Измерение коэффициента шума без использования источника шума с помощью векторного анализатора цепей

Указания по применению

Изделия:

- R&S®ZVA
- R&S®ZVT
- R&S®ZVAB-K30
- R&S®NRP-Z55

В настоящих указаниях по применению описано измерение коэффициента шума с помощью семейства векторных анализаторов цепей R&S ZVA и ZVT. Разъясняется концепция измерения коэффициента шума без использования эталонного источника шума. Кроме того, обсуждаются различные измерительные приложения и соответствующие установки и результаты. В некоторых примерах приводится руководство по настройке прибора и показаны результаты измерений.

A. Paech, S. Neidhardt, M. Beer,
10.2010 - 1EZ61_2rus

Указания по применению

ROHDE&SCHWARZ

Содержание

1 ZVAB-K30 – Измерение коэффициента шума 1

1.1 Принцип измерения 1

1.1.1 Понятие коэффициента шума 1

1.1.2 Детекторы среднего и среднеквадратического значения 2

1.1.3 Вычисление мощности шума на основе значений детекторов среднего и среднеквадратического значений 3

1.1.4 Модель системы 5

1.3.5 Измерительная установка с использованием предусилителя в измерительном тракте для опции прямого доступа к приемнику 6

1.4.1 Определение необходимых характеристик анализатора ZVA 7

1.4.2 Приемная установка и выбор предусилителя 9

1.4.3 Выбор предусилителя 10

1.4.4 Значение ослабления 11

1.5 Этапы конфигурации измерения коэффициента шума 12

1.6 Достоверность калибровки шума 13

1.7 Пределы измерения шума 13

1.7.1 Низкочастотные ограничения 13

1.7.2 Узкополосные ИУ 14

1.7.3 Высокочастотные ограничения 14

1.8 Наиболее распространенные ошибки 14

1.8.1 Помехи от сетей мобильной связи 14

1.8.2 Эффекты компрессии 14

1.8.3 Согласование входа и выхода ИУ 14

2 Учет погрешности измерений 15

2.1 Оценка погрешности 16

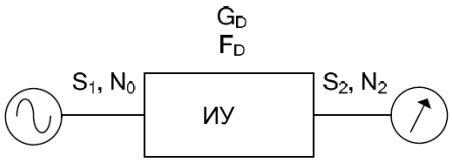
1 ZVAB-K30 – Измерение коэффициента шума

1.1 Принцип измерения

1.1.1 Понятие коэффициента шума

Фактором шума F линейного устройства называют отношение коэффициентов сигнал-шум по мощности (С/Ш) на входе и выходе прибора, при условии, что на входе действует согласованный источник входного сигнала и идеальный источник шума $N_0 = kT_0B$, где $k = 1{,}3806 \cdot 10^{-23}$ Дж/к – постоянная Больцмана, T_0 – температура прибора, а B – эффективная полоса частот системы.

Хотя существует более общее определение коэффициента шума, зависящее от четырех параметров шума (F_{min}, R_N, G_{opt}, Phi_{opt}), в этих указаниях по применению используется стандартное определение коэффициента шума.



$$F_D = \frac{\frac{S_1}{N_0}}{\frac{S_2}{N_2}} = \frac{S_1 N_2}{S_2 N_0} = \frac{S_1 N_2}{S_1 G_D N_0} = \frac{N_2}{G_D N_0}$$

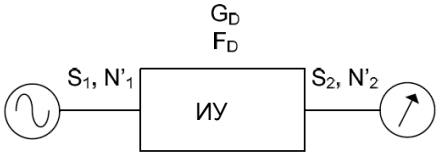
В приведенном выше уравнении параметр S означает мощность сигнала, а параметр N – мощность шума. На входе испытуемого устройства (ИУ), согласно определению, мощность шума должна быть равна N_0. Коэффициент усиления G_D ИУ в данных указаниях по применению является коэффициентом усиления по мощности

$$G_D = \frac{S_2}{S_1}.$$

Фактор шума, выраженный в децибелах, называется коэффициентом шума NF. Так как фактор шума определяется мощностью, формула для перевода в дБ будет выглядеть следующим образом

$$NF_D = 10\log(F_D).$$

Если входной шум не равен N_0, фактор шума можно вычислить следующим образом.



$$N_1' = N_0 + \Delta N$$
$$N_2' = N_2 + G_D \Delta N$$

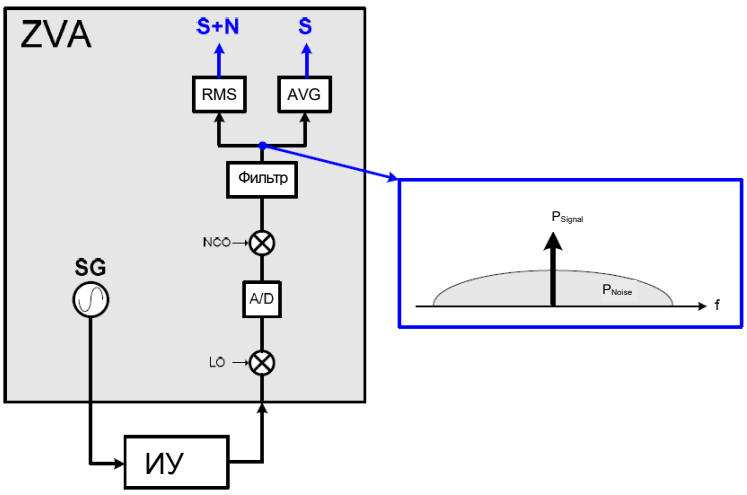
$$F_D = \frac{N_2}{G_D N_0} = \frac{N_2' - G_D \Delta N}{G_D N_0} = \frac{N_2' - G_D (N_1' - N_0)}{G_D N_0} = \frac{N_2'}{G_D N_0} - \frac{N_1'}{N_0} + 1$$

1.1.2 Детекторы среднего и среднеквадратического значения

Основными этапами измерения коэффициента шума являются измерение коэффициента усиления ИУ и мощности собственного шума на выходе ИУ. Измерение коэффициента усиления входит в ряд основных задач векторного анализатора цепей. Основная задача состоит в корректном определении мощности шума при возможном наличии непрерывного сигнала.
В отличие от общепринятого подхода к измерению коэффициента шума NF с помощью метода Y-фактора с использованием источника шума с заданным

коэффициентом избыточного шума ENR, опция анализатора ZVAB-K30 работает по-другому принципу.

Он измеряет мощность непрерывного сигнала и вычисляет отношение мощности сигнала к мощности суммы сигнала и шума с помощью вычисления среднего (avg) и среднеквадратического (rms) значений выходного сигнала ИУ в полосе частот, используемой векторным анализатором. Для этого анализаторы R&S ZVA и R&S ZVT используют оцифрованные отсчеты на промежуточной частоте.



Используя последовательность x_i комплексных отфильтрованных отсчетов (напряжений) векторный анализатор вычисляет среднее значение x_{AVG} и среднеквадратическое значение x_{RMS} по следующим формулам

$$x_{AVG} = \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{M} x_i \qquad (1)$$

$$x_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{M}\sum_{i=1}^{M} |x_i|^2} \qquad (2)$$

Количество отсчетов M вычисляется векторным анализатором на основе времени измерения, заданного пользователем. Процесс усреднения можно рассматривать как узкополосный фильтр, который выделяет несущее непрерывное колебание из ПЧ-сигнала. С увеличением времени измерения и, следовательно, количества отсчетов полоса пропускания фильтра сужается. Квадрат среднего значения относится только к мощности непрерывного колебания.
Квадрат среднеквадратического значения относится к мощности всего сигнала, мощности непрерывного колебания и мощности шума в полосе частот измерения. При увеличении времени измерения разброс измерений мощности уменьшается, что приводит к более стабильным значениям мощности. Мощность шума на выходе ИУ это разница между среднеквадратическим значением мощности и средним значением мощности.
В следующем разделе приведено более подробное объяснение описанных выше вычислений.

1.1.3 Вычисление мощности шума на основе значений детекторов среднего и среднеквадратического значений

Для более подробных вычислений будем считать, что отфильтрованный комплексный цифровой сигнал после переноса частоты имеет вид

$$x_i = s + n_i.$$

Здесь s относится к комплексной амплитуде несущего колебания, а n_i – к шумовому сигналу. Квадраты значений детекторов вычисляются следующим образом

$$x_{RMS}{}^2 = \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{M}\left|s+n_i\right|^2 = \left|s\right|^2 + \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{M}\left|n_i\right|^2 + \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{M}\left(sn_i^* + s^*n_i\right)$$

$$\left|x_{AVG}\right|^2 = \left|\frac{1}{M}\sum_{i=1}^{M}\left(s+n_i\right)\right|^2 = \left|s\right|^2 + \left|\frac{1}{M}\sum_{i=1}^{M}n_i\right|^2 + \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{M}\left(sn_i^* + s^*n_i\right)$$

Разница между квадратами значений детекторов вычисляется по следующей формуле

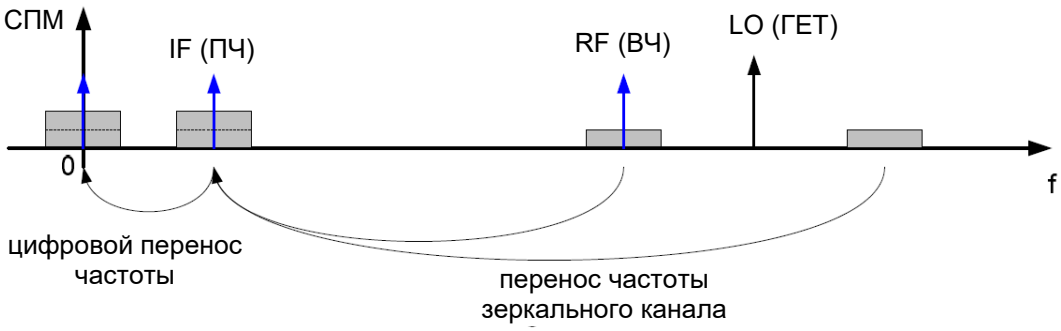
$$x_{RMS}{}^2 - \left|x_{AVG}\right|^2 = \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{M}\left|n_i\right|^2 - \left|\frac{1}{M}\sum_{i=1}^{M}n_i\right|^2. \quad (3)$$

Первый член в правой части выражения представляет собой среднюю мощность шумового сигнала. Так как среднее значение белого шума в ВЧ и ПЧ областях равно нулю, то второе слагаемое быстро стремиться к нулю с увеличением M. Мощность шума N цифрового входного сигнала в итоге вычисляется следующим образом

$$N = \frac{1}{2R_L}\left(x_{RMS}{}^2 - \left|x_{AVG}\right|^2\right) \quad (4)$$

где R_L – импеданс системы 50 Ом.

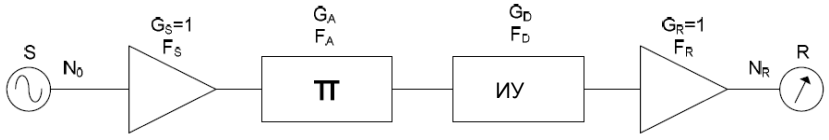
Коэффициент "2" введен в приведенное выше выражение в связи с концепцией однократного преобразования без подавления помех от зеркального канала, применяемой в векторных анализаторах.



При переносе ВЧ-сигнала на промежуточную частоту (ПЧ) используется смеситель с двумя боковыми полосами. Он переносит обе боковые полосы, верхнюю $f_{LO} + f_{IF}$ и нижнюю $f_{LO} - f_{IF}$, на ПЧ. На приведенном выше рисунке источник векторного анализатора работает на нижней боковой полосе. Так как в верхней боковой полосе сигнала нет, для векторных анализаторов это не является проблемой. Однако шум испытуемого устройства присутствует и в верхней, и в нижней боковой полосе. Таким образом, на промежуточной частоте складывается мощность шума от обеих боковых полос. Так как калибровка мощности выполняется по мощности сигнала, мощность шума в одной полосе на ВЧ на самом деле равна половине мощности шума, измеренной на ПЧ или в базовой полосе частот. Считается, что мощность шума в верхней и нижней боковой полосе одинакова.

1.1.4 Модель системы

Для вычисления коэффициента шума ИУ используется следующая модель системы.



В модели источник (S) сигнала считается идеальным, т.е. кроме непрерывного колебания на его выходе присутствует только теоретическая мощность шума $N_0 = kT_0B$. Избыточный шум генератора моделируется с помощью виртуального усилителя с фактором шума F_S. Будем считать, что неидеальную амплитуду непрерывного сигнала реального генератора можно скомпенсировать с помощью стандартной процедуры калибровки источника сигнала векторного анализатора, так что коэффициент усиления для виртуального усилителя был выбран $G_S = 1$. Возможные внешние аттенюаторы или встроенные пошаговые аттенюаторы (A) характеризуются своими коэффициентами усиления по мощности $G_A < 1$ и коэффициентами шума $F_A = 1/G_A$.
Коэффициент усиления по мощности ИУ G_D измеряется с помощью векторного анализатора параллельно с измерением шума и вычисляется фактор шума F_D. Последним элементом в цепочке является идеальный приемник (R). Как и в случае с источником сигнала, реальные свойства приемника учитываются с помощью виртуального усилителя с фактором шума F_R. Реальные свойства непрерывного сигнала приемника считаются скомпенсированными с помощью стандартной процедуры калибровки мощности приемника, так что коэффициент усиления взят равным $G_R = 1$.

На основе модели системы опция R&S ZVAB-K30 вычисляет фактор шума ИУ F_D на основе измерения мощности шума N_R, измеренного коэффициента усиления ИУ G_D и параметров системы G_A, F_R и F_S по следующей формуле

$$F_D = \frac{N_R}{N_0 G_D} + (1 - F_S)G_A - \frac{F_R - 1}{G_D}$$

Неизвестные параметры модели системы G_A , F_R и F_S определяются во время процедуры калибровки шума, описанной далее.

1.3.5 Измерительная установка с использованием предусилителя в измерительном тракте для опции прямого доступа к приемнику

Для ИУ, которые обладают низким коэффициентом усиления и низким коэффициентом шума, шумовые параметры векторного анализатора могут оказаться слишком высокими для получения точных результатов. В таком случае можно поставить дополнительный малошумящий усилитель в измерительный приемный тракт. Как показывает практика, чувствительность прибора повышается благодаря усилению предусилителя. Такая конфигурация позволяет проводить двунаправленные измерения и получать полный набор S-параметров для ИУ.

1.4.1 Определение необходимых характеристик анализатора ZVA

Для определения подходящей конфигурации приемника, необходимо знать коэффициент шума NF_R векторного анализатора и точку компрессии 1 дБ $P_{1\mathrm{dB}}$ (обозначается как $L_{P,1\mathrm{dB}}$, если указывается в дБмВт). В зависимости от исследуемого диапазона частот и типа анализатора требуемые характеристики можно получить из таблицы 1 и таблицы 2.

Обе таблицы относятся к разным приборам (столбец "Прибор") и содержат типичные значения коэффициентов шума приемника и входные точки компрессии в зависимости от частоты для различных входов "Порт" или "B16". Соответствующие строки необходимо выбирать в зависимости от того, подключен ли выход ИУ к разъему "Порт" или напрямую к разъему "Meas In".

Таблица 1 – Типичные значения коэффициентов шума приемника анализатора ZVA/B

Типичные характеристики анализатора ZVA/B													
Коэффициент шума приемника NF_R в зависимости от частоты													
Прибор	**Вход**	**4 ГГц**	**8 ГГц**	**12 ГГц**	**16 ГГц**	**20 ГГц**	**24 ГГц**	**28 ГГц**	**32 ГГц**	**36 ГГц**	**40 ГГц**	**44 ГГц**	**50 ГГц**
ZVA8	**Порт**	35	35										
	B16	23	23										
ZVA24	**Порт**	42	42	42	45	45	45						
	B16	31	31	31	33	33	33						
ZVA40	**Порт**	35	35	35	35	35	35	48	48	48	50		
	B16	28	28	28	28	28	28	38	38	38	38		
ZVA50	**Порт**	35	35	35	35	35	35	48	48	48	50	53	53
	B16	28	28	28	28	28	28	38	38	38	38	40	40

Таблица 2 – Типичные значения точек компрессии приемника анализатора ZVA/B для приборов с опцией R&S ZVAxy-B16 и малошумящей ПЧ цепочкой

Типичные характеристики анализатора ZVA/B		
Точка компрессии 1 дБ		
Прибор	**Вход**	$L_{P,1dB}$
ZVA8	**Порт**	10 дБмВт
	B16	-5 дБмВт
ZVA24	**Порт**	6 дБмВт
	B16	-10 дБмВт
ZVA40,	**Порт**	3 дБмВт
	B16	-10 дБмВт
ZVA50	**Порт**	3 дБмВт
	B16	-10 дБмВт

В этих двух таблицах приведены типичные характеристики, которых, в большинстве случаев, достаточно для выбора правильных настроек. Для получения более точных значений коэффициента шума приемника F_R, можно провести процедуру калибровки мощности и шума в стандартной установке без предусилителя, как описано в главе 1.5. После завершения калибровки шума приемника коэффициент шума отображается в области диаграммы диалогового окна "Noise Figure Calibration".

1.4.2 Приемная установка и выбор предусилителя

Выбор приемной установки, в том числе, необходимость предусилителя, основывается на ранее определенном значении коэффициента шума приемника F_R анализатора и коэффициента усиления ИУ G_D. Для измерения коэффициента усиления ИУ шум, создаваемый самим приемником, не должен превышать шум, создаваемый ИУ.

Мощность шума на входном порте приемника можно записать следующим образом

$$N_R = N_S G_D + (F_D - 1) G_D N_0 + (F_R - 1) N_0.$$

Первый член представляет собой мощность шума от порта источника, которым, в большинстве случаев, можно пренебречь при наличии сильного ослабления. Второй член – это собственный шум ИУ, а последний – нежелательный шум от приемного порта. Как уже говорилось выше, для получения точных результатов измерений шум приемника не должен превышать шум ИУ, т.е. должно выполняться следующее соотношение

$$(F_D - 1) G_D N_0 > C(F_R - 1) N_0$$

Эмпирическое значение коэффициента C составляет 1/10. Другими словами, можно добиться точных результатов измерения, даже если шум ИУ на 10 дБ ниже шума приемника.
Для быстрой практической оценки это выражение можно упростить. Значение коэффициента F_R, как правило, намного больше 1, а параметр $(F_D - 1)$ примерно равен 1 для стандартных ИУ. Это приводит к следующему практическому правилу

$$F_R < 10 G_D$$

или в логарифмических единицах

$$NF_R < L_{G_D} + 10 \text{ дБ}$$

Из этого неравенства следует, что коэффициент шума приемника должен быть не более чем на 10 дБ больше коэффициента усиления ИУ. Для этого соотношения используется следующая аббревиатура: соотношение "receiver noise figure" (RNF, коэффициент шума приемника). Это основное соотношение для выбора приемной установки.

Как уже говорилось, соотношение RNF является основным практическим правилом для выбора измерительной установки, которое также подходит для выбора большинства измерительных установок. При необходимости можно провести более детальный анализ погрешности измерения с помощью инструмента ZVAB-K30 Noise Figure Error Estimation, описанного в главе 2. Принцип выбора установки, тем не менее, остается прежним.

Доступные приемные установки и процедура выбора подходящей установки показаны на рис. 1 и рис. 2.

Если соотношение RNF выполняется уже для случая прямого подключения ИУ к порту приемника, как в случае приемной установки 1, необходимо выбрать эту установку. Для этого случая значения коэффициента NF_R выбираются из строки "Порт" таблицы 1.

Если неравенство не выполняется, следующий шаг зависит от наличия опции прямого доступа к приемнику R&S ZVAxy-B16 для приемного порта. Если опция недоступна, необходимо использовать предусилитель, как в случае приемной установки 2.

Если опция R&S ZVAxy-B16 доступна, следующий шаг зависит от необходимости измерения основных параметров рассеивания (измерение усиления и отражения с учетом систематической погрешности) в той же самой измерительной установке. Если такая необходимость существует, требуется подключить предусилитель к тракту "Meas" анализатора R&S ZVAxy-B16, как в случае приемной установки 4.

Если измерение параметров рассеивания с учетом систематической погрешности не производится и соотношение RNF выполняется для значений NF_R из строки "B16", можно использовать приемную установку 3. Идея этой установки заключается в том, что коэффициент шума приемника можно уменьшить примерно на 10 дБ, если подключить ИУ напрямую к измерительному приемнику, что позволит устранить вносимые потери направленного ответвителя. Если же неравенство все еще не выполняется, необходимо использовать приемную установку 4 с предусилителем.

1.4.3 Выбор предусилителя

Если в измерительной установке необходимо использовать предусилитель, коэффициент усиления $G_{\mathrm{Pr}e}$ и фактор шума $F_{\mathrm{Pr}e}$ предусилителя необходимо выбрать таким образом, чтобы эффективный коэффициент шума приемника (предусилителя и приемного порта) удовлетворял соотношению RNF. Эффективный коэффициент шума приемника вычисляется следующим образом

$$F_{R,eff} = F_{\mathrm{Pr}e} + \frac{F_R - 1}{G_{\mathrm{Pr}e}}.$$

Для получения более простого выражения, можно снова принять определенные допущения. Считая

$$F_{R,eff} \approx \frac{F_R}{G_{\mathrm{Pr}e}}.$$

соотношение RNF для предусилителя будет

$$\frac{F_R}{G_{\mathrm{Pr}e}} < 10G_D.$$

или

$$NF_R - L_{G_{\mathrm{Pr}e}} < L_{G_D} + 10\mathrm{dB}$$

1.4.4 Значение ослабления

Для регулировки мощности источника сигнала векторного анализатора рекомендуется использовать встроенный ступенчатый аттенюатор или внешний аттенюатор. Применение встроенного *электронного* аттенюатора (в меню [Channel]→[Power Bandwidth Average]→[Power …]) приведет к увеличению коэффициента шума генератора. Поэтому основную мощность генератора, как правило, устанавливают равной 0 дБмВт.

Требуемое значение ослабления – встроенного ступенчатого аттенюатора или внешнего аттенюатора – можно определить из следующих соображений:

1. Входная мощность ИУ должна быть примерно на 10 дБ ниже его точки компрессии 1 дБ (или максимальной входной мощности). Так что ослабление должно быть больше, чем

   $$A_1 = 10\frac{1\mathrm{mW}}{P_{1\mathrm{dB,DUT}}}.$$

   Точку компрессии 1 дБ необходимо подставлять в приведенное выше уравнение в [Вт].

2. Входная мощность предусилителя должна быть примерно на 10 дБ ниже его точки компрессии 1 дБ (или максимальной входной мощности). Так что ослабление должно быть больше, чем

   $$A_2 = 10\frac{1\mathrm{mW}}{P_{1\mathrm{dB,pre}}}G_D.$$

   для приемной установки 2 или

   $$A_2 = 100\frac{1\mathrm{mW}}{P_{1\mathrm{dB,pre}}}G_D.$$

   для приемной установки 4.

3. Входная мощность векторного анализатора должна быть примерно на 10 дБ ниже его точки компрессии 1 дБ, полученной из таблицы 2. Так что ослабление должно быть больше, чем

   $$A_3 = 10\frac{1\mathrm{mW}}{P_{1\mathrm{dB,ZVA}}}G_D.$$

   для приемных установок 1, 3 и 4 или

   $$A_3 = 10\frac{1\mathrm{mW}}{P_{1\mathrm{dB,ZVA}}}G_D G_{\mathrm{Pr}e}.$$

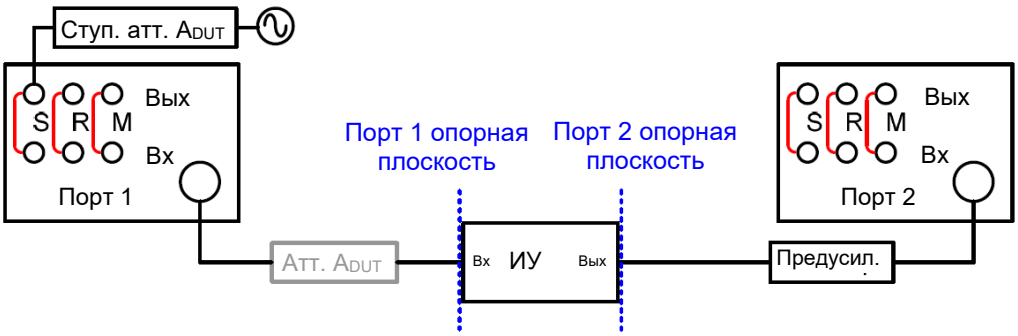
   для приемной установки 2. Для установок 1, 2 и 4 точка компрессии 1 дБ выбирается из строки "Порт" столбца "Вход", а для установки 3 – из строки "B16" столбца "Вход".

Итоговое значение ослабления A_{DUT} для измерения получается с помощью выбора максимального значения из A_1, A_2 и A_3. Выбранное значение ослабления всегда округляется в большую сторону. Индекс DUT для значения A_{DUT} означает значение ослабления, используемое при измерении ИУ, в отличие от других возможных значений на разных этапах калибровки.

1.5 Этапы конфигурации измерения коэффициента шума

После выбора измерительной установки конфигурация измерения коэффициента шума на анализаторе R&S ZVA или R&S ZVT следует одному и тому же базовому сценарию. Однако некоторые этапы могут отличаться, в зависимости от особенностей измерительной установки и доступных опций. В этом разделе приведен краткий обзор общей процедуры конфигурации измерения и разъясняются основные моменты, которые необходимо учитывать. Примеры и отличия для определенных установок описаны в главе 3.

Дальнейшее описание конфигурации измерения шума будет основано на базовой измерительной установке, включающей аттенюаторы и предусилители, в соответствие с приведенным ниже рисунком.



Можно использовать либо встроенный, либо внешний аттенюатор, в зависимости от их наличия и требований измерения, как описано в главе 1.4. Для упрощения дальнейшего описания на рисунке одновременно показаны и встроенный, и внешний аттенюатор. Оба типа аттенюаторов даже могут использоваться вместе, хотя такое решение редко применяется. Опорные плоскости источника и приемника всегда находятся на входе и выходе ИУ.

1.6 Достоверность калибровки шума

Измерение коэффициента шума и калибровка чувствительны к изменению шума системы и свойств усиления. Ниже приведен список параметров, влияющих на достоверность калибровки шума и, таким образом, на точность измерения коэффициента шума:

- Диапазон частот
- Значение ослабления ступенчатого аттенюатора
- Режим измерения шума (одновременный "Simultaneous" или последовательный "Sequential")
- Усиление на ПЧ
- Калибровка мощности
- Полоса пропускания фильтра или избирательность
- Импеданс соединительной линии (определяется типом разъема)
- Время измерения детектора
- Базовая мощность канала или смещение порта
- Режим низкого фазового шума

Для всех перечисленных параметров сомнительная и недостоверная калибровка шума отображается с помощью символов "NCa?" или "Nal Inv", если эти параметры изменялись за промежуток времени между калибровкой и началом измерений.

1.7 Пределы измерения шума

При проведении измерений коэффициента шума с помощью семейства векторных анализаторов ZVA, необходимо учитывать некоторые ограничения.

1.7.1 Низкочастотные ограничения

При использовании векторного СВЧ анализатора (>8 ГГц) для измерения коэффициента шума на частотах ниже 700 МГц необходимо учитывать следующие ограничения. Из-за естественного увеличения коэффициента связи направленного ответвителя на низких частотах коэффициент шума приемника на частотах ниже 700 МГц также увеличивается. Поэтому при измерении коэффициента шума в этом диапазоне низких частот рекомендуется использовать либо ZVA8, либо опцию прямого доступа к приемнику ZVAxy-B16, чтобы обойти направленный СВЧ ответвитель.

1.7.2 Узкополосные ИУ

Из-за использования смесителя с двумя боковыми полосами, как описано в разделе 1.1.3, множитель "2" в уравнении (4) справедлив, только если мощность шума каждой из двух боковых полос (на расстоянии двух промежуточных частот) одинакова. Поэтому измеренное значение коэффициента шума ИУ с полосой частот меньше 50 МГц будет содержать погрешность.

1.7.3 Высокочастотные ограничения

Для измерений на частотах свыше 24 ГГц анализатор R&S ZVA использует принцип смешивания гармоник. С точки зрения измерения коэффициента шума это означает, что уровень шума основной и высшей полосы частот смесителя вместе переносятся на одну и ту же промежуточную частоту и их нельзя впоследствии разделить. В качестве решения предлагается использовать фильтр высоких частот с частотой среза 20 ГГц, либо подходящий полосовой фильтр.

1.8 Наиболее распространенные ошибки

1.8.1 Помехи от сетей мобильной связи

Из-за малой мощности шумовых сигналов измерения коэффициента шума очень чувствительны к помехам от сетей мобильной связи или других внешних сигналов. Такой помеховый сигнал может вызвать однократные выбросы на графике коэффициента шума. Для повышения точности измерений коэффициента шума, их рекомендуется проводить в экранированной комнате или камере.

1.8.2 Эффекты компрессии

Если какая либо часть установки находится в режиме ограничения, это может привести к неверным результатам измерения коэффициента шума. Простой проверкой, позволяющей обнаружить такой режим, является снижение базовой мощности канала [Channel]→[Power Bandwidth Average] → [Power …] до -10 дБмВт во время измерения ИУ. Это должно привести лишь к незначительным изменениям графика коэффициента шума.

1.8.3 Согласование входа и выхода ИУ

Для точных измерений коэффициента шума требуется, чтобы уровень отражения от входа и выхода ИУ был ниже 10 дБ. Если на графике коэффициента шума присутствуют сильные колебания, необходимо проверить согласование ИУ с помощью стандартного измерения S-параметров в отдельной измерительной установке.

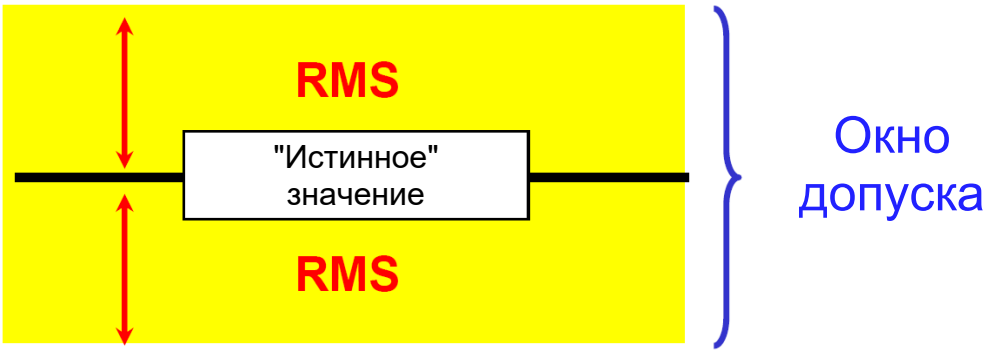
Если согласование ИУ недостаточно хорошее, для его улучшения необходимо выбрать установку 8, описанную в главе 1.3, используя аттенюаторы с ослаблением от 3 до 10 дБ.

2 Учет погрешности измерений

Погрешность измерения коэффициента шума рассчитывается с учетом 13 входных параметров, которые можно разделить на пять групп:

1. **Параметры источника**
   а. Согласование источника векторного анализатора цепей
   б. Коэффициент шума источника
   в. Коэффициент ослабления аттенюатора источника
2. **Параметры ИУ**
   а. Коэффициент шума
   б. Коэффициент усиления
   в. Изоляция
   г. Отражение от входа
   д. Отражение от выхода
3. **Параметры приемника**
   а. Согласование источника векторного анализатора цепей
   б. Коэффициент шума приемника
4. **Параметры измерителя мощности**
   а. Согласование измерителя мощности
   б. Погрешность измерителя мощности
5. **Температура измерений**

В каждой группе параметров есть соответствующие величины, которые необходимо учитывать для вычисления полной среднеквадратической погрешности (RMS) относительно абсолютного неточного значения результата измерения. Среднеквадратическая погрешность определяет допустимое окно вокруг "истинного" значения, в которое результат измерения попадает с вероятностью 95%.



Подсказка: аналогичным образом следует учитывать погрешность источника шума (± 0,2 дБ), используемого для измерения или калибровки.

2.1 Оценка погрешности

После выбора измерительной установки можно оценить ее погрешность и проверить правильность выбора с помощью инструмента ZVAB-K30 Noise Figure Error Estimation, доступного для скачивания с домашней страницы изделия на веб-сайте компании R&S.

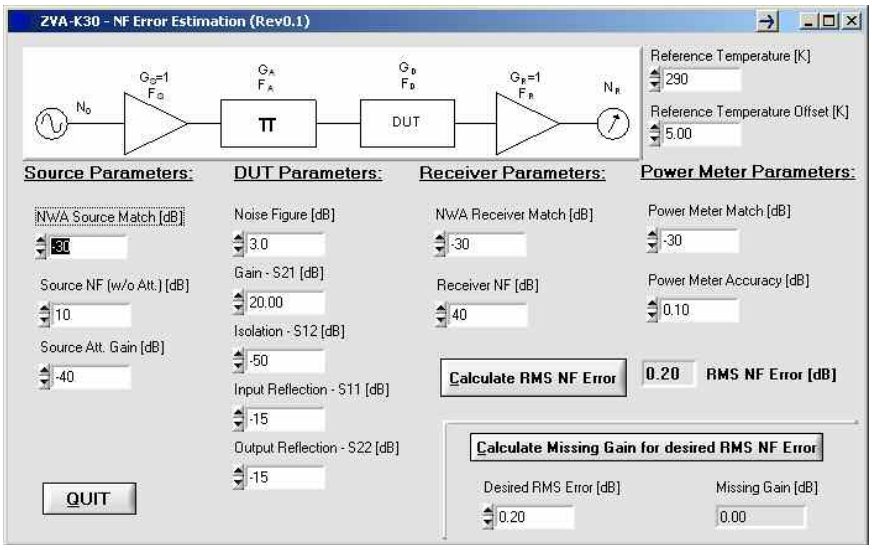


Рисунок 5 – Инструмент ZVAB-K30 Noise Figure Error Estimation

Для большинства параметров уже введены типичные значения. Для выбранной установки, как правило, необходимо изменить только следующие параметры:

1. Указать типичные параметры ИУ в группе "DUT parameters"
2. Ввести значение "Source Att. Gain [dB]" для выбранного ослабления, используемого во время измерения.
3. Ввести значения "Receiver NF [dB]", полученные из таблицы 1 и таблицы 2.

После нажатия на кнопку "Calculate RMS NF Error" будет рассчитана типичная погрешность измерения коэффициента шума.

Если вычисленная погрешность не соответствует требуемой точности измерения, можно вычислить недостающее значение коэффициента усиления предусилителя. Для этого задать значение "Desired RMS Error [dB]" и нажать кнопку [Calculate Missing Gain for Desired RMS NF Error]. Процедура вычисления учтет дополнительные настройки и в качестве результата покажет недостающее значение коэффициента усиления предусилителя, необходимое для получения заданной максимальной погрешности. Для дополнительной проверки можно вычесть полученное значение из коэффициента шума приемника, используемого при первом вычислении. После повторного вычисления среднеквадратической погрешности полученное значение должно соответствовать заданному.

> **Подсказка:** В первом приближении коэффициент усиления предусилителя снижает коэффициент шума анализатора в соотношении один к одному.