиления ниже 39 дБ или с коэффициентом шума, равным 15 дБ, и коэффициентом усиления ниже 32 дБ
	4 дБ	-27 дБм	Коэффициент усиления на 4 дБ выше, чем в случае с коэффициентом ослабления 0 дБ
	8 дБ	-23 дБм	Коэффициент усиления на 8 дБ выше, чем в случае с коэффициентом ослабления 0 дБ
	12 дБ	-19 дБм	Коэффициент усиления на 12 дБ выше, чем в случае с коэффициентом ослабления 0 дБ
От 3,6 до 26,5 ГГц <sup>c</sup> (анализаторы без предусилителя)	0 дБ	-14 дБм	Тестируемые устройства с полосой пропускания 80 МГц, коэффициентом шума 10 дБ и коэффициентом усиления до 63 дБ могут быть включены в схему с использованием источника шума с ENR 17 дБ. При более широкой полосе пропускания нормальная работа возможна даже с еще более высоким уровнем шума на выходе. Если анализатор используется без предусилителя, входной шум, находящийся вне полосы пропускания преселектора (обычно от 40 до 80 МГц), будет отражаться, не вызывая нелинейных эффектов во входных ступенях анализатора.

- Значения в таблице приведены для источника шума с ENR 5 дБ.
- Если тестируемое устройство имеет более узкую полосу пропускания, чем указанная здесь полоса от 10 МГц до 3,6 ГГц, характеристики тестируемых устройств могут быть пересчитаны соответствующим образом для полос пропускания до 12 МГц. Например, если тестируемое устройство имеет полосу пропускания 100 МГц, его характеристики могут быть увеличены на коэффициент, равный  $10 \times \log(3,59 \times 109/100 \times 106)$ , то есть на 15,6 дБ. В этом примере при настройке коэффициента ослабления 0 дБ коэффициент усиления тестируемого устройства с коэффициентом шума 15 дБ может быть увеличен с 37 до 52,6 дБ. При ширине полосы пропускания менее 12 МГц допустимая мощность не будет увеличиваться больше, чем при ширине полосы 12 МГц.
- В диапазоне частот от 3,6 до 26,5 ГГц ситуация значительно усложняется по сравнению с нижним диапазоном частот и случаями, описанными в сноске. Способность предусилителя работать с высокоуровневыми сигналами будет самой низкой при частоте 3,6 ГГц, то есть частоте, к которой относится пример в таблице. Способность работать с высокоуровневыми сигналами линейно растет с частотой, увеличиваясь приблизительно до 11 дБ при 26 ГГц. Кроме того, допустимый коэффициент усиления тестируемого устройства не будет постоянно увеличиваться с уменьшением полосы пропускания, а лишь приблизительно до 70 МГц.

Чтобы выбрать диапазон калибровки ослабления на входе, нажмите **MEAS SETUP**, вкладку **Cal Setup, User Cal** и выберите требуемый диапазон ослабления, указав минимальное ослабление **Min Atten** и максимальное ослабление **Max Atten**. Используйте для справки **табл. 3-4 на стр. 75** применительно к требуемому диапазону.

### Настройка ослабления на входе, используемого для измерений

Автоматический выбор диапазона не применяется к аттенюаторам. При выполнении измерений необходимо вручную устанавливать коэффициент ослабления на входе, чтобы не допустить перегрузки анализатора.

Чтобы задать ослабление на входе, нажмите **AMPTD**, откройте вкладку **Attenuation** и введите требуемый коэффициент ослабления для измерений с помощью числовых клавиш.

#### ПРИМЕЧАНИЕ

Входное ослабление для измерений должно находиться в калиброванном диапазоне ослабления.

## Настройка управления внешним гетеродином

В случаях, когда в измерениях присутствуют преобразователи частоты, приложение для измерения коэффициента шума может помочь с управлением гетеродином тестируемого устройства и (или) системным понижающим преобразователем, который будет использоваться в измерительной системе. Если тестируемое устройство представляет собой многоступенчатый преобразователь, управление возможно только одним гетеродином тестируемого устройства.

### Включение внешнего гетеродина в список

Перед настройкой управления внешним гетеродином для тестируемого устройства или системного понижающего преобразователя необходимо сначала добавить целевой гетеродин в список внешних гетеродинов. К внешнему гетеродину можно подключиться через USB, GPIB или локальную сеть. В данном примере внешний гетеродин подключен через локальную сеть.

Этап	Примечания
1. Нажать <b>MEAS SETUP, Ext LO Setup</b> .	
2. Нажать <b>LO Select</b> .	В этом диалоговом окне можно также удалить выделенный внешний гетеродин или подтвердить статус подключения существующего внешнего гетеродина нажатием кнопок <b>Delete Highlighted Source</b> для удаления выделенного источника или <b>Select Highlighted Source as DUT LO</b> для выбора выделенного источника в качестве гетеродина тестируемого устройства.
3. В области <b>LAN</b> диалогового окна ввести <b>IP-адрес</b> и нажать <b>Done</b> .	
4. Нажать <b>Add Specified IP Address</b> .	(Опция) Внешний гетеродин также может быть добавлен с помощью мастера Connection Expert. Для этого нажмите Run Connection Expert...

### Настройка гетеродина тестируемого устройства или гетеродина системного понижающего преобразователя

Процесс настройки гетеродина тестируемого устройства и гетеродина системного понижающего преобразователя аналогичен. Ниже приведен пример настройки гетеродина тестируемого устройства.

Этап	Примечания
1. Нажать <b>MEAS SETUP, Ext LO Setup</b> .	
2. Нажать <b>LO Select</b> .	
3. В области <b>LAN</b> диалогового окна ввести <b>IP-адрес</b> и нажать <b>Done</b> .	

Этап	Примечания
4. Нажать <b>Add Specified IP Address</b> .	(Опция) Внешний гетеродин также может быть добавлен с помощью мастера Connection Expert. Для этого нажмите Run Connection Expert...
5. Нажать <b>Select Highlighted Source as DUT LO</b> .	
6. В диалоговом окне нажать <b>Ext LO Setup</b> .	
7. Нажать DUT LO Setup.	
8. В области <b>LO Settings</b> диалогового окна задать параметры LO Power (Мощность гетеродина), Min Freq (Минимальная частота) и Max Freq (Максимальная частота).	Частота гетеродина в окне <b>MEAS SETUP, DUT Setup &amp; Calibration...</b> должна быть задана в диапазоне между значениями Min Freq и Max Freq.

## Использование компенсации потерь

Приложение для измерения коэффициента шума может быть настроено на компенсацию потерь в кабелях и на соединителях, а также потерь вследствие влияния температуры в схеме измерений. Они могут быть учтены между источником шума и тестируемым устройством (**Before DUT**) и (или) между тестируемым устройством и входом анализатора (**After DUT**). Компенсация потерь может быть задана либо путем ввода единичного фиксированного значения потерь, применяемого на всех частотах, либо путем использования различных значений потерь, указанных в таблице и применяемых в диапазоне частот. В режиме таблицы для расчета промежуточных значений используется линейная интерполяция.

Любое устройство, использование которого сопровождается потерями в тракте, будет также создавать избыточный шум, который будет пропорционален абсолютной температуре устройства, вызывающего потери. Этот избыточный шум может быть скомпенсирован путем задания температуры устройства, присутствие которого обуславливает дополнительные потери. Такая температурная компенсация будет применяться на всех частотах.

### Примеры применения компенсации потерь

Это важно в таких случаях, как:

- усилители с волноводным входом, для которых требуется адаптер волновод — коаксиальный кабель с высоким уровнем потерь;
- транзисторы, для которых требуются регуляторы на входе и выходе;
- преобразователи с сопротивлением, отличным от 50 Ом (например, телевизионные тюнеры и усилители), для которых требуются платы согласования или трансформаторы;
- компенсация для фиксированных аттенюаторов, используемая для улучшения коэффициента стоячей волны;
- изменения в измерениях со сдвоенной боковой полосой (приемников и смесителей) для приближения к результатам измерений с одной боковой полосой.

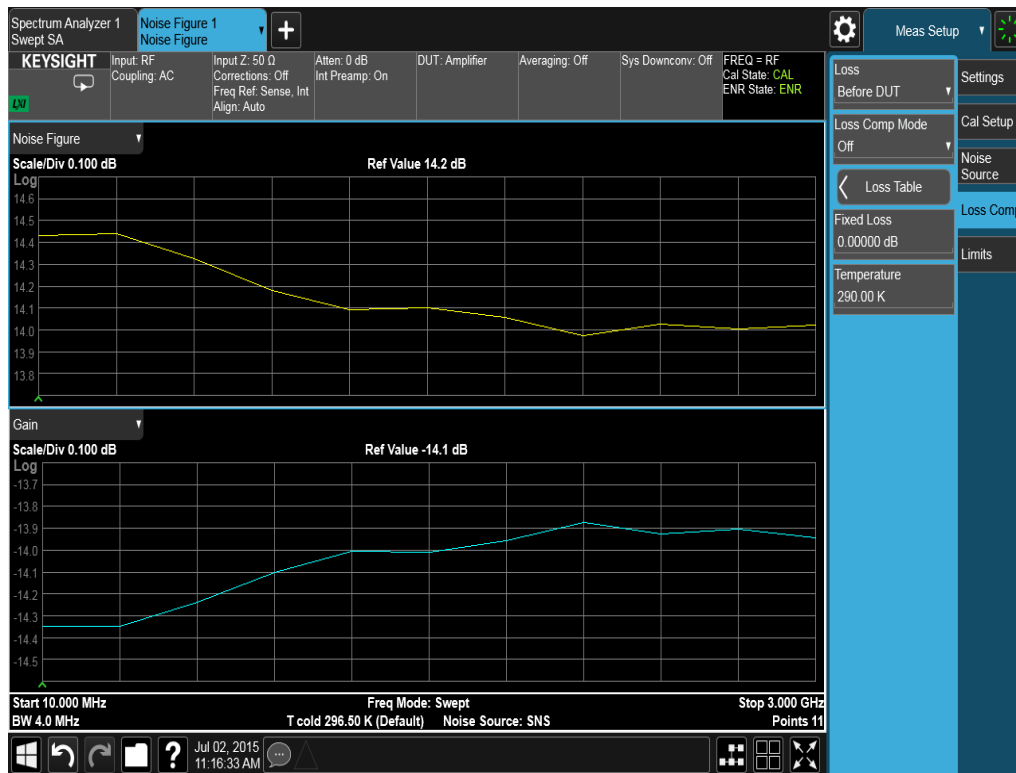
Задачи и концепции, связанные с измерениями  
Настройка анализатора сигналов для выполнения измерений



## Настройка фиксированной компенсации потерь

Чтобы настроить фиксированную компенсацию потерь, следуйте приведенному ниже примеру:

Этап	Примечания
1. Нажать <b>MEAS SETUP</b> и открыть вкладку <b>Loss Comp.</b>	
2. Нажать <b>Loss, Before DUT</b> для компенсации до тестируемого устройства или <b>After DUT</b> для компенсации после тестируемого устройства, <b>Loss Comp Mode, Fixed</b> .	
3. Нажать <b>Fixed Loss</b> , ввести значение компенсации потерь и нажать клавишу с единицами измерения dB.	Нижний предел составляет $-100,000$ dB, верхний предел составляет $100,000$ dB и значение по умолчанию равно $0,000$ dB.



4. Нажать <b>Temperature</b> и с помощью числовых клавиш или рукоятки ввести температуру устройства, при которой происходят потери. Как правило, она будет соответствовать комнатной температуре, которая равна 290 K.	Важно, чтобы была введена правильная температура. Этим будет обеспечена более высокая точность измерений.
--	---

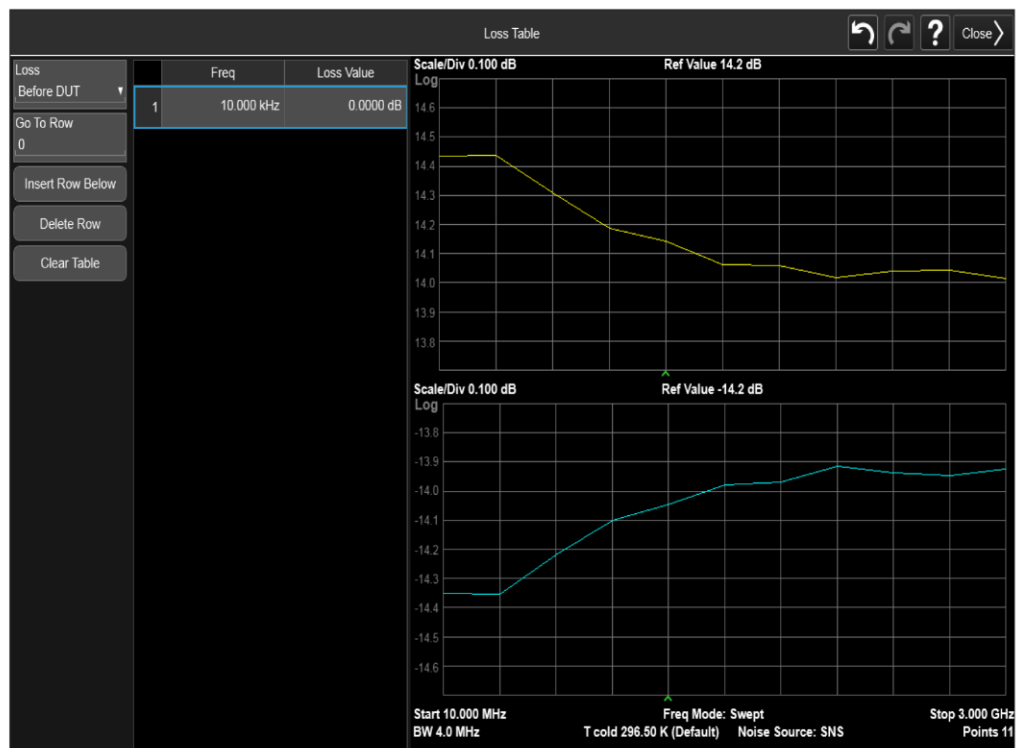
## Создание таблицы компенсации потерь

Размер частотной таблицы компенсации потерь ограничен 501 записью. Чтобы создать таблицу частотной компенсации потерь, необходимо выполнить следующие действия.

### ПРИМЕЧАНИЕ

В таблице компенсации потерь предельные значения частоты, записанные в Before DUT Table..., определяются на основании частоты на входе тестируемого устройства, а предельные значения частоты, записанные в After DUT Table..., определяются на основании частоты на выходе тестируемого устройства. Это важно учитывать при выполнении измерений на тестируемых устройствах с преобразованием частоты или при использовании системного понижающего преобразователя.

Этап	Примечания
1. Нажать <b>MEAS SETUP</b> и открыть вкладку <b>Loss Comp.</b>	
2. Нажать <b>Before DUT</b> для компенсации до тестируемого устройства или <b>After DUT</b> для компенсации после тестируемого устройства, <b>Loss Table</b> .	На экране появится таблица компенсации потерь с одной записью. См. следующий рисунок.



- Щелкнуть по выделенной строке и ввести значение частоты для потерь в таблицу с помощью числовых клавиш. Завершить ввод с помощью меню единиц измерения.

Этап	Примечания
4. Ввести в поле Loss Value соответствующее значение потерь и нажать <b>dB</b> .	
5. Повторять этапы 3 и 4 до тех пор, пока не будут введены все требуемые значения частоты и потерь.	Значения частоты и потерь можно вводить в таблицу компенсации потерь в любой последовательности, так как приложение для измерения коэффициента шума автоматически сортирует перечень в таблице в порядке возрастания частоты.

**ПРИМЕЧАНИЕ**

Данные в таблице компенсации потерь хранятся в формате таблицы с разделением запятыми (.csv). В некоторых случаях бывает более удобно использовать текстовый редактор для редактирования или ввода этих данных вместо того, чтобы вводить эти данные вручную с помощью анализатора. В качестве первого шага следует сохранить в памяти таблицу хотя бы с одним значением и затем редактировать или добавлять значения в сохраненный файл.

### Настройка температуры устройства, вносящего потери

Любое устройство (кабели, соединители и др.), вызывающее потери, будет также создавать избыточный шум. Его уровень будет пропорционален абсолютной температуре устройства, вызывающего потери. Необходимо компенсировать этот избыточный шум при измерениях. Для этого следует задать температуру устройства. Чтобы задать температуру устройства, вызывающего потери, выполните следующие действия:

**ПРИМЕЧАНИЕ**

Заданная здесь температура будет использоваться как для **фиксированной** компенсации потерь, так и для всех частот, указанных в **таблице** компенсации потерь.

Чтобы задать температуру возникновения потерь:

нажмите **MEAS SETUP**, откройте вкладку **Loss Comp, Before DUT** для потерь до тестируемого устройства или **After DUT** для потерь после тестируемого устройства, **Temperature**, введите значение с помощью цифровой клавиатуры и нажмите **Enter**. Нижний предел равен 0,0 К, верхний предел равен 29 650 000,0 К. Значение по умолчанию равно 290,0 К.

## Просмотр результатов измерений

### Отображение результатов измерений

Анализатор оборудован цветным дисплеем и имеет полный набор средств визуализации, позволяющих детально анализировать результаты измерений или быстро получить сообщение об удовлетворительном или неудовлетворительном прохождении теста.

Доступны следующие средства отображения:

- графический формат отображения, табличный формат и формат шкалы измерительного прибора;
- дисплей с отображением одного или двух графиков, позволяющий одновременно видеть любые два доступных типа результатов;
- масштабирование для отображения на дисплее только одного графика результатов;
- маркеры для поиска по трассам и для более точного отображения точек данных по сравнению с тем, что может быть достигнуто только лишь по наблюдениям графика
- сохранение данных текущей активной трассы во внутренней памяти;
- включение и выключение измерительной сетки;
- включение и выключение аннотаций на панели измерений, экране, трассы и активной функции.

### Выбор схемы отображения

Результаты измерений могут отображаться в одном из следующих форматов:

- графический формат;
- табличный формат;
- формат измерительного прибора.

Схема отображения, используемая по умолчанию, содержит дисплей с двумя графиками, на котором показаны коэффициент шума и коэффициент усиления. В верхней части находится график коэффициента шума, а в нижней — коэффициент усиления.

Во всех форматах пользователь может выбрать два параметра результатов, которые он желает одновременно отобразить на экране прибора.

Чтобы выбрать формат отображения, нажмите **Display, Layout** и затем выберите **Graph, Table** или **Meter** соответственно для графического формата, табличного формата или формата измерительного прибора.

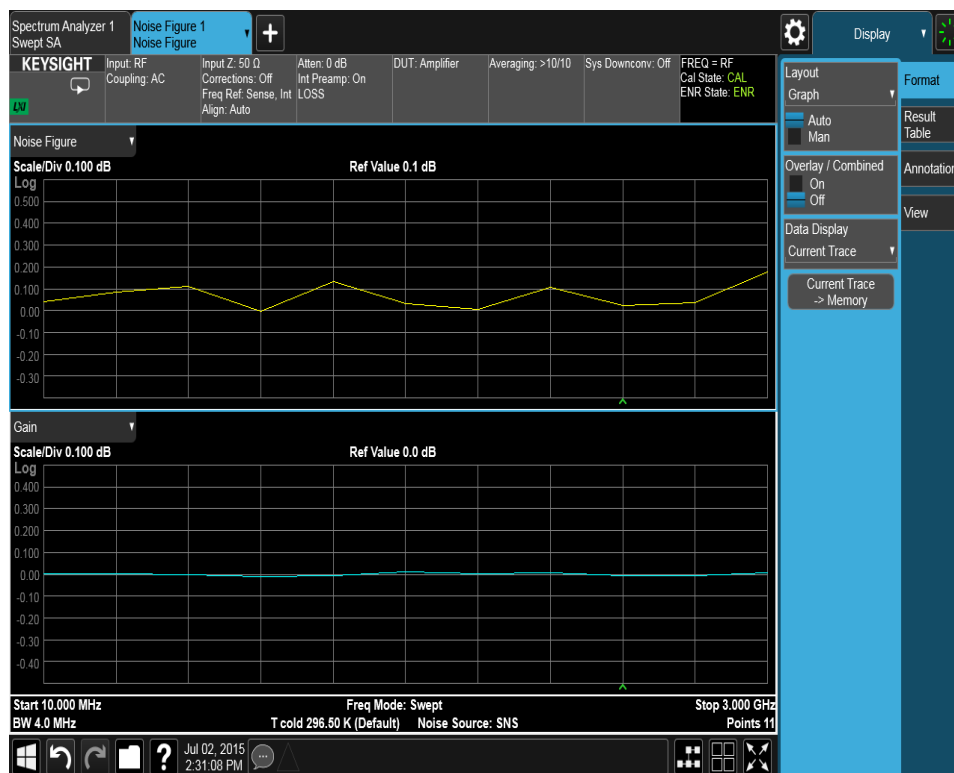
### Перемещение по дисплею

Активный график выделяется рамкой голубого цвета. По умолчанию активным графиком является график коэффициента шума.

## Задачи и концепции, связанные с измерениями Просмотр результатов измерений

Рис. 3-7.

### Дисплей с отображением двух графиков



Чтобы сменить активный график, следует нажать на требуемое окно.

### Выбор типов отображаемых результатов

Пользователь может выбрать любую пару результатов измерений для отображения во всех режимах формата отображения.

Типы результатов измерений перечислены ниже вместе с их единицами измерения, заключенными в скобки:

- Noise Figure (коэффициент шума, дБ);
- Noise Factor (шум-фактор, линейная величина);
- Gain (коэффициент усиления, дБ);
- Y Factor (Y-фактор, дБ);
- T effective (эффективная температура, кельвин, К);
- P hot (мощность в горячем режиме, дБ);
- P cold (мощность в холодном режиме, дБ).

## Задачи и концепции, связанные с измерениями Просмотр результатов измерений

Чтобы настроить, какие результаты измерений будут отображаться, необходимо выполнить следующие действия:

Этап	Примечания
1. Нажать <b>Display, Layout</b> , выбрать <b>Table</b> .	
2. Нажать <b>Results Table</b> и установить на <b>On</b> переключатель для результатов, которые требуется отобразить.	



### Настройка масштабирования

Вы можете задать параметры масштабирования результатов в активном графике.

Нажмите **AMPTD**, чтобы вывести на экран вкладку **Y Scale tab**, и для применения автоматического масштабирования переключите **Auto Scaling** на **On**. При параметре **Auto Scaling**, установленном на **On**, анализатор будет автоматически подбирать оптимальные параметры для **Ref Value** и **Scale/Div**.

## Вычисление мощности шума в различных точках системы для измерения коэффициента шума

На рис. 3-8 показаны все возможные блоки в тракте передачи сигналов шума при измерениях коэффициента шума. Блоки, показанные пунктирными линиями, могут использоваться или нет по усмотрению пользователя. Нелинейные компоненты в тракте передачи сигналов включают предусилитель с шиной USB, внутренний предусилитель и входной смеситель. Мощность шума на входе данных компонентов не должна превышать максимальное значение для линейного диапазона.

Рис. 3-8. Блоки в тракте передачи сигналов шума при измерениях коэффициента шума.



Для вычисления мощности шума в различных точках используется формула 3-2:

Формула 3-2

$$P_{\text{noise}} = -174 \times 10 \times \log_{10}(BW) + 10 \times \log_{10}(ENR_{\text{linear}} + F) + Gain_{dB}$$

где:

- параметр  $P_{\text{noise}}$  измеряется в дБм;
- теоретический уровень теплового шума на герц частоты, рассчитанный по величине  $kT_0$ , равен  $-174$  дБм/Гц;
- $BW$  в большинстве случаев представляет собой полосу пропускания тестируемого устройства. Она измеряется в Гц. Если требуется вычислить мощность шума входного смесителя в диапазонах частот выше 3,6 ГГц, в качестве  $BW$  принимается полоса пропускания входного преселектора прибора, которая обычно составляет менее 80 МГц;
- $ENR_{\text{linear}}$  представляет собой коэффициент избыточного шума источника шума. Как правило,  $ENR$  источника шума измеряется в дБ;

$$ENR_{\text{linear}} = 10^{(ENR_{dB} / 10)}$$

- $F$  представляет собой коэффициент шума в линейных единицах для части измерительной системы от входа тестируемого устройства до точки входа устройства, для которого ведется вычисление мощности шума. Например, если производится расчет мощности шума входного смесителя для диапазонов частот ниже 3,6 ГГц, значение  $F$  будет включать коэффициент шума для связки тестируемого устройства, предусилителя с шиной USB, внутреннего аттенюатора и внутреннего предусилителя;
- $Gain_{dB}$  представляет собой коэффициент усиления части измерительной системы, идентичной той, которая использовалась для расчета  $F$ . Например, если выполняется расчет мощности шума входного смесителя для диапазонов частот ниже 3,6 ГГц, должна использоваться следующая формула:

Задачи и концепции, связанные с измерениями  
Вычисление мощности шума в различных точках системы  
для измерения коэффициента шума

$Gain_{dB} = \text{Коэффициент усиления тестируемого устройства} + \text{Коэффициент усиления предусилителя с шиной USB} + \text{Коэффициент усиления внутреннего предусилителя} - \text{Внутренний коэффициент ослабления}$

## Вычисление коэффициента шума для расчета мощности шума

Для вычисления мощности шума по формуле 3-2 необходимо вычислить коэффициент шума части измерительной системы. В данном разделе приведен пример расчета коэффициента шума для системы из тестируемого устройства, предусилителя с шиной USB, внутреннего аттенюатора и внутреннего предусилителя. Эта комбинация может рассматриваться как четырехступенчатая система, поэтому общий коэффициент шума F может быть рассчитан по формуле 3-3, в которой F и G должны быть в линейных единицах.

Формула 3-3

$$F = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} + \frac{F_4 - 1}{G_1 G_2 G_3}$$

$F_1$  и  $G_1$  представляют собой коэффициент шума и коэффициент усиления тестируемого устройства.

$F_2$  и  $G_2$  представляют собой коэффициент шума и коэффициент усиления предусилителя с шиной USB. Приблизительные значения могут быть взяты из технического обзора предусилителей с шиной USB компании Keysight, документ № 5991-4246EN.

$F_3$  и  $G_3$  представляют собой коэффициент шума и коэффициент усиления внутреннего аттенюатора. Коэффициент шума внутреннего аттенюатора равен его коэффициенту ослабления.

$F_4$  представляет собой коэффициент шума внутреннего предусилителя. Его приблизительные значения могут быть взяты из технического описания анализатора сигналов. Следует обратить внимание на то, что значения коэффициента шума, указанные в техническом описании, представляют собой коэффициент шума прибора с включенным внутренним предусилителем. Так как внутренний предусилитель имеет высокий коэффициент усиления, данное значение было принято здесь в качестве коэффициента шума внутреннего предусилителя.



## Дополнительная информация

Компания Keysight Technologies подготовила три документа по измерениям коэффициента шума:

- Рекомендации по применению 57-1

*Основные принципы измерения коэффициента шума для ВЧ- и СВЧ-сигналов*

<http://cp.literature.keysight.com/litweb/pdf/5952-8255E.pdf>

- Рекомендации по применению 57-2

*Точность измерения коэффициента шума. Метод Y-фактора*

<http://cp.literature.keysight.com/litweb/pdf/5952-3706E.pdf>

- Рекомендации по применению 57-3

*10 советов для успешных измерений коэффициента шума*

<http://cp.literature.keysight.com/litweb/5980-0288E.pdf>



Информация может быть изменена  
без уведомления.

© Keysight Technologies, 2016.

Издание 1-е, март 2016 г.

N9069-90001RURU

[www.keysight.com](http://www.keysight.com)