

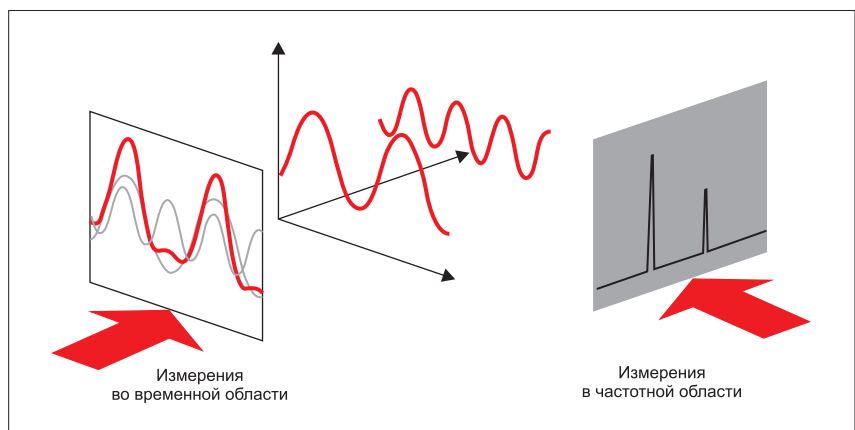
# РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОВЫШЕНИЮ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ СПЕКТРА

Советы тем, кто хочет повысить точность измерений и избежать серьезных ошибок при измерении спектра. ||

**А**нализатор спектра или анализатор сигналов — главный и практически незаменимый для радиоинженера измерительный прибор, используемый на всех этапах разработки и эксплуатации изделий. На самом общем уровне его можно представить как селективный вольтметр, отображающий среднееквадратичное значение (СКЗ) синусоидального сигнала. Его точность, быстродействие и другие характеристики играют очень важную роль, поскольку они влияют на эффективность тестирования и, следовательно, на качество проектируемой и выпускаемой продукции.

## ЗАЧЕМ НУЖНЫ ИЗМЕРЕНИЯ СПЕКТРА?

Измерения в частотной области имеют большое значение. С их помощью определяются частотные составляющие сигнала. В левой части рис. 1 показано представление сложного сигнала во временной области, а в правой — в частотной. Из показанного на рисунке представления во временной области ясно только то, что исследуемый сигнал не является



▲ Рис. 1. Связь между представлениями сигнала во временной и частотной областях

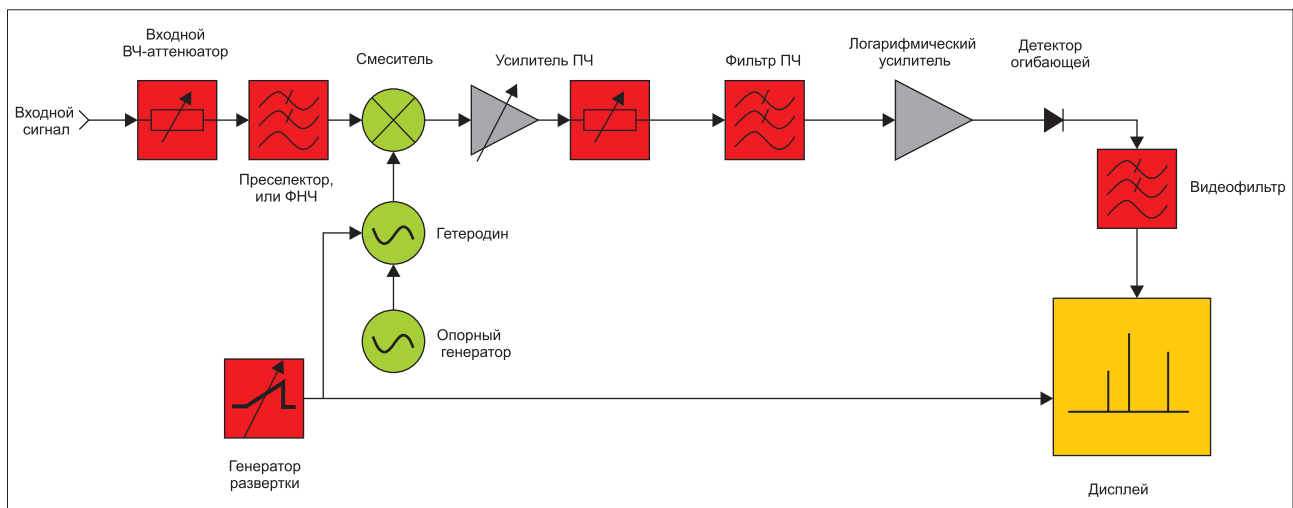
чисто синусоидальным. А по представлению в частотной области видно, что сигнал складывается из двух синусоид соответствующей частоты и амплитуды.

Таким образом, представление в частотной области чрезвычайно важно для специалистов в области беспроводных технологий, поскольку оно позволяет измерять параметры устройств, систем и сигналов для оценки таких ключевых

факторов как линейность, искажения, шумы и паразитные излучения.

## СРАВНЕНИЕ АНАЛИЗАТОРОВ СПЕКТРА И СИГНАЛОВ

Основная задача анализатора спектра — измерение и отображение амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) известных и неизвестных ВЧ- и СВЧ-сигналов. С появлением цифровых



▲ Рис. 2. Структурная схема классического анализатора спектра

технологий обработки сигналов современные анализаторы спектра получили множество новых возможностей. После оцифровки сигнала информация о его фазе и амплитуде сохраняется и может отображаться прибором. Структурная схема прибора показана на рис. 2. Анализатором сигналов, как правило, называется прибор с архитектурой анализатора спектра с полностью цифровым трактом промежуточной частоты (ПЧ), осуществляющим сложную векторную обработку сигналов во временной и частотной областях, например для анализа цифровой модуляции и заданных временных интервалов.

### ПОГРЕШНОСТИ

При выборе анализатора спектра следует руководствоваться диапазонами амплитуд и частот измеряемых сигналов. Чтобы понять, насколько хорошо прибор станет выполнять эти измерения, следует обратиться к его точностным характеристикам. Все анализаторы спектра при проведении практических измерений обладают различными показателями как по абсолютной, так и по относительной погрешности.

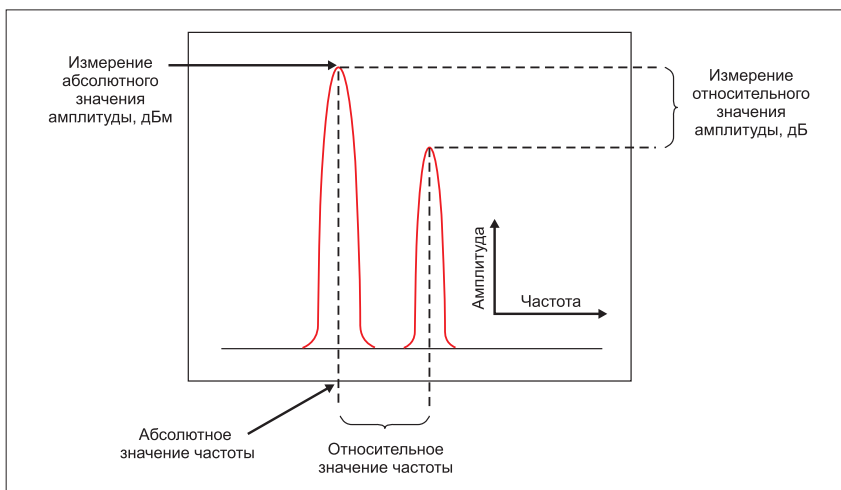
На рис. 3 показаны различия между абсолютными и относительными значениями, которые измеряются с помощью простого и разностного маркеров, соответственно. Например, измерение частоты или уровня мощности несущей (левый пик) является абсолютным, а измерение разности амплитуд несущей и второй гармоники является относительным.

#### Погрешность по амплитуде

Все современные анализаторы спектра имеют встроенный калибратор, подающий опорный сигнал заданной амплитуды и частоты. Измерение абсолютного значения амплитуды по факту является измерением относительно амплитуды этого опорного сигнала. Чтобы использовать точностные характеристики опорного сигнала для других частот и амплитуд, следует учесть влияние остальных компонентов анализатора. В таблице представлены значения погрешности по амплитуде для ряда компонентов анализаторов спектра.

В анализаторах спектра используется опорный сигнал 50 МГц. На этой частоте абсолютная погрешность прибора минимальна. Например, высокопроизводительный анализатор сигнала серии X на опорной частоте обладает минимальной погрешностью по амплитуде  $\pm 0,24$  дБ.

При выполнении относительных измерений входного сигнала абсолютные значения не играют роли. Предположим, например, что требу-



▲ Рис. 3. Измерение абсолютных и относительных значений

ется установить, насколько амплитуда определенной гармоники отличается от амплитуды основной гармоники. Наихудшим будет случай, когда амплитуда основной гармоники является наибольшей, а амплитуда выбранной гармоники — наименьшей из всех представленных в отображаемом спектре. Если погрешность измерения абсолютного значения амплитуды каждой гармоники составляет  $\pm 0,5$  дБ, то погрешность измерения относительного значения вдвое больше, т. е. 1 дБ.

#### Погрешность по частоте

Абсолютная погрешность по частоте часто описывается как точность отсчета частоты и характеризует центральную частоту и частоты пуска, останова и маркера. Погрешность полосы обзора играет роль только при выполнении относительных измерений.

Погрешность по частоте рассчитывается как сумма погрешностей, перечисленных в техническом описании анализатора. К ним относятся погрешность опорной частоты, погрешность полосы обзора и погрешность центральной частоты полосы разрешения. Современные анализаторы могут измерять частоту с точностью до 0,1%, чего вполне достаточно для беспроводных систем связи и разных приложений.

### КАК ПОВЫСИТЬ ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ?

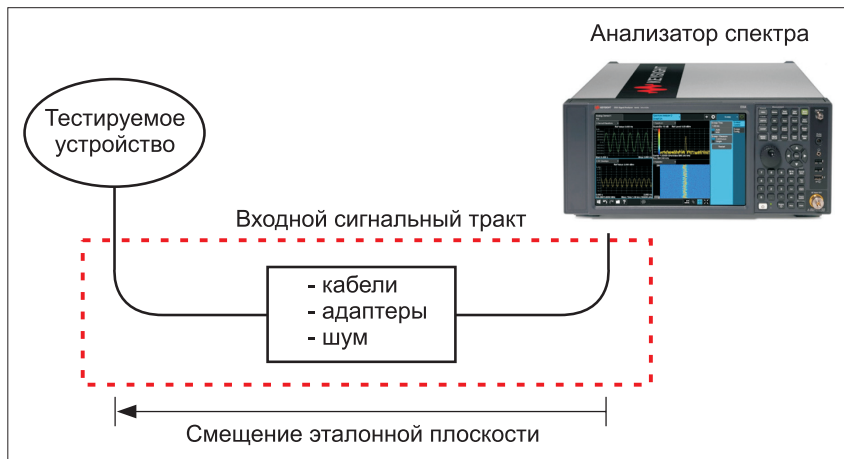
Прежде чем начать любое измерение, следует проверить, не изменилось ли состояние основных настроек тракта — ВЧ-аттенюатора, полосы разрешения или уровня опорного сигнала. Если это так, то в результате измерения попадут все связанные с этими установками погрешности. В некоторых случаях можно снизить одну погрешность за счет другой. Например, можно выбрать такое сочетание настроек уровня опорного сигнала и шкалы дисплея, при котором обеспечивается максимальная точность. Рассмотрим ряд полезных советов о том, как обеспечить точные измерения спектра.

#### Входной сигнальный тракт

Следует уделить особое внимание элементам, соединяющим тестируемое устройство (ТУ) с анализатором, т. е. кабелям (длина, тип, качество кабеля и разъемов) и адаптерам, показанным на рис. 4. Эти элементы сигнального тракта могут ухудшить или изменить исследуемый сигнал. Для устранения таких нежелательных эффектов применяется встроенная функция коррекции амплитуды при использовании источника сигнала и измерителя мощности. Данная процедура смещает эталонную

Таблица. Типовые значения погрешности по амплитуде для компонентов общераспространенных анализаторов спектра

Погрешность по амплитуде ( $\pm$ дБ)	
Измерения относительных значений	
Погрешность переключения ВЧ-аттенюатора	0,18–0,7
Погрешность АЧХ	0,38–2,5
Погрешность уровня опорного сигнала (аттенюатор ПЧ/регулирование усиления)	0,0–0,7
Погрешность переключения полосы разрешения	0,03–1,0
Погрешность шкалы дисплея	0,07–1,15
Измерения абсолютных значений	
Погрешность калибратора	0,24–0,34



▲ **Рис. 4.** Качество соединения тестируемого устройства (ТУ) с анализатором может оказать значительное влияние на точность и воспроизводимость измерений, что особенно важно с повышением частоты

плоскость от входного разъема анализатора к ТУ. Поправочные значения для различных комбинаций кабелей и адаптеров можно сохранять.

#### Уход за разъемами

Правильное обращение с разъемами, включая соблюдение заданного момента затяжки, обеспечивает минимальные потери, хорошее согласование импедансов и воспроизводимость измерений, особенно на высоких частотах.

#### Использование аттенуаторов для лучшего согласования

Для уменьшения погрешности рассогласования следует улучшить значения коэффициента согласования и коэффициентов отражения источника сигнала и анализатора. Следует избегать установки входного аттенуатора анализатора на 0 дБ, поскольку при такой настройке рассогласование является максимальным. Для наиболее точного измерения амплитуды входной аттенуатор устанавливается не менее чем на 10 дБ.

#### Повышение чувствительности при измерении низкоуровневых сигналов

Для измерения низкоуровневых сигналов следует повысить чувствительность анализатора. С этой целью входное ослабление минимизируется, сужается поло-

са разрешающих фильтров и используется предусилитель. В результате уменьшается средний уровень собственных шумов системы (DANL), и появляется возможность выделить слабые сигналы на фоне шума, что обеспечивает точное измерение. Максимальной чувствительности можно добиться, используя малошумящий предусилитель с высоким коэффициентом усиления.

#### Измерения модулированных сигналов

При измерении модулированных сигналов следует установить полосу обзора такой, чтобы она захватывала боковые полосы исследуемого спектра. В противном случае мощность сигнала измеряется неточно, поскольку измерение не охватывает весь спектр. Разумным решением является интеграция результатов измерений, выполненных во многих точках спектра, с узкой полосой разрешения, что очень удобно при работе с близко расположенными по частоте сигналами с цифровой модуляцией.

#### Погрешность по частоте

Точность индикации частоты маркера зависит от калибровки отображения частоты на дисплее, положения маркера на дисплее и выбранного количества отображаемых точек. Сужение полос обзор-

ра и уменьшение разрешения по полосе пропускания минимизирует влияние этих факторов и облегчает установку маркера на пик в спектре.

#### Скорость развертки

Скорость развертки обычно пропорциональна квадрату полосы разрешающего фильтра. Чем шире последняя, тем быстрее происходит свипирование по сравнению с настройкой более узкой полосы разрешения.

#### Точность калибратора

Вместо встроенного калибратора рекомендуется использовать более стабильный внешний калибратор или с частотой, приближенной к частоте исследуемого сигнала.

#### Продолжительность прогрева

Прежде чем выполнить измерения сразу после включения прибора, следует знать, что его характеристики зависят от продолжительности прогрева. Например, анализатор Keysight серии X требует пятиминутного прогрева для соответствия характеристикам, указанным производителем.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ни один прибор в мире не может измерять с абсолютной точностью. В результатах измерений всегда присутствует погрешность. Чем она меньше, тем точнее прибор. Для правильного выполнения измерений крайне необходимо знать о существовании погрешности, уметь ее оценивать и учитывать. Сочетание оптимальных способов выполнения измерений с полезными функциональными особенностями анализатора поможет минимизировать ошибки и ускорить тестирование.

Подробнее об оптимизации анализаторов спектра или сигналов для более точного и быстрого выполнения измерений см. в [1].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. <http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5952-0292.pdf>.