

# Взаимодействие между интермодуляционными составляющими испытываемого устройства и анализатора спектра

## Техническое описание

### Изделия:

- | R&S®FSQ
- | R&S®FSW

В данном документе описано взаимодействие между интермодуляционными составляющими, генерируемыми испытываемым устройством (ИУ), и интермодуляционными составляющими, которые генерируются внутри анализатора спектра. Итоговые интермодуляционные искажения могут рассматриваться как в положительном, так и в отрицательном ключе. В примерах описано подавление интермодуляционных составляющих и приведены необходимые действия, которые помогут избежать влияния анализатора спектра на результаты измерений.

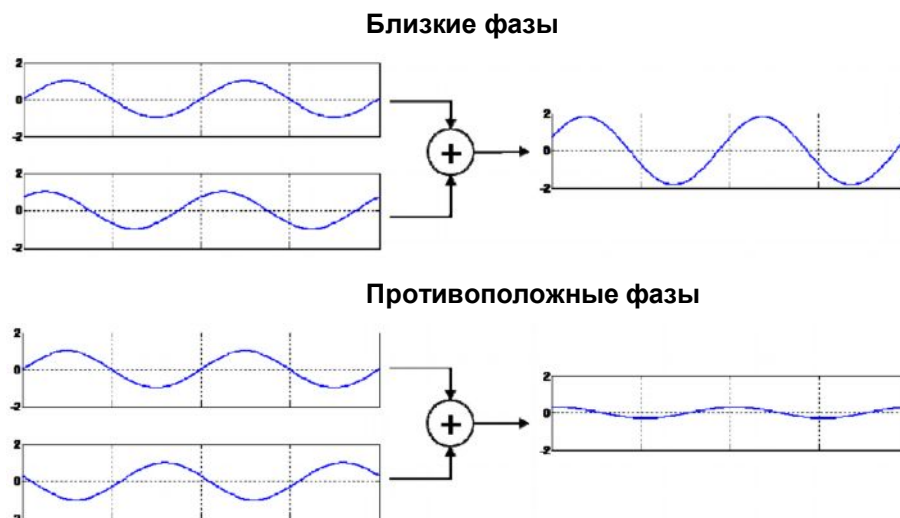
# Содержание

<b>1</b>	<b>Интермодуляционные искажения.....</b>	<b>3</b>
1.1	Динамический диапазон .....	4
1.2	Пример двухтонального сигнала.....	7
1.3	Пример сигнала OFDM.....	10
<b>2</b>	<b>Оценка интермодуляционных искажений .....</b>	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>Заключение .....</b>	<b>14</b>
<b>4</b>	<b>Литература .....</b>	<b>15</b>
<b>5</b>	<b>Информация для заказа.....</b>	<b>15</b>

# 1 Интермодуляционные искажения

Интермодуляционные составляющие третьего порядка, возникающие из-за нелинейности таких устройств, как, например, усилители мощности, являются основными причинами снижения рабочих характеристик систем связи. Это касается как интермодуляции в полосе, например, для OFDM-систем с несколькими несущими, где ослабляется передаваемый сигнал, так и интермодуляции вне полосы, когда под влияние попадают соседние каналы. Интермодуляция в полосе ведет к ухудшению качества сигнала, например, погрешности модуляции, измеряемой по показателю EVM (модуль вектора ошибок). В передатчике за возникновение интермодуляции чаще всего ответственен выходной усилитель, так как он вносит самый большой вклад по мощности в тракт передаваемого сигнала. Тем не менее, вносить свой вклад в интермодуляцию могут и другие активные устройства, расположенные перед усилителем мощности.

Если два активных устройства генерируют интермодуляционные составляющие примерно одинаковой амплитуды, итоговая интермодуляция будет зависеть от фазовых соотношений отдельных интермодуляционных составляющих. Лучше всего это можно видеть на примере двухтональной модуляции, когда на ИУ подаются два синусоидальных сигнала, и ведется изучение интермодуляционных составляющих третьего порядка. В зависимости от фазовых соотношений между интермодуляционными составляющими обоих устройств, амплитуды могут складываться, что приведет к увеличению результирующих интермодуляционных искажений, либо вычитаться, что приведет к подавлению результирующих интермодуляционных искажений. На рисунке 1 показан пример с двумя синусоидальными сигналами, представляющими интермодуляционные составляющие.



*Рисунок 1 – Усиливающее и ослабляющее взаимодействие двух синусоидальных сигналов*

Феномен подавления интермодуляции (противофазные интермодуляционные составляющие) хорошо известен и используется в методе предуслаживания усилителя, когда между входным сигналом и усилителем помещают нелинейный элемент, который вносит интермодуляционные искажения, близкие к искажениям усилителя, но находящиеся в противофазе к ним. На выходе усилителя данные искажения подавляются, и линейность всей системы повышается.

При измерении интермодуляционных составляющих с помощью анализатора спектра возникает ситуация, похожая на каскадное соединение двух активных устройств. Так как анализатор спектра также содержит такие нелинейные элементы, как входной смеситель или предусилитель, он генерирует собственные интермодуляционные составляющие, которые могут иметь амплитуду, близкую к амплитуде интермодуляционных составляющих, генерируемых ИУ. В зависимости от фазовых соотношений между интермодуляционными составляющими ИУ и анализатора спектра, общие интермодуляционные искажения могут быть сильнее (синфазные интермодуляционные составляющие), либо слабее (противофазные интермодуляционные составляющие) тех искажений, которые на самом деле создает ИУ. Оба случая приводят к возникновению нежелательных искажений при проведении измерений с помощью анализатора спектра, и их следует избегать.

Анализаторы спектра оснащаются механическими ступенчатыми аттенюаторами (после ВЧ-входов), которые позволяют регулировать уровень на входе потенциально-нелинейных устройств, таких как предусилитель или первый смеситель (см. рисунок 2). С помощью настройки уровня на входе первого смесителя соответствующих интермодуляционных искажений можно избежать. В некоторых анализаторах спектра есть дополнительные электронные аттенюаторы, например для повышения скорости переключения. Однако данные аттенюаторы разрабатываются таким образом, чтобы не влиять на общую нелинейность в сигнальном тракте анализатора спектра. Практически все нелинейные компоненты после ступенчатого аттенюатора могут вносить интермодуляционные искажения, хотя основной вклад обычно вносит входной смеситель, даже при использовании предусилителя. В данном случае входной смеситель нагружен уровнем, увеличенным предусилителем.

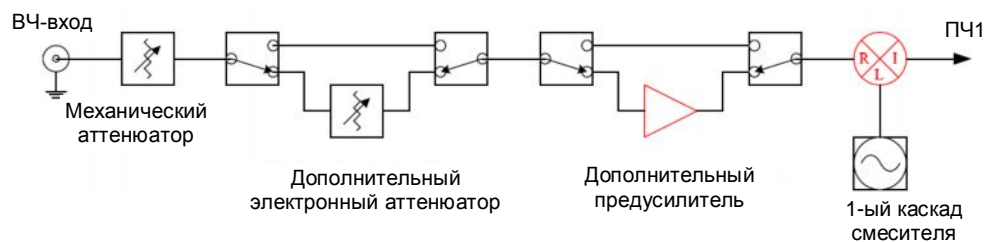


Рисунок 2 – Типичный входной ВЧ-каскад анализатора спектра. Элементы, отмеченные красным, могут создавать интермодуляционные составляющие.

## 1.1 Динамический диапазон

Для заданного уровня мощности измеряемого сигнала есть несколько факторов, которые ограничивают динамический диапазон анализатора спектра. Данные факторы также зависят от характера сигнала:

- Уровень собственных шумов  $P_N$  анализатора спектра для низких уровней мощности
- Компрессия входного смесителя для высоких уровней мощности
- Фазовый шум для слабых сигналов рядом с несущей высокого уровня

При подаче на вход анализатора многотонального сигнала динамический диапазон также могут ограничивать интермодуляционные составляющие. Особенно следует учитывать интермодуляцию третьего порядка, так как она приводит к появлению составляющих с самым высоким уровнем. В технических данных анализатора спектра приведены характеристики для двухтональных интермодуляционных искажений: либо динамический диапазон по интермодуляции для указанного уровня двух CW-несущих с заданной разницей частот, либо так называемую точку пересечения третьего порядка (T.O.I. = *Third Order Intercept point*), также измеряемую для двухтональных сигналов с заданным смещением по частоте.

Точка Т.О.И. – это теоретический уровень мощности, при котором генерируемые интермодуляционные составляющие третьего порядка будут иметь тот же уровень, что и подаваемые CW-сигналы. Т.О.И. можно вычислить следующим образом

$$TOI = P_{in} + P_{\Delta} / 2 \tag{1}$$

где  $TOI$  – точка пересечения третьего порядка в дБмВт,  $P_{in}$  – уровень каждого тона входного двухтонального сигнала в дБмВт,  $P_{\Delta}$  – амплитуда интермодуляционных составляющих по отношению к  $P_{in}$ .

На рисунке 3 показано графическое представление данных величин.



Рисунок 3 – Графическое изображение интермодуляционных составляющих третьего порядка и относящихся к ним параметров

Из-за компрессии в активных устройствах уровень Т.О.И. при реальных измерениях (например, на выходе усилителя) недостижим. Тем не менее, этот уровень является хорошим критерием для расчета динамического диапазона по интермодуляции  $P_{\Delta}$  для заданного уровня двухтонального сигнала по формуле

$$P_{\Delta} = 2(TOI - P_{in}) \tag{2}$$

Амплитуда интермодуляционных составляющих третьего порядка  $P_{IM3}$

$$\begin{aligned} P_{IM3} &= P_{in} - P_{\Delta} \\ &= P_{in} - 2(TOI - P_{in}) \\ &= 3P_{in} - 2TOI \end{aligned} \tag{3}$$

Другим фактором, ограничивающим динамический диапазон, особенно при низких входных мощностях, является уровень собственных шумов анализатора спектра. В технических данных он обозначается параметром DANL (*Displayed Average Noise Floor*, средний уровень собственных шумов).

Отображение всех искажающих факторов на одном рисунке называется *диаграммой динамического диапазона*, она показана на рисунке 4. Для низких уровней мощности динамический диапазон ограничивается уровнем собственных шумов, для высоких уровней – интермодуляционными искажениями третьего порядка. Интермодуляционные искажения второго порядка и фазовый шум также влияют на динамический диапазон. Интермодуляция второго порядка в дальнейшем рассматриваться не будет, так как искажающие составляющие появляются на частотах, далеких от сигнала ( $f_1 + f_2$  и  $f_2 - f_1$ ) и поэтому не влияют на искажения в полосе и коэффициент ACLR. Сумма всех источников искажений в линейной области дает реальный динамический диапазон анализатора спектра. Минимум данной кривой называют *оптимальным уровнем смесителя*. В этой точке достигается максимальный динамический диапазон анализатора спектра. Оптимальный уровень смесителя для заданного входного сигнала можно установить с помощью предусилителя и ступенчатого аттенюатора.

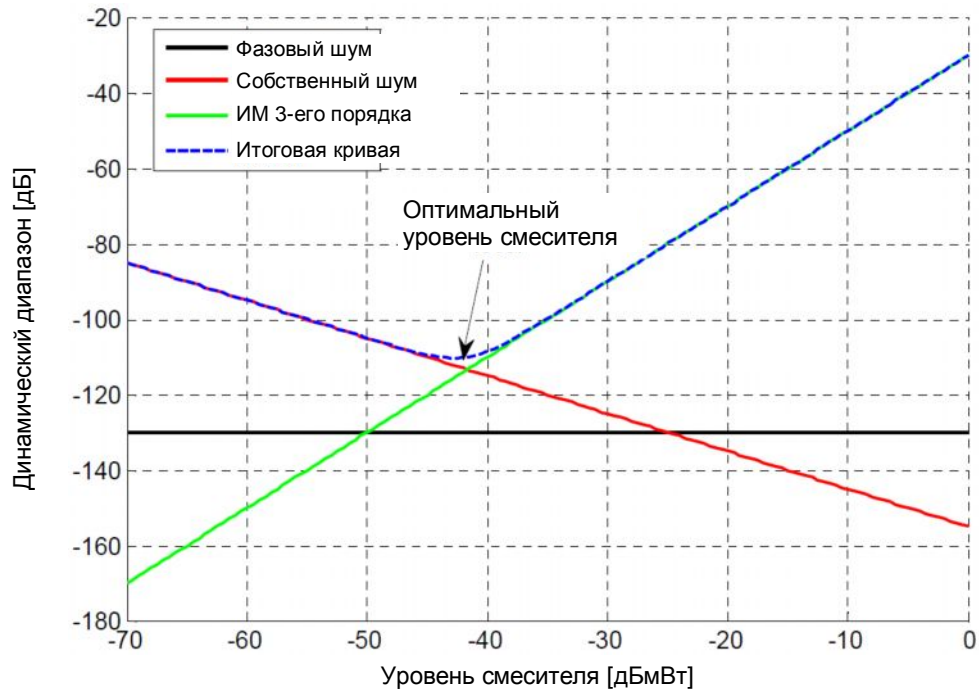


Рисунок 4 – Диаграмма динамического диапазона:  $TOI = 15$  дБмВт,  $DANL = -155$  дБмВт/Гц, фазовый шум = -130 дБн.

Наклон кривой интермодуляции третьего порядка составляет +2, так что при увеличении уровня смесителя на 1 дБ интермодуляционные составляющие третьего порядка увеличиваются на 2 дБ, что приводит к уменьшению динамического диапазона на 2 дБ. С другой стороны, каждое увеличение уровня смесителя на 1 дБ приводит к уменьшению собственных шумов на 1 дБ.

Во время реальных измерений, особенно для широкополосных сигналов, необходимо учитывать увеличение собственных шумов из-за широкой полосы сигнала. Когда рассматривается первый смеситель анализатора, настройки фильтрации не имеют значения, так как смеситель всегда «видит» полную полосу частот, а важна лишь полоса сигнала. Уровень собственных шумов, зависящий от полосы частот, по отношению к уровню смесителя определяется как

$$P_N = [DANL + B - P_{in}] \text{ dB} \quad (4)$$

где  $B$  – полоса частот сигнала в дБ. В результате динамический диапазон уменьшается, а оптимальный уровень смесителя смещается вправо. На рисунке 5 показан пример с  $B = 100$  кГц (50 дБ).

Подробный анализ данной темы можно найти в [1]. Таблица, приведенная в книге, поможет нарисовать диаграмму динамического диапазона на основе технических данных анализатора.

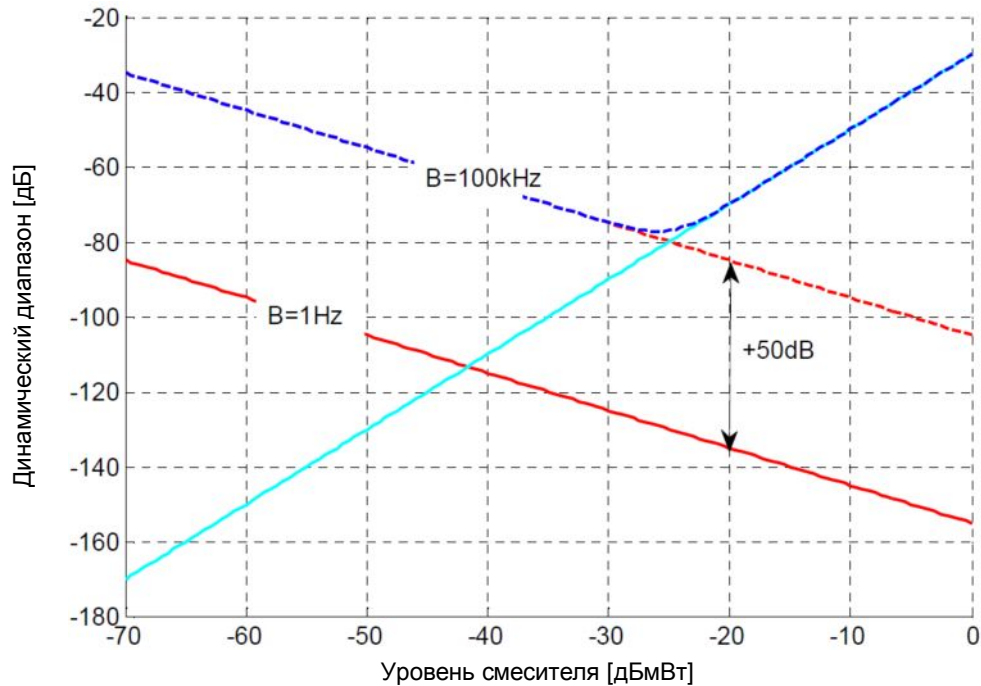


Рисунок 5 – Рост уровня собственных шумов из-за широкополосного сигнала.

## 1.2 Пример двухтонального сигнала

В данном разделе для демонстрации взаимодействия интермодуляционных составляющих ИУ и анализатора спектра используется классический пример измерения двухтонального сигнала. CW-сигналы (непрерывные гармонические колебания) от двух генераторов суммируются и подаются на ИУ, а результирующие интермодуляционные искажения третьего порядка измеряются с помощью анализатора спектра. Данные измерения используются для количественного определения интермодуляционных искажений устройства. Два тона на частотах  $f_1$  и  $f_2$  с одинаковой амплитудой и некоррелированной фазой, с разницей частот  $\Delta f$  создадут интермодуляционные составляющие третьего порядка на частотах  $f_1 - \Delta f$  и  $f_2 + \Delta f$ . Параметр  $P_{\Delta}$  используется для количественной характеристики интермодуляционных искажений. На рисунке 6 показана блок-схема измерительной установки.

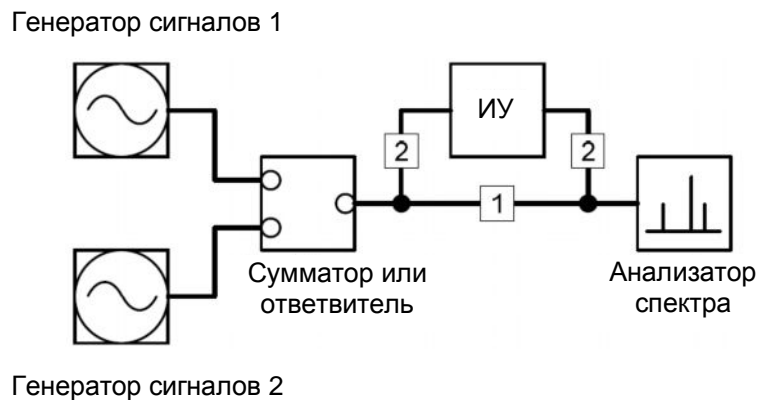


Рисунок 6 – Измерительная установка без ИУ (тракт 1) и с ИУ (тракт 2).



В следующем примере основные составляющие центрированы около частоты 5,2 ГГц ( $\Delta f = 312,5$  кГц), и уровень сигнала каждой из них -6 дБмВт. Для начала изучаются интермодуляционные составляющие анализатора спектра. Поэтому в сигнальном тракте нет ИУ (тракт 1 на рисунке 6). Таким образом, все наблюдаемые на экране анализатора интермодуляционные составляющие создаются первым смесителем анализатора спектра. Для того чтобы убедиться, что наблюдаемые интермодуляционные составляющие генерируются внутри анализатора спектра, можно изменить ослабление на входе. Мощность на входе первого смесителя также поменяется. Если на экране отображаются интермодуляционные составляющие, генерируемые первым смесителем анализатора, тогда **увеличение ослабления на входе уменьшит амплитуду интермодуляционных составляющих** в два раза, так как смеситель будет работать в более линейном диапазоне. На рисунке 7 показан результат таких измерений на анализаторе R&S FSQ26.

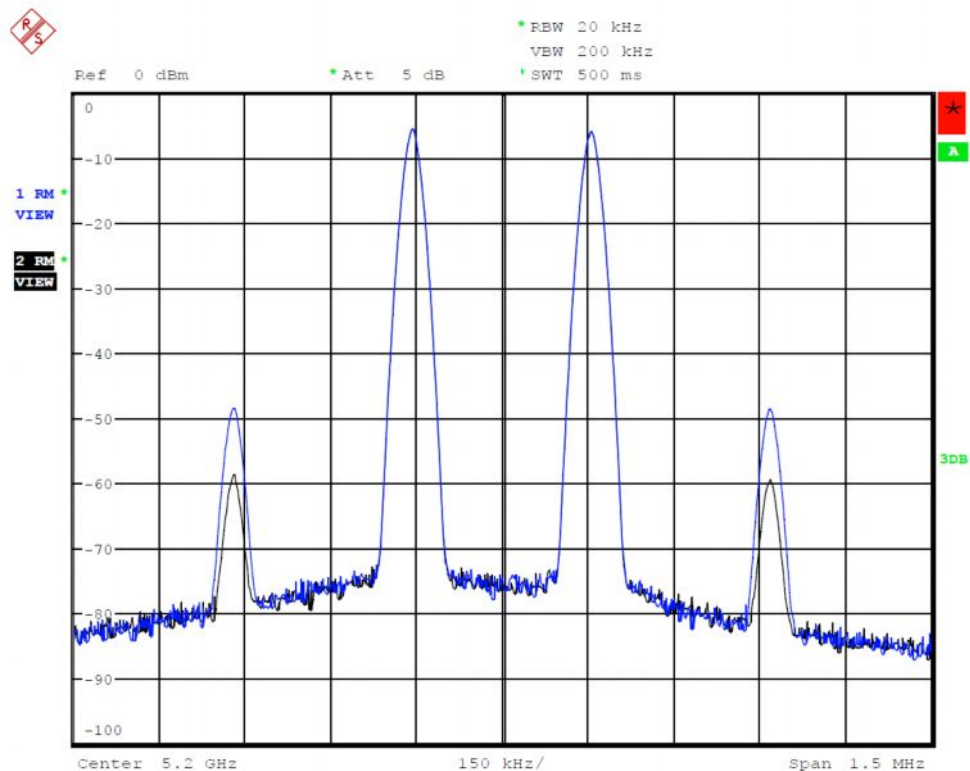
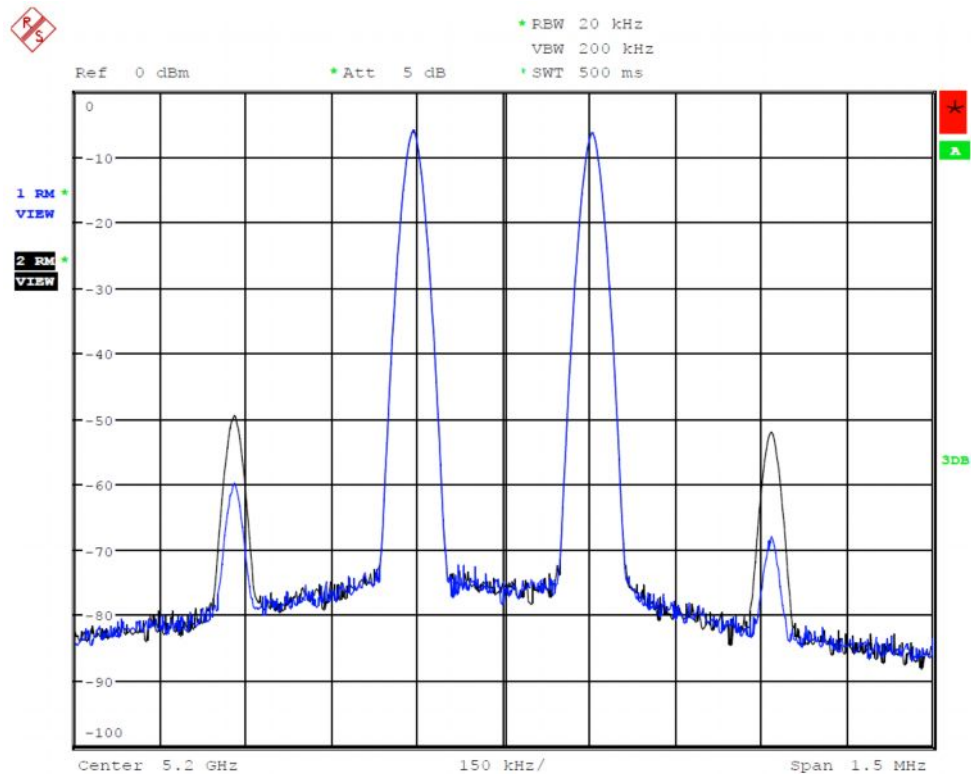


Рисунок 7 – Результат измерения двухтонального сигнала без ИУ (сигнальный тракт 1 на рисунке 6). Увеличение ослабления на входе приводит к уменьшению интермодуляционных составляющих. Синяя кривая: ослабление на входе 0 дБ, черная кривая: ослабление на входе 5 дБ.

На следующем этапе в сигнальный тракт (тракт 2 на рисунке 6) добавляется ИУ (широкополосный усилитель мощности). Теперь интермодуляционные составляющие генерируются и ИУ, и анализатором спектра, которые затем взаимодействуют в последнем. Итоговые сигналы показаны на рисунке 8. Входной уровень анализатора спектра тот же самый, что и в предыдущих измерениях. Если в данной установке **увеличить ослабление на входе, интермодуляционные составляющие также увеличатся**, в отличие от предыдущего измерения, где они уменьшались. Это объясняется тем, что интермодуляционные составляющие подавляют друг друга, так как интермодуляционные составляющие ИУ и анализатора находятся в противофазе. Если увеличить ослабление на входе, анализатор спектра будет вносить меньший вклад в интермодуляционные составляющие и эффект подавления уменьшится.





**Рисунок 8 – Измерения с ИУ (сигнальный тракт 2 на рисунке 6). Наблюдается подавление интермодуляции. При увеличении ослабления на входе также увеличиваются интермодуляционные составляющие, так как уменьшается подавление интермодуляции. Синяя кривая: ослабление на входе 0 дБ, черная кривая: ослабление на входе 5 дБ.**

Возникновение данного эффекта сильно зависит от сочетания ИУ и анализатора спектра, а также от определенного фазового соотношения между их интермодуляционными составляющими. Следовательно, эксперимент с другим типом ИУ или анализатором спектра может привести к усилению интермодуляции. В таком случае будет наблюдаться поведение, сходное с рисунком 7. Интермодуляционные составляющие, генерируемые анализатором спектра, будут уменьшаться с увеличением ослабления до тех пор, пока не останутся только интермодуляционные составляющие, генерируемые ИУ. В любом случае, для обеспечения корректности измерений, следует избегать влияния интермодуляционных составляющих анализатора спектра.

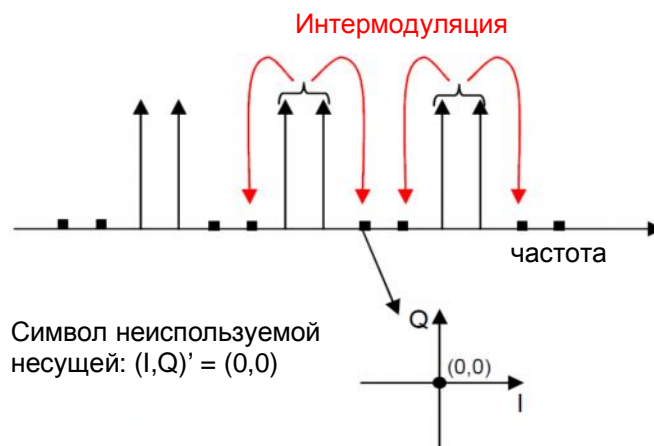
Подавление интермодуляции практически не зависит от мгновенных фазовых соотношений между двумя основными составляющими. Оно, главным образом, определяется внутренними фазами интермодуляционных составляющих обоих устройств, которые зависят от компонентной архитектуры. Кроме того, эффект подавления зависит от частоты, так как фазовые соотношения меняются с частотой. Таким образом, одна и та же установка может показывать различный уровень подавления интермодуляции в зависимости от частоты. Подавление интермодуляционных составляющих приводит к слишком оптимистичным результатам измерения. С другой стороны, синфазное взаимодействие интермодуляционных составляющих приводит к слишком пессимистичным результатам измерения. Это верно для измерений, характеризующих интермодуляционные искажения ИУ, как показано выше, а также для измерения погрешности модуляции и коэффициента ACLR. Пример измерения показателя EVM приведен в следующем разделе.

### 1.3 Пример сигнала OFDM

Для демонстрации влияния интермодуляционных искажений на погрешность модуляции с использованием показателя EVM в данном примере используется OFDM-сигнал. В OFDM-сигнале все поднесущие разделены частотным интервалом  $\Delta f$ . Так что интермодуляционные составляющие любой пары поднесущих появляются рядом с левой и правой поднесущей пары. Таким образом, интермодуляционные искажения сильно влияют на качество OFDM-сигнала. В демонстрационных целях используется сигнал, структура которого показана на рисунке 9. После двух несущих с квадратурной фазовой манипуляцией (QPSK) следуют две неиспользуемые несущие, и такая структура сигналов повторяется несколько раз. Интермодуляционные составляющие пары поднесущих появляются около частот неиспользуемых несущих, слева и справа от пары.

Анализируя диаграмму сигнального созвездия неиспользуемых несущих, можно увидеть искажения сигнала из-за интермодуляционных составляющих. В частности, можно легко визуализировать фазу интермодуляции, которая определяет усиливающее или ослабляющее влияние интермодуляции.

Ожидаемые точки неиспользуемых несущих лежат в начале координат диаграммы сигнального созвездия. Аддитивный шум приводит к разбросу точек относительно начала координат. Интермодуляционные искажения смещают эти точки из начала координат. В реальных OFDM-системах неиспользуемые несущие не анализируются, но в демонстрационных целях на них легко показать эффекты подавления интермодуляции и слишком оптимистичных значений EVM.



**Рисунок 9 – Структура OFDM-несущих с чередующимися парами активных и неактивных несущих. Красные стрелки указывают на положение итоговых интермодуляционных составляющих.**

На рисунке 10 показана диаграмма сигнального созвездия неиспользуемой несущей для трех измерительных установок. Сначала проводят измерения без ИУ (сигнальный тракт 1 на рисунке 6) и с ослаблением на входе 0 дБ (малиновый цвет). Здесь смещенные символы появляются из-за интермодуляционных составляющих анализатора FSQ26. Затем ИУ возвращают в установку (сигнальный тракт 2) и используют ослабление на входе 5 дБ (синий цвет), так что анализатор спектра не влияет на интермодуляционные искажения. В данном случае на результат измерений влияют только интермодуляционные составляющие ИУ. В последнем случае ослабление на входе уменьшают до 0 дБ (красный цвет), и интермодуляционные составляющие ИУ и анализатора взаимодействуют между собой. Из-за того, что интермодуляционные составляющие находятся в противофазе, они ослабляются – наблюдается подавление интермодуляции (по сравнению с рисунком 8). Символы смещаются ближе к идеальному символу в начале координат, что приводит к значительному снижению EVM. Погрешность модуляции ИУ в данном случае была бы переоценена.

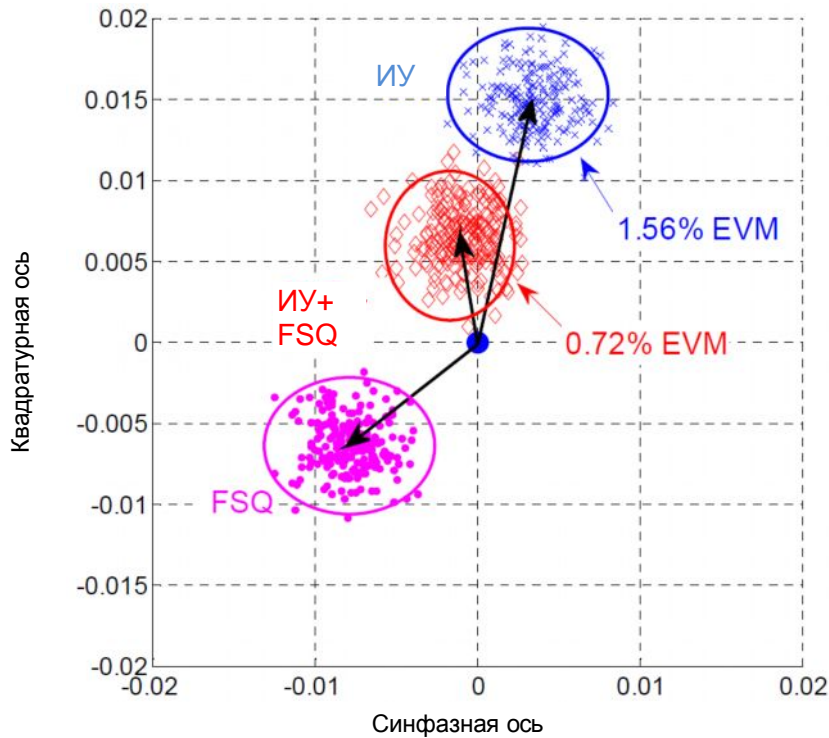


Рисунок 10 – Диаграмма сигнального созвездия неиспользуемой несущей, отображающая смещение символов из-за интермодуляционных искажений для различных измерительных установок. Опорный символ изображен в центре.

## 2 Оценка интермодуляционных искажений

Возможность подавления или усиления интермодуляции появляется, если у ИУ и у анализатора спектра близкие точки Т.О.И., а у интермодуляционных составляющих похожие амплитуды. Истинная амплитуда ИУ  $P_{\Delta}$  будет искажена из-за влияния анализатора спектра. Теперь задача инженеров – выбрать уровень ослабления на входе, чтобы снизить погрешность, вызванную влиянием интермодуляции анализатора, до требуемого уровня.

Не смотря на то, что значение точки Т.О.И. приведено в технических данных прибора, рекомендуется измерить ее фактическое значение с помощью двухтонального сигнала, поскольку у разных приборов значения Т.О.И. могут различаться. В предыдущем примере измеренное значение Т.О.И. у анализатора FSQ26 составило 15 дБмВт, а у ИУ – 10 дБмВт. По формуле (2) амплитуду интермодуляционных составляющих  $P_{\Delta}$  можно вычислить на основе значения Т.О.И.

Для амплитуды на входе, например, в -10 дБмВт анализатор FSQ26 генерирует интермодуляционные составляющие с  $P_{\Delta,SA}=50$  дБ (Т.О.И.=15 дБмВт), а у ИУ  $P_{\Delta,DUT}=40$  дБ (Т.О.И.=10 дБмВт). Интермодуляционные составляющие анализатора спектра, таким образом, всего на 10 дБ меньше, чем интермодуляционные составляющие ИУ, что уже может привести к сильному взаимодействию, как усиливающему, так и ослабляющему, в зависимости от соотношения фаз.

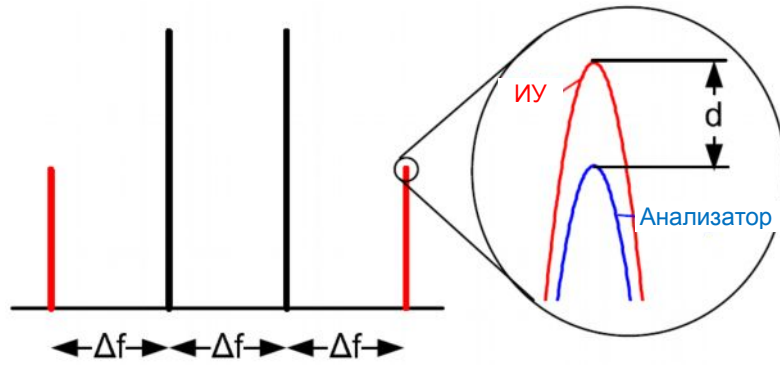


Рисунок 11 – Увеличенное отображение, показывающее разницу в амплитуде интермодуляционных составляющих между анализатором и ИУ

Итоговая погрешность по амплитуде из-за взаимодействия интермодуляционных составляющих анализатора и ИУ определяется как

$$e_A = 20 \log \left( 1 \pm 10^{d/20} \right) dB \tag{5}$$

где  $d$  – отрицательная разница по амплитуде между интермодуляционными составляющими анализатора и ИУ в дБ, -10 дБ в описанном выше примере (см. рисунок 11). Для синфазных интермодуляционных составляющих элементы в уравнении (5) в скобках ( ) складываются, а для противофазных составляющих – вычитаются. Для описанного выше примера получаем (полагаем, что происходит подавление интермодуляции из-за противофазного суммирования)

$$e_A = 20 \log \left( 1 - 10^{-10/20} \right) = -3.3 dB$$

что означает, что амплитуда интермодуляционных составляющих ИУ на 3,3 дБ меньше, чем ожидалось.

Чтобы избежать влияния интермодуляции, необходимо снизить мощность на входе смесителя анализатора и, таким образом, уменьшить амплитуду интермодуляционных составляющих. Это достигается выбором подходящего ослабления на входе. Добавления, например, ослабления 10 дБ в описанный выше пример также снижает  $P_{in}$  на 10 дБ (до значения -20 дБмВт), так что  $P_{A,SA} = 70$  дБ. В дальнейшем это также ослабит интермодуляционные составляющие от ИУ на 10 дБ, так что  $P_{A,DUT} = 50$  дБ. Теперь интермодуляционные составляющие анализатора спектра на 20 дБ слабее составляющих ИУ и погрешность по амплитуде уменьшается до

$$e_A = 20 \log \left( 1 - 10^{-20/20} \right) = -0.9 dB$$

На рисунке 12 показано соотношение между разницей в амплитуде  $d$  и итоговой ошибкой  $e_A$  как для синфазного, так и для противофазного взаимодействия. При одинаковых амплитудах ( $d = 0$  дБ) произойдет полное подавление амплитуд и появится бесконечная погрешность в дБ.

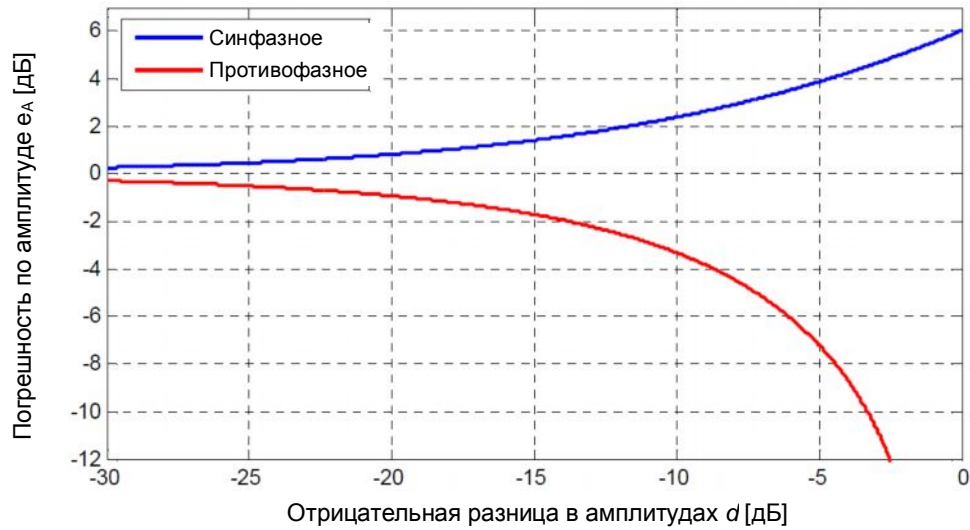


Рисунок 12 – Разница в амплитудах между интермодуляционными составляющими ИУ и анализатора спектра и соответствующая погрешность по амплитуде для интермодуляционных составляющих третьего порядка

Инженер, вероятно, сначала определил бы максимально допустимую погрешность по амплитуде  $e_A$  для своего приложения и посмотрел бы необходимую разницу в амплитудах  $d_{goal}$  по рисунку 12 или вычислил по формуле

- Усиление интермодуляции:  $d_{goal} = 20 \log \left( 10^{e_A/20} - 1 \right) dB$
- Подавление интермодуляции:  $d_{goal} = 20 \log \left( 1 - 10^{e_A/20} \right) dB$

На основе уравнения (2)  $P_{\Delta} = 2(TOI - P_{in})$  амплитуду  $P_{\Delta}$  можно вычислить для ИУ и анализатора спектра. Если текущая разница в амплитудах  $d_{curr} = P_{\Delta,SA} - P_{\Delta,DUT}$  меньше, чем  $d_{goal}$ , нужно снизить уровень смесителя, чтобы также снизить уровень интермодуляционных составляющих анализатора. В связи с этим оптимальный уровень смесителя сдвигается к более низким значениям. Это смещение можно обозначить как эффективное значение T.O.I., которое меньше на  $d/2$

$$TOI_{eff} = TOI - d_{goal} / 2 \quad (6)$$

Например, если  $d_{goal}=20$  дБ,  $d_{curr}=10$  дБ и  $TOI = 15$  дБмВт, эффективное значение  $TOI$  будет 5 дБмВт. Диаграмму динамического диапазона теперь можно перерисовать с новыми значениями (см. рисунок 13). Видно, как условия на требуемую погрешность по амплитуде ( $d_{goal}$ ) смещают кривую интермодуляционных составляющих третьего порядка вверх, и как, соответственно, оптимальный уровень смесителя сдвигается к более низкому значению. Тем не менее, при этом также уменьшается динамический диапазон.

Дополнительное ослабление, которое необходимо добавить для снижения уровня смесителя на требуемую величину, рассчитывается следующим образом

$$Att = (d_{goal} - d_{curr}) dB \quad (7)$$

В описанном выше примере оно составляет 10 дБ.



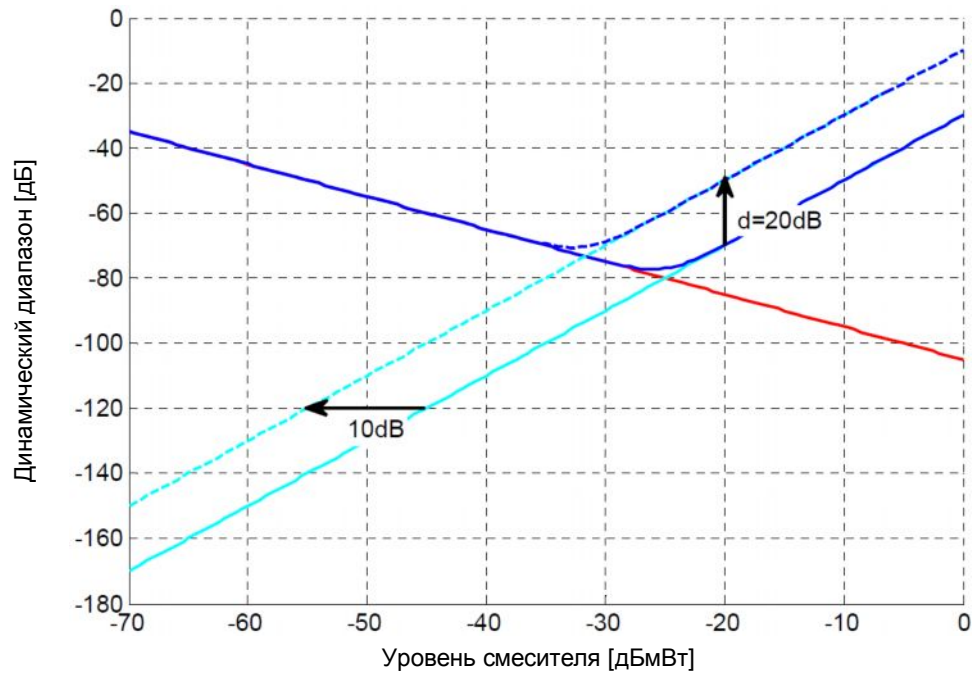


Рисунок 13 – Диаграмма динамического диапазона с дополнительным ослаблением 10 дБ для достижения погрешности по амплитуде  $-0,9$  дБ. Происходит соответствующее уменьшение динамического диапазона (полоса частот сигнала 100 кГц,  $TOI_{eff} = 5$  дБмВт).

### 3 Заключение

Взаимодействие между интермодуляционными составляющими ИУ и анализатора могут привести к искажению результатов измерений, не только для интермодуляционных измерений, но также и для измерений погрешности модуляции или коэффициента ACLR. В случае если интермодуляционные составляющие ИУ и анализатора имеют близкую амплитуду, то необходимо предпринять дополнительные меры, так как это может привести к искажению результатов измерений. В зависимости от того, происходят ли противофазные или синфазные взаимодействия интермодуляции, отображаемый результат может быть хуже либо лучше, чем он есть на самом деле. Для снижения влияния анализатора на интермодуляционные искажения необходимо понизить уровень смесителя для достижения приемлемой ошибки. Для этого необходимо добавить дополнительное ослабление на входе. Чтобы удостовериться, что для данной измерительной установки влияние анализатора на интермодуляционные искажения незначительно, можно использовать двухтональные измерения для проверки подавления или усиления интермодуляции. Таким способом можно оценить погрешность по амплитуде, вызванную взаимодействием интермодуляционных составляющих.

Различная архитектура анализаторов спектра определяет предрасположенность к интермодуляционным искажениям. Анализаторы типа R&S FSW или R&S FSQ8 менее склонны к добавлению интермодуляционных составляющих к измерениям, так как у них значительно выше уровень T.O.I. (порядка 20 дБмВт и 23 дБмВт, соответственно). Для этих анализаторов потребуется меньшее ослабление на входе для защиты входного смесителя, что также приводит к повышению их динамического диапазона.

## 4 Литература

- [1] *Fundamentals of Spectrum Analysis*. C. Rauscher, Rohde & Schwarz, 2001
- [2] *Measurement of Harmonics using Spectrum Analyzers*. Application Note 1EF78, 2012
- [3] *Intermodulation Distortion Measurements on Modern Spectrum Analyzers*. Application Note 1EF79, 2012

## 5 Информация для заказа

Обозначение	Тип	Код заказа
R&S FSW8	Анализатор спектра и сигналов от 2 Гц до 8 ГГц	1312.8000.08
R&S FSW13	Анализатор спектра и сигналов от 2 Гц до 13,6 ГГц	1312.8000.13
R&S FSW26	Анализатор спектра и сигналов от 2 Гц до 26,5 ГГц	1312.8000.26
R&S FSW43	Анализатор спектра и сигналов от 2 Гц до 43,5 ГГц	1312.8000.43
R&S FSQ8	Анализатор сигналов от 20 Гц до 8 ГГц	1313.9100.08
R&S FSQ26	Анализатор сигналов от 20 Гц до 26,5 ГГц	1313.9100.26
R&S FSQ40	Анализатор сигналов от 20 Гц до 40 ГГц	1313.9100.40



## О компании Rohde & Schwarz

Rohde & Schwarz представляет собой независимую группу компаний, специализирующуюся на производстве электронного оборудования. Rohde & Schwarz является ведущим поставщиком контрольно-измерительных систем и приборов, оборудования для теле- и радиовещания, систем радиомониторинга и радиопеленгации, а также систем профессиональной радиосвязи специального назначения. Rohde & Schwarz успешно работает уже 75 лет, представительства и сервисные центры компании находятся в более чем 70 странах. Головной офис компании расположен в Мюнхене, Германия.

## Обязательства по охране окружающей среды

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



## Контакты в регионах

Европа, Африка, Ближний Восток  
+49 89 4129 12345

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

Северная Америка

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

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

Латинская Америка

+1-410-910-7988

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

Азия/Тихий океан

+65 65 13 04 88

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

Китай

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

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

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

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

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

Mühlendorfstraße 15 | D - 81671 München

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

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