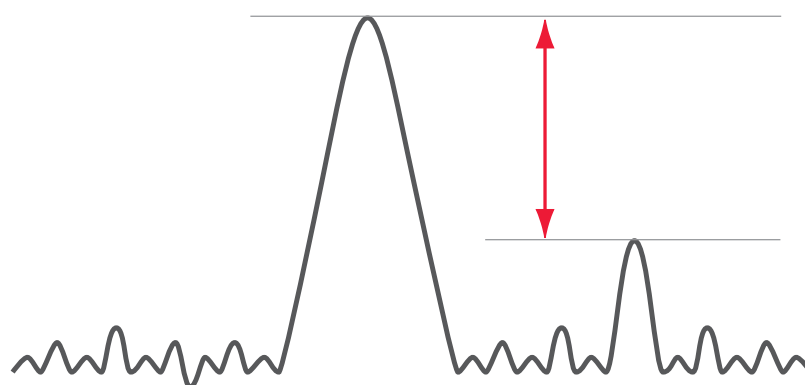


# Keysight Technologies

## Оптимизация динамического диапазона ВЧ- и СВЧ-анализаторов спектра

Рекомендации по применению



# 1. Введение

## Что такое динамический диапазон?

Динамическим диапазоном анализатора спектра традиционно называют отношение уровней (выраженное в дБ) наибольшего из одновременно присутствующих на входе сигналов к наименьшему, при котором измерение уровня наименьшего сигнала может быть выполнено с гарантируемой производителем точностью. Это может быть сигнал и его гармоника или два несвязанных сигнала.

## Почему динамический диапазон важен?

Величина динамического диапазона определяет способность выделять и измерять параметры сигналов малого уровня в присутствии сигналов большого уровня и поэтому является одним из основных показателей качества анализаторов спектра. Его зачастую неправильно понимают или некорректно истолковывают, поскольку диапазон показаний, диапазон измерений, уровень собственных шумов, фазовый шум и уровень паразитных составляющих спектра, порождаемых самим анализатором – все эти характеристики играют важную роль при определении динамического диапазона. Правильное понимание того, как интерпретировать понятие динамического диапазона применительно к конкретной измерительной задаче поможет вам получить более точные, достоверные и повторяемые результаты измерений с помощью анализатора спектра.

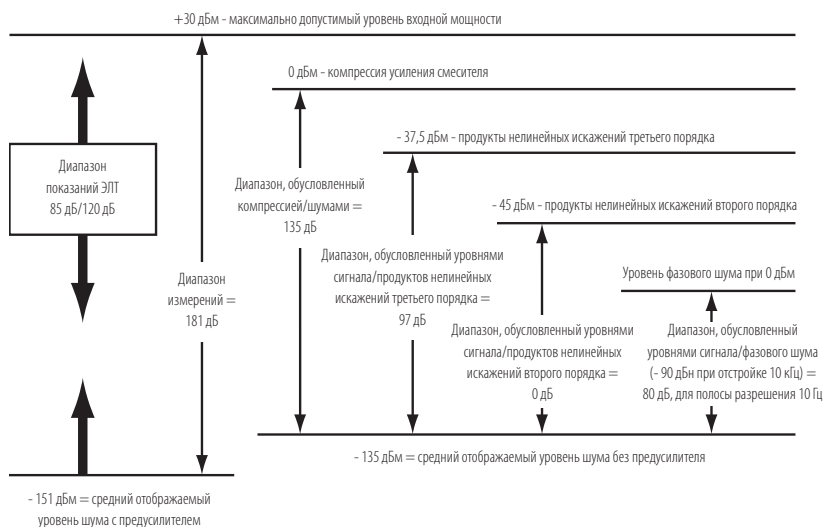


Рисунок 1. Различные интерпретации понятия динамический диапазон

## Содержание

1. Введение .....	2
Что такое динамический диапазон? .....	2
Почему динамический диапазон важен? .....	2
2. Различные интерпретации понятия динамический диапазон .....	3
Диапазон измерений .....	3
Диапазон показаний .....	3
Компрессия усиления смесителя .....	3
Нелинейные искажения внутри анализатора .....	4
Шумы .....	5
Чувствительность .....	5
Фазовый шум .....	5
Динамический диапазон по нелинейным искажениям второго и третьего порядков .....	5
Заключение .....	6
3. Выполнение измерений параметров гармонических или интермодуляционных искажений .....	7
Неопределенность результатов измерений .....	7
Оптимизация измерений .....	8
Предусилитель .....	8
Аттенюатор .....	9
Проверка аттенюатором .....	9
Внешний фильтр .....	9
Разрешающая полоса фильтра ПЧ .....	9
Измерения параметров прочих сигналов .....	9
4. Заключение .....	10
5. Список использованной литературы .....	10

## 2. Различные интерпретации понятия динамический диапазон

На рисунке 1 показаны несколько различных интерпретаций понятия динамический диапазон. В этой главе мы поясним каждую из них.

### Диапазон измерений

Диапазон измерений – это разница между максимальным и минимальным уровнем сигналов, которые способен измерить анализатор спектра при различных настройках. Как правило, его верхней границей является максимально допустимый уровень мощности сигнала, который может быть подан на вход анализатора без угрозы повреждения входных каскадов. Для большинства анализаторов он составляет порядка + 30 дБм (1 Вт). Нижнюю границу диапазона измерений определяет уровень собственных шумов прибора. Сигналы, мощность которых ниже уровня собственных шумов не будут видны на экране. Следует отметить, что добиться минимального уровня собственных шумов при тех же настройках ослабления входного аттенюатора, которые используются при подаче на вход сигнала мощностью в 1 Вт, не получится.

### Диапазон показаний

Диапазон показаний – это разница между максимальным и минимальным калиброванными значениями экранной шкалы. Если экран анализатора разделен на 10 горизонтальных делений шкалы уровней, то считается, что при масштабе 10 дБ/деление в режиме отображения логарифмической амплитуды анализатор способен выводить на экран сигналы с разницей по уровню в 100 дБ. Однако, диапазон показаний чаще всего ограничен характеристиками логарифмического усилителя (ЛУ). Например, если мы имеем логарифмический усилитель, допускающий диапазон уровней входных сигналов 85 дБ, а на экране 10 горизонтальных делений, то из них калиброванными будут только 8,5. С помощью настройки опорного уровня анализатора диапазон показаний может быть установлен в любой части диапазона измерений.

В некоторых анализаторах спектра узкой полосы разрешения добиваются за счет использования цифровых фильтров. В этом случае логарифмический усилитель отключается и ограничения задают аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и функция автоматического определения диапазона. В подобном случае диапазон показаний может быть порядка 120 дБ.

### Совет: выбирайте оптимальное значение опорного уровня

Если требуется измерять параметры сигналов малых уровней в присутствии больших, то для расположения малых сигналов в пределах диапазона показаний большие сигналы могут быть сдвинуты вверх за пределы экрана на значение до 10 дБ посредством изменения опорного уровня. Это не окажет существенного влияния на точность измерений уровней малых сигналов, но поможет предотвратить вхождение смесителя в режим компрессии.

### Компрессия усиления смесителя

Уровень компрессии усиления смесителя – это максимальный уровень мощности, который мы можем подать на вход анализатора не ухудшая точность измерений уровня отображаемого сигнала. Когда уровень сигнала на входе смесителя значительно ниже точки компрессии, уровень полезного продукта преобразования (сигнала ПЧ) на выходе смесителя связан линейной зависимостью с уровнем входного сигнала и лишь незначительная часть энергии теряется в виде нелинейных искажений. По мере того, как уровень сигнала на входе смесителя возрастает, его передаточная функция принимает нелинейный характер вследствие возрастающих потерь энергии сигнала в виде продуктов нелинейных искажений. Если рабочая точка смесителя по уровню сигнала на входе находится на нелинейном участке передаточной характеристики, то считается, что такой смеситель находится в режиме компрессии и при этом отображаемый на экране уровень ниже действительного значения уровня мощности входного сигнала.

Показатель уровня компрессии смесителя, указываемый в техническом описании, определяется, как суммарный уровень мощности на входе смесителя, ниже которого анализатор занижает уровень отображаемого на экране сигнала более чем на 1 дБ. Помните о том, что уровень мощности на входе смесителя определяется, как суммарная мощность входных сигналов на всех частотах, даже если некоторые из этих сигналов на экране не отображаются. Существует три различных метода определения компрессии: компрессия усиления сигнала фиксированной частоты, компрессия усиления двухтонового сигнала и компрессия усиления импульсного сигнала. В каждом случае механизмы компрессии усиления отличаются и уровни компрессии тоже будут различными. [1]

### Совет: ограничьте уровень мощности на входе смесителя

Для точного измерения параметров сигналов высокого уровня важно выбрать такое ослабление входного аттенюатора, которое позволит предотвратить вхождение смесителя в режим компрессии за счет ограничения мощности на его входе. Анализаторы спектра серии ESA компании Keysight Technologies, Inc. позволяют задавать максимальный уровень мощности на входе смесителя. После чего для любых сигналов, отображаемых на экране, настройки ослабления входного аттенюатора автоматически изменяются таким образом, чтобы уровень мощности на входе смесителя был меньше или равен заданному максимальному уровню. По умолчанию задается максимально возможное значение – 10 дБм.

## Нелинейные искажения внутри анализатора

Внутренние (собственные) нелинейные искажения – один из факторов, который определяет динамический диапазон при измерениях параметров продуктов нелинейных искажений в спектре сигналов, таких как гармонические искажения при однотоновом входном сигнале или интермодуляционные искажения при наличии двух или более сигналов (тонов) на входе. Внутренние гармонические или интермодуляционные искажения находятся в функциональной зависимости от уровня мощности сигнала на входе смесителя. Для понимания влияния, оказываемого ими на результат измерений, полезно рассмотреть поведение входного смесителя.

В большинстве анализаторов используются диодные смесители, поведение которых подпадает под определение нелинейных устройств и описывается уравнением Шокли для идеального диода [1]. Используя разложение в ряд Тейлора можно показать, что для нелинейных устройств изменение уровня мощности сигнала основного тона на входе на 1 дБ вызовет изменение уровня продуктов нелинейных искажений второго порядка (например, второй гармоники) на выходе на 2 дБ и продуктов нелинейных искажений третьего порядка (например, третьей гармоники) на 3 дБ (см. рисунок 2). В таком случае величину динамического диапазона можно приравнять значению разности между уровнями сигнала основного тона или тонов и собственных продуктов нелинейных искажений анализатора. А исследовав закономерности изменений, мы обнаружим, что изменение уровня мощности сигнала основного тона на 1 дБ приводит к изменению уровня продуктов нелинейных искажений второго порядка на 1 дБн (дБ относительно несущей) и третьего порядка – на 2 дБн.

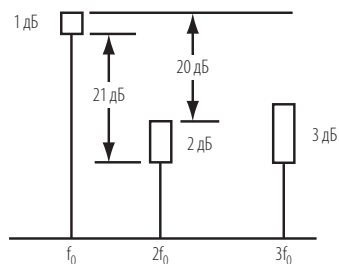


Рисунок 2. Наглядная иллюстрация характера изменений уровней продуктов нелинейных искажений в зависимости от уровня сигнала основного тона

Согласно техническому описанию анализаторов спектра E4402B компании Keysight [4] они имеют следующие характеристики в части паразитных сигналов: уровень собственных продуктов гармонических искажений второго порядка (второй гармоники) – 75 дБн при уровне мощности сигнала на входе смесителя – 30 дБм и интермодуляционных искажений третьего порядка (TOI) – 80 дБн при уровне мощности сигналов двух основных тонов на входе смесителя – 30 дБм. Зная соотношения между уровнями сигналов основного тона на входе и собственных продуктов нелинейных искажений второго и третьего порядков на выходе смесителя мы можем построить графики (рисунок 3) для различных уровней сигналов на входе смесителя. Графическая зависимость уровня собственной второй гармоники имеет единичный наклон, а графическая зависимость собственных продуктов интермодуляционных искажений третьего порядка имеет в два раза более крутой наклон. Как следует из графиков, если уровень сигнала на входе смесителя достаточно низок, то нет необходимости беспокоиться о собственных продуктах нелинейных искажений. Это правда, но по мере того, как уровень исследуемых сигналов становится меньше, возрастает необходимость учета влияния на результат измерений шумов.

## Шумы

Существует два показателя, характеризующих влияние шумов на динамический диапазон: фазовый шум и чувствительность. Шум присутствует в широкой полосе частот. Поэтому чем шире полоса пропускания разрешающего фильтра (RBW), тем больше шумовой мощности поступает на детектор. Вследствие чего увеличивается показатель фазового шума, а также уровень собственных шумов. Выше сказанное означает, что показатели шума должны иметь непосредственную связь с полосой разрешающего фильтра.

## Чувствительность

Чувствительность анализатора, также называемая средним отображаемым уровнем шума (DANL) или уровнем собственных шумов, определяет наименьший уровень сигнала, который может быть измерен. Теоретический нижний предел DANL равен  $kTB^1$ , или  $-174$  дБм, для шумовой полосы 1 Гц при комнатной температуре.

## Фазовый шум

В то время как ключевым параметром при измерениях двух сигналов, значительно разнесенных по частоте, является DANL, фазовый шум определяет качество измерений, когда два сигнала расположены близко друг к другу (отстройка  $<1$  МГц). Фазовый шум является следствием нестабильности сигнала гетеродина и иногда его называют шумом боковой полосы. Не существует идеального гетеродина, все они в той или иной степени модулированы по фазе случайным шумом, а любая нестабильность сигнала гетеродина оказывает влияние на отображаемый сигнал через смеситель. Если предположить, что сам по себе входной сигнал достаточно стабилен, то чем стабильнее гетеродин, тем меньше будет уровень фазового шума. С точки зрения динамического диапазона, фазовый шум оказывает влияние, аналогичное продуктам интермодуляционных искажений третьего порядка, поскольку важную роль играет близкое взаимное расположение сигналов по частоте.

## Динамический диапазон по нелинейным искажениям второго и третьего порядков

Чтобы показать влияние шумов на графиках собственных нелинейных искажений (рисунок 3), требуется исследовать характер изменений соотношения сигнал/шум в зависимости от уровня сигнала основного тона на входе смесителя. Всякий раз, когда сигнал на входе смесителя увеличивается на 1 дБ, отношение сигнал шум тоже становится больше на 1 дБ.

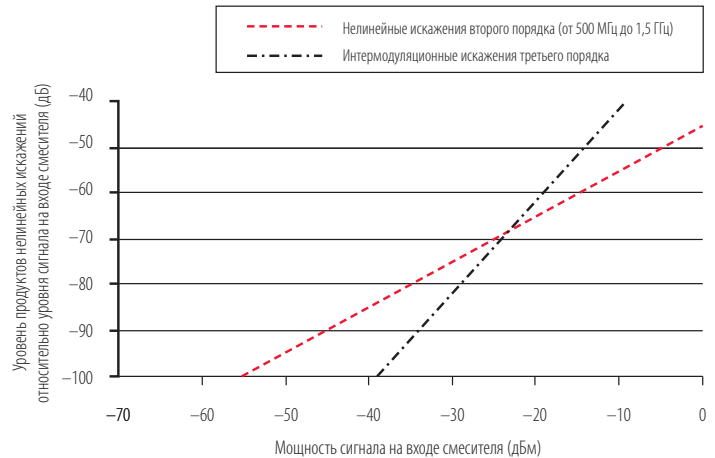


Рисунок 3. Зависимость уровня собственных продуктов гармонических искажений второго порядка и интермодуляционных искажений третьего порядка от уровня сигнала на входе смесителя анализатора E4402B компании Keysight

1.  $k$ — постоянная Больцмана,  $T$ — абсолютная температура в градусах Кельвина и  $B$ — ширина полосы в Гц.

Поэтому зависимость DANL - это прямая линия с наклоном – 1 (см. рисунок 4). Горизонтальная линия, проведенная по уровню – 80 дБ на рисунке 4, представляет фазовый шум, а не DANL, при отстройке 10 кГц и полосе разрешения 10 Гц. Фазовый шум является ограничивающим фактором при проведении измерений вблизи несущей (отстройка <1 МГц). При измерениях с большим разносом по частоте его можно игнорировать. Шумы влияют на возможность минимизации продуктов нелинейных искажений, возникающих внутри анализатора, ограничивая минимальный уровень сигналов, который мы можем измерить.

Динамический диапазон по нелинейным искажениям второго и третьего порядков ограничивают три фактора: нелинейные искажения входного смесителя, DANL (чувствительность) и фазовый шум гетеродина. При оптимизации настроек анализатора для выполнения конкретных измерений важно учитывать все три эти фактора. На рисунке 4 показан достижимый показатель динамического диапазона в зависимости от уровня сигнала на входе смесителя при измерениях уровней продуктов нелинейных искажений второго и третьего порядков. Для максимального динамического диапазона, свободного от влияния собственных нелинейных искажений второго и третьего порядков, мощность сигнала на входе смесителя должна быть отрегулирована таким образом, чтобы DANL и уровень собственных нелинейных искажений были равны.

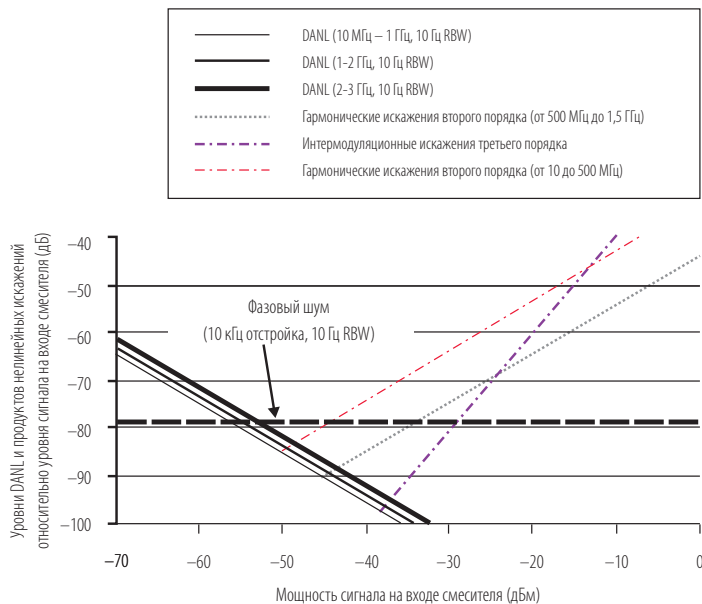


Рисунок 4. Зависимости уровней фазового шума, продуктов интермодуляционных искажений третьего порядка и гармонических искажений второго порядка от мощности сигнала на входе смесителя анализатора спектра E4402B компании Keysight

## Совет: определите максимально достижимый динамический диапазон по нелинейным искажениям второго или третьего порядков

Как правило, динамический диапазон указан в техническом описании и характеризует максимальную разность уровней в дБ между двумя гармонически связанными сигналами, при которой отсутствует влияние на результат измерений собственных нелинейных искажений анализатора. Из рисунка 4 мы видим, что максимальный динамический диапазон достигается при уровнях сигнала на входе смесителя, для которых имеет место пересечение зависимостей уровней шума и продуктов нелинейных искажений соответствующего порядка. Максимальный динамический диапазон рассчитывается с использованием приведенных ниже формул и может быть использован при оценке достаточности анализатора спектра для решения конкретной измерительной задачи:

Формула 1 Максимальный динамический диапазон по нелинейным искажениям третьего порядка =  $(2/3) \cdot (\text{DANL} - \text{TOI})$

Формула 2 Максимальный динамический диапазон по нелинейным искажениям второго порядка =  $(1/2) \cdot (\text{DANL} - \text{SHI})$

Где: TOI (уровень интермодуляционных искажений третьего порядка) = уровень сигнала на входе смесителя –  $(1/2)$  (уровень продукта искажений в дБн)  
SHI (уровень гармонических искажений второго порядка) = уровень сигнала на входе смесителя – уровень продукта искажений в дБн.

## Заключение

Анализаторы спектра довольно часто используют для измерений параметров продуктов гармонических или интермодуляционных искажений. При выполнении такого рода измерений нельзя учесть все ограничения, основываясь только на таких характеристиках, как диапазон измерений, диапазон показаний и уровень компрессии усиления смесителя. Вот почему понятие «динамический диапазон» зачастую рассматривают, как динамический диапазон измерений уровней продуктов нелинейных искажений второго и третьего порядков. Именно данная интерпретация понятия динамический диапазон используется в разделе 3, где рассматриваются методы повышения качества измерений параметров нелинейных искажений за счет улучшения и более глубокого понимания влияния динамического диапазона на их результат.

### 3. Выполнение измерений параметров гармонических или интермодуляционных искажений

#### Неопределенность результатов измерений

Расчеты динамического диапазона на основе теоретических данных не учитывают неопределенность результатов измерений. Если собственные продукты нелинейных искажений располагаются на тех же частотах, что и исследуемые сигналы, как происходит при измерениях параметров нелинейных искажений, погрешность измерений существенно возрастает. Измеренное значение амплитуды сигнала может быть любым в пределах суммы и разности амплитуд двух продуктов нелинейных искажений и определяется соотношением их фаз в плоскости измерений. Поскольку мы не можем знать, каким будет это соотношение фаз, то можем лишь рассчитать неопределенность (пределы погрешности) подобных измерений:

Формула 3      Неопределенность (дБ) =  $20 \log(1 \pm 10^{d/20})$

где d = разность в дБ между уровнями собственных и внешних продуктов нелинейных искажений (отрицательное число)

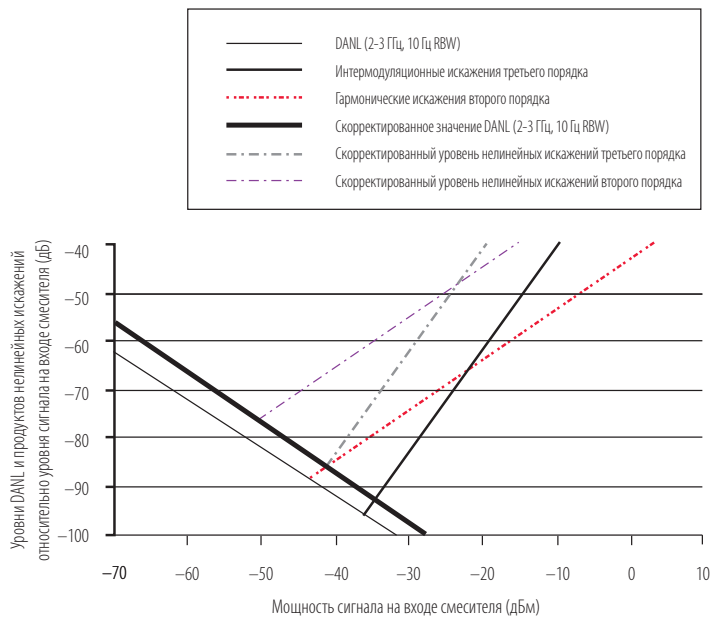


Рисунок 5. Коррекция графических построений при расчете динамического диапазона на величину погрешности по амплитуде

Если требуется погрешность измерений менее чем  $\pm 1$  дБ, то следует убедиться, что собственные продукты нелинейных искажений не менее чем на 19 дБ меньше по уровню, чем продукты, параметры которых мы желаем измерить. Если мы учитываем этот защитный интервал, шириной в 19 дБ, при выполнении графических построений для расчета динамического диапазона, его ширина сокращается на 9,5 дБ для продуктов нелинейных искажений второго порядка и на 12,7 дБ для третьего порядка, как показано на рисунке 5. Следует особо отметить, что мы теряем не все эти 19 дБ ширины защитной полосы.

На суммарную неопределенность результатов измерений влияют не только собственные продукты нелинейных искажений анализатора. При малом отношении уровня продукта нелинейных искажений к уровню собственных шумов свой вклад вносят и шумы. Если уровень продуктов нелинейных искажений равен или очень близок (в пределах нескольких дБ) к уровню собственных шумов анализатора спектра, уровень отображаемого на экране сигнала (который по сути представляет собой сумму сигнала и шума) будет больше действительного значения. Для компенсации влияния этой составляющей погрешности измерений может быть введена соответствующая коррекция. [3] Как правило, для обеспечения погрешности измерений уровня отображаемого сигнала менее 0,5 дБ, измеряемый сигнал должен быть выше уровня собственных шумов не менее чем на 5 дБ.



## Оптимизация измерений

### Предусилитель

Предусилитель полезен при измерениях сигналов малых уровней.

При выборе предусилителя необходимо учесть два важных фактора: коэффициент усиления (КУ) и коэффициент шума (КШ). КШ предусилителя должен быть меньше КШ анализатора спектра ( $KШ_{AC} = DANL + 172 \text{ дБм}$ ). Если сумма КШ и КУ предусилителя меньше, чем КШ анализатора спектра, то предусилитель уменьшит DANL анализатора (после коррекции на величину КУ предусилителя) на величину, примерно равную КУ усилителя. Если КУ слишком велик для конкретной измерительной задачи, то для оптимизации уровня сигнала на входе смесителя может быть использован входной аттенюатор.

Один из недостатков использования предусилителя заключается в том, что он должен быть откалиброван для работы в системе и его влияние на результаты измерений должно быть учтено. В анализаторах спектра серии ESA-E компании Keysight в качестве дополнительной опции доступен встроенный предварительный усилитель, который снижает общий уровень собственных шумов, не ухудшая при этом динамический диапазон. Он располагается внутри анализатора и уже откалиброван для простоты использования. На рисунке 6 показан уровень собственных шумов анализатора без использования предусилителя, а на рисунке 7 мы видим его явное уменьшение, примерно на 15 дБ, после включения предусилителя.

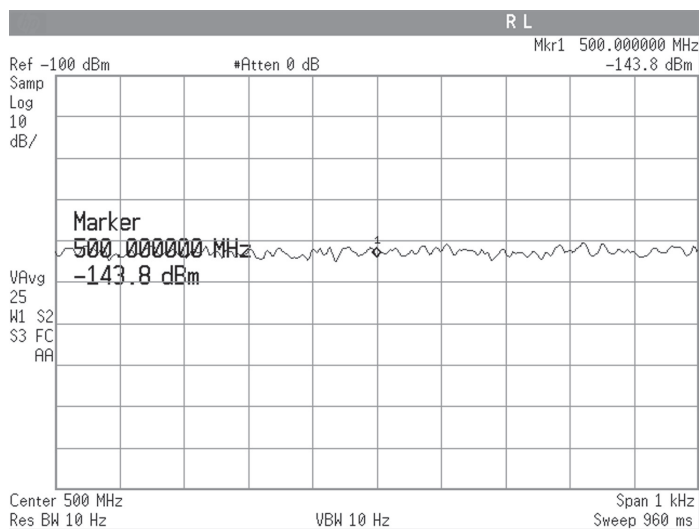


Рисунок 6. DANL анализатора спектра серии ESA-E компании Keysight без предусилителя

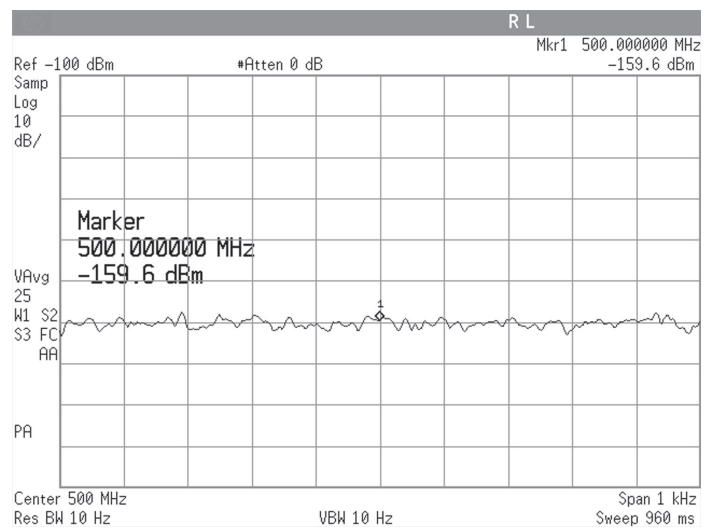


Рисунок 7. DANL анализатора спектра серии ESA-E компании Keysight с включенным предусилителем

## Аттенюатор

Как обсуждалось ранее, при измерении параметров нелинейных искажений, настройка уровня сигнала на входе смесителя может сыграть важную роль. Если уровень сигнала на входе смесителя достаточно низок, то мы можем быть уверены, что все наблюдаемые на экране продукты нелинейных искажений исходят от исследуемого устройства (ИУ). Однако, если мощность слишком мала, продукты нелинейных искажений могут оказаться ниже уровня собственных шумов анализатора.

Мощность на входе смесителя должна быть достаточной, чтобы продукты нелинейных искажений ИУ были выше DANL, но не настолько, чтобы собственные нелинейные искажения анализатора начали оказывать на них влияние и увеличивать погрешность измерений. Анализаторы спектра серии ESA компании Keysight позволяют оператору изменять ослабление аттенюатора с шагом 5 дБ для достижения оптимального уровня мощности на входе смесителя при решении конкретной измерительной задачи.

## Проверка аттенюатором

При измерениях параметров нелинейных искажений можно легко проверить, где возникли наблюдаемые на экране продукты нелинейных искажений, внутри самого анализатора или в ИУ. Входной аттенюатор ослабляет сигнал, поступающий с входа, а усилитель анализатора снова усиливает его до прежнего уровня после прохождения через смеситель. Поэтому, если ослабление входного аттенюатора изменяется, а уровень продуктов нелинейных искажений остается прежним, то они являются частью спектра входного сигнала. Если же амплитуда продуктов нелинейных искажений изменяется, то они все или часть из них возникли уже внутри анализатора.

## Внешний фильтр

Еще один способ ограничения суммарной мощности, поступающей на вход смесителя, в целях уменьшения собственных продуктов нелинейных искажений, заключается в том, чтобы ослабить или устранить все не интересующие нас сигналы. Этого можно добиться, используя в качестве преселектора внешний фильтр. Например, если нам требуется исследовать генератор на предмет присутствия гармоник в спектре его выходного сигнала, можно использовать фильтр верхних частот, чтобы убрать из спектра несущую частоту, но не гармоники. При исследовании параметров близко расположенных по частоте сигналов (например, при исследовании параметров интермодуляционных искажений), может потребоваться фильтр с высокой добротностью.

## Разрешение фильтра ПЧ

Поскольку уровень шума находится в функциональной зависимости от полосы пропускания фильтра ПЧ, следует быть внимательнее при интерпретации показателей фазового шума и DANL, указанных в техническом описании.

Уровень фазовых шумов нормируется для 1 Гц полосы разрешения, даже если полоса фильтра больше чем 1 Гц. Чтобы определить фактический достижимый уровень фазового шума при измерениях, следует выполнить пересчет значения, указываемого производителем для полосы разрешения 1 Гц, к текущей полосе разрешающего фильтра, установленной на анализаторе. Значение поправки рассчитывается следующим образом:

Поправочное значение для уровня фазового шума (дБ) =  $10 \log$  (фактическая RBW/1 Гц)

Например, в техническом описании анализатора спектра E4411B компании Keysight указан уровень фазовых шумов – 90 дБн/Гц при отстройке 10 кГц, но минимальная полоса фильтра ПЧ данного анализатора 10 Гц. Тогда поправочное значение для полосы разрешения 10 Гц будет:  
 $10 \log (10 \text{ Гц}/1 \text{ Гц}) = 10 \text{ дБ}$

С учетом величины поправки фактический достижимый уровень фазового шума составит – 80 дБн при минимальном разрешении анализатора 10 Гц.

DANL тоже указывается в техническом описании для конкретного значения полосы разрешающего фильтра и должен быть пересчитан, если фактическая полоса разрешения отличается от указанной. Для расчета скорректированного значения DANL используется аналогичный подход:

Поправка для DANL (дБ) =  $10 \log$  (фактическая RBW/указанная в ТО RBW)

Минимальное значение фильтра ПЧ имеет важное значение, когда необходимо понять достаточный ли динамический диапазон имеет анализатор для решения конкретной измерительной задачи.

## Измерения параметров прочих сигналов

При сравнении сигналов малых уровней (не являющихся продуктами нелинейных искажений второго или третьего порядков) с более мощными сигналами, графические построения выполненные выше неприменимы. В данном случае собственные продукты нелинейных искажений входного смесителя не будут влиять на результат измерений. Например, если мы измеряем параметры четвертой гармоники, собственные продукты нелинейных искажений на этой частоте будут очень малы и их влиянием можно пренебречь. Для таких измерений ограничивающими факторами будут только уровень фазового шума и DANL, конечно при условии, что уровень мощности сигнала на входе ниже уровня компрессии смесителя и правильно выбран диапазон показаний.

## 4. Заключение

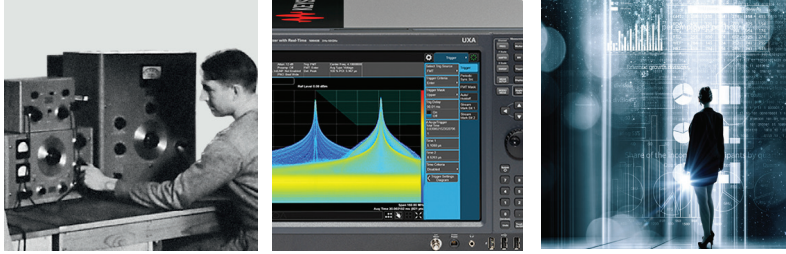
Динамический диапазон ограничивает диапазон амплитуд сигналов, которые мы можем измерить с помощью анализатора спектра. Существует несколько интерпретаций понятия динамический диапазон, которые определяются через: диапазон измерений, диапазон показаний, компрессию усиления смесителя, собственные нелинейные искажения и уровень шумов. В зависимости от характера выполняемых измерений, следует рассматривать нужное представление. Динамический диапазон по нелинейным искажениям второго и третьего порядков может быть оптимизирован под конкретную измерительную задачу путем контроля ряда параметров, таких как мощность сигналов на входе смесителя и DANL. Максимально достижимый динамический диапазон, свободный от нелинейных искажений, можно получить путем подбора уровня мощности сигналов на входе смесителя таким образом, чтобы уровень продуктов собственных нелинейных искажений был равен DANL.

## 5. Ссылки

	<b>Номер публикации</b>
<i>Основы спектрального анализа, рекомендации по применению</i>	5952-0292
<i>Эффективный спектральный анализ. Испытания бытовой электроники в условиях производственных линий, рекомендации по применению</i>	5966-0367E
<i>Влияние шумов на измерения параметров спектра, рекомендации по применению</i>	5966-4008E
<i>Анализаторы спектра серии ESA-E компании Keysight, техническое описание</i>	5968-3386E

## Развиваемся с 1939 года

Уникальное сочетание наших приборов, программного обеспечения, услуг, знаний и опыта наших инженеров поможет вам воплотить в жизнь новые идеи. Мы открываем двери в мир технологий будущего. От Hewlett-Packard и Agilent к Keysight.



Для получения дополнительных сведений о продукции, приложениях и услугах Keysight Technologies обратитесь в местное представительство компании Keysight. Полный перечень представительств приведен на сайте: [www.keysight.com/find/contactus](http://www.keysight.com/find/contactus)

### Северная и Южная Америка

Канада	(877) 894 4414
Бразилия	55 11 3351 7010
Мексика	001 800 254 2440
США	(800) 829 4444

### Страны Азиатско-Тихоокеанского региона

Австралия	1 800 629 485
Китай	800 810 0189
Гонконг	800 938 693
Индия	1 800 11 2626
Япония	0120 (421) 345
Корея	080 769 0800
Малайзия	1 800 888 848
Сингапур	1 800 375 8100
Тайвань	0800 047 866
Другие страны Азиатско-Тихоокеанского региона	(65) 6375 8100

### Европа и Ближний Восток

Австрия	0800 001122
Бельгия	0800 58580
Финляндия	0800 523252
Франция	0805 980333
Германия	0800 6270999
Ирландия	1 800 832700
Израиль	1 809 343051
Италия	800 599100
Люксембург	+32 800 58580
Нидерланды	0800 0233200
Россия	8800 5009286
Испания	800 000154
Швеция	0200 882255
Швейцария	0800 805353
Великобритания	Доб. 1 (Германия), Доб. 2 (Франция), Доб. 3 (Италия) 0800 0260637

Контактная информация для стран, не вошедших в список, приведена на странице:

[www.keysight.com/find/contactus](http://www.keysight.com/find/contactus)  
(BP-9-7-17)

**DEKRA Certified**  
ISO 9001 Quality Management System

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

Система менеджмента качества компании Keysight Technologies, Inc. Сертифицирована DEKRA на соответствие ISO 9001:2015

Информация может быть изменена без уведомления.  
© Keysight Technologies, 2017  
Published in USA, December 1, 2017  
5968-4545RURU  
[www.keysight.com](http://www.keysight.com)

## myKeysight

### myKeysight

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

Индивидуальная подборка наиболее важной для вас информации.

[http://www.keysight.com/find/emt\\_product\\_registration](http://www.keysight.com/find/emt_product_registration)

Зарегистрировав свои приборы, вы получите доступ к информации о состоянии гарантии и уведомления о выходе новых публикаций по приборам.

## KEYSIGHT SERVICES

Accelerate Technology Adoption.  
Lower costs.

### Услуги ЦСМ Keysight

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

Центр сервиса и метрологии Keysight готов предложить вам свою помощь на любой стадии эксплуатации средств измерений – от планирования и приобретения новых приборов до модернизации устаревшего оборудования. Широкий спектр услуг ЦСМ Keysight включает услуги по проверке и калибровке СИ, ремонту приборов и модернизации устаревшего оборудования, решения для управления парком приборов, консалтинг, обучение и многое другое, что поможет вам повысить качество ваших разработок и снизить затраты.

### Планы технической поддержки Keysight

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

ЦСМ Keysight предлагает разнообразные планы технической поддержки, которые гарантируют, что ваше оборудование будет работать в соответствии с заявленной производителем спецификацией, а вы будете уверены в точности своих измерений.



### Торговые партнеры Keysight

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

Получите лучшее из двух миров: глубокие профессиональные знания в области измерений и широкий ассортимент решений компании Keysight в сочетании с удобствами, предоставляемыми торговыми партнерами.

