

# ДИНАМИЧЕСКИЙ ДИАПАЗОН – ПОНЯТИЕ РАСПЛЫВЧАТОЕ?

Д.Жуге, О.Туркалов turkalov@dipaul.ru

Одна из уникальных особенностей устройств, выпускаемых крупным производителем контрольно-измерительного оборудования – компанией Crystal Instruments (США), – их очень широкий динамический диапазон: 150 дБ относительно максимального уровня сигнала. Столь высокие характеристики впервые достигнуты в компактных и недорогих устройствах. Сигналы, которые различаются по уровню на порядки – от максимума в 10 В до нескольких микровольт, – измеряются одновременно без перенастройки. Благодаря этому подготавливать и выполнять измерения оказывается значительно проще, чем при использовании приборов с более узким динамическим диапазоном. Но зачастую само понятие "динамический диапазон" трактуется по-разному. В данной статье разъясняется этот термин и описываются различные методы его оценки, в том числе тот, который применяет компания Crystal Instruments.

## ДИНАМИЧЕСКИЙ ДИАПАЗОН – ПРОБЛЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Одна из важнейших характеристик системы динамических измерений – динамический диапазон. Если он слишком узок, сильные сигналы ограничиваются и искажаются, а слабые тонут в собственном шуме системы. Шум – неотъемлемый атрибут электронных схем, предназначенных для усиления и формирования сигналов от первичных измерительных преобразователей. Максимальное расширение динамического диапазона – задача первоочередной важности в приборостроении, поскольку от этого зависит возможность точного одновременного измерения как слабых, так и сильных сигналов.

Восприятие данной характеристики осложняется тем, что производители определяют и измеряют ее по-разному. Их можно понять. Ведь общепринятой технической формулировки, раскрывающей содержание динамического диапазона, не существует. В общем случае он расплывчато характеризуется как отношение наибольшего и наименьшего значений сигнала,

которые система способна точно измерить в один и тот же момент времени. Такое определение вызывает несколько вопросов.

1. Что значит "в один и тот же момент времени"? Сравниваем амплитуды синхронизированных слабого и сильного сигналов или рассматриваем несинхронизированные сигналы в один и тот же момент времени, но в разных фазах (в этом случае разница их уровней будет значительно изменяться со временем)?
2. Что значит "наибольшее значение сигнала"? Известны три общеупотребительные меры наибольшего значения сигнала, и каждая из них уместна в определенном контексте:
  - размах амплитуды (peak-to-peak, full-scale range) – разность между двумя крайними значениями сигнала;
  - амплитуда (zero-to-peak) – разность между средним и амплитудным значениями сигнала;
  - действующее значение (RMS full-scale) – среднеквадратичное значение сигнала (для синусоидального сигнала составляет 0,707 от его амплитуды).

3. Что значит "наименьшее значение сигнала"? Уровень шума? Рассматривается узкая фиксированная полоса частот или же вся полоса пропускания устройства? Это важно, поскольку измеренный среднеквадратичный уровень шума зависит от полосы частот, в которой он измеряется. Для правильной интерпретации паспортного значения динамического диапазона необходимо разобратся в этих вопросах и выяснить, как производитель измеряет величину, чтобы можно было сравнивать между собой разные устройства.



Рис.2. Виброконтроллер Spider 80x (отдельно и в составе шасси)

### ДИНАМИЧЕСКИЙ ДИАПАЗОН ОТНОСИТЕЛЬНО МАКСИМАЛЬНОГО УРОВНЯ СИГНАЛА

При испытаниях своих приборов – анализатора сигналов CoCo-80 (рис.1) и виброконтроллеров Spider 81/81b/80x (рис.2) – компания Crystal Instruments применяет одно из наиболее распространенных определений – динамический диапазон относительно

максимального уровня сигнала (dBFS), измеряемый в децибелах (дБ):

$$\text{dBFS} = 20 \cdot \lg \left( \frac{V_{FS}}{V_N} \right),$$

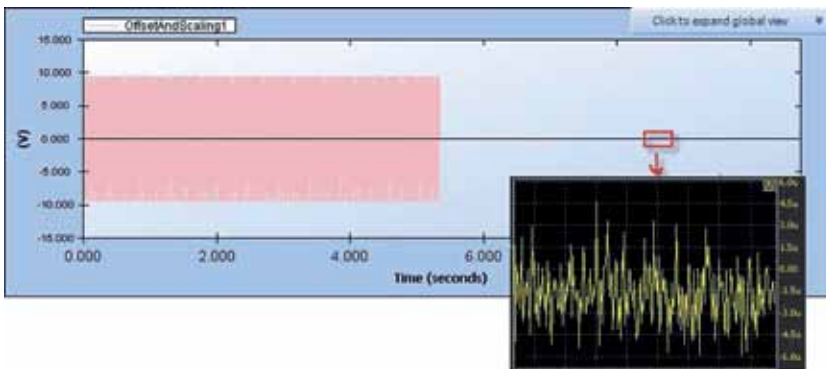
где  $V_{FS}$  – максимальный размах амплитуды измеряемого сигнала,  $V_N$  – действующее значение напряжения собственного шума системы (обычно измеряется с заглушенным входом и заземлением).

В системе регистрации данных dBFS представляет собой частотно-зависимую переменную величину: чем шире полоса пропускания прибора, тем уже динамический диапазон (меньше значение dBFS). Объясняется это тем, что для шума обычно характерно равномерное распределение спектральной плотности мощности. Поэтому, чем шире участок спектра, на котором рассчитывается действующее значение напряжения шума  $V_N$ , тем больше это значение. Соответственно, можно искусственно завязать dBFS, сузив полосу частот, в которой выполняется измерение.

Параметр dBFS измеряется либо во временной, либо в частотной области, при этом результаты измерений



Рис.1. Анализатор сигналов CoCo-80



**Рис.3.** Длительная сигналограмма во временной области с шумовым участком, представленным в увеличенном масштабе. Частота дискретизации равна 1 кГц

будут неодинаковыми. В первом случае знаменатель формулы dBFS представляет собой среднеквадратичное значение шумового сигнала в широкой полосе частот, а во втором – мощность шумового сигнала на конкретных частотах. Если распределение спектральной плотности мощности шума в системе равномерное, то в частотной области значение  $V_N$  будет ниже, а dBFS – выше.

**ИЗМЕРЕНИЕ dBFS ВО ВРЕМЕННОЙ ОБЛАСТИ**

Рассмотрим измерение dBFS во временной области на примере прибора CoCo-80. Сначала на его вход было подано синусоидальное напряжение амплитудой 10 В, что соответствует максимальному уровню входного сигнала (рис.3). Затем во время регистрации этого сигнала вход прибора был отсоединен и на него установлена заглушка. Соответственно, во второй части сигналограммы регистрировался только собственный шум системы.

Значения dBFS для различных частот дискретизации

Частота дискретизации, кГц	102,4	51,2	12,8	1	0,1
Действующее значение напряжения шума, мкВ	9,50	3,12	3,51	1,81	0,54
dBFS, дБ	120,44	130,12	129,08	134,85	145,37



**Рис.4.** Измерение уровня собственного шума в частотной области на основе метода БПФ

С помощью программного обеспечения было определено действующее значение шума – 1,81 мкВ. Следовательно, для динамического диапазона получаем:

$$dBFS = 20 \cdot \lg\left(\frac{10V}{1,81 \text{ мкВ}}\right) = 134,84 \text{ дБ.}$$

Описанное выше измерение было повторено при различных частотах дискретизации, в результате были получены значения действующих напряжений шума и dBFS (см. таблицу). Как видно из таблицы, dBFS зависит от частоты дискретизации.

**ИЗМЕРЕНИЕ dBFS В ЧАСТОТНОЙ ОБЛАСТИ**

Теперь рассмотрим уровень собственного шума прибора в частотной области. В этом режиме можно воспользоваться функцией автоматического измерения спектральной плотности мощности с градуировкой отсчетной шкалы в децибелах относительно максимального уровня сигнала. Поскольку максимальная амплитуда входного сигнала анализатора CoCo-80 составляет 10 В, по этой шкале синусоидальный сигнал амплитудой 10 В даст пик с уровнем 0 дБ.

При установленной на входе прибора 50-омной заглушке уровень собственных шумов прибора оказывается ниже –150 дБ (рис.4). Автоматическое измерение спектральной плотности мощности было выполнено на основе метода БПФ по 4096 точкам с 64-кратным усреднением спектра.

Как видим, при измерении в частотной области значение dBFS оказывается выше, чем во временной области. Это связано с тем, что в первом случае синусоидальный сигнал максимальной амплитуды сравнивается с собственным шумом на отдельных частотах, а не с суммарным шумом во всей полосе пропускания. Во временной области синусоидальный сигнал амплитудой 1 мкВ потонул бы в шуме, а в частотной области он оказывается виден после усреднения.

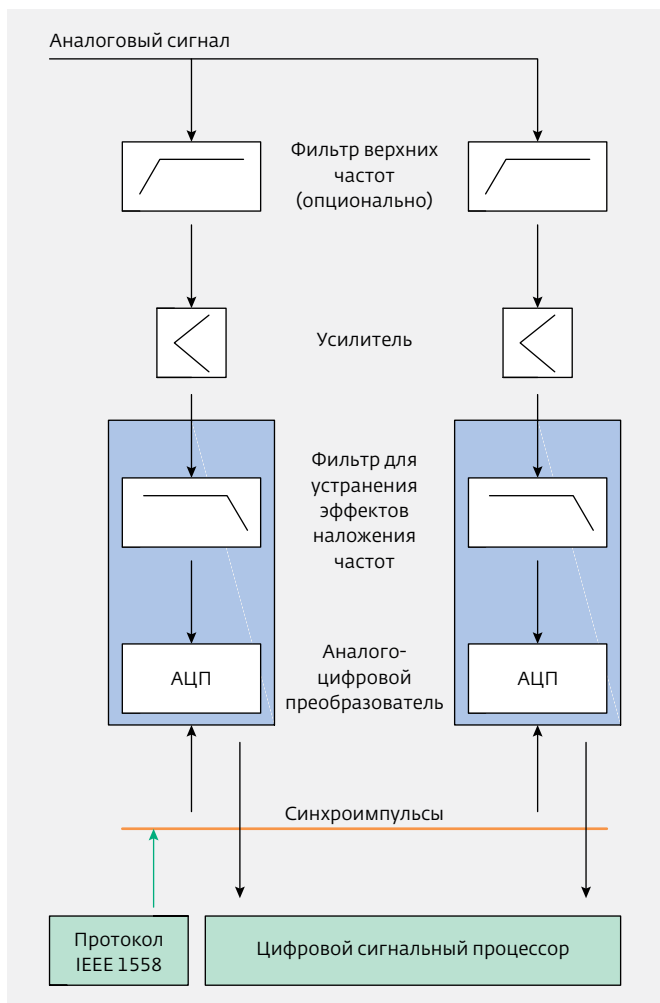


Рис.5. Блок-схема технологии обработки сигналов

Подводя итоги, можно сказать, что динамический диапазон – понятие расплывчатое и числовое значение этой характеристики различается в зависимости от метода ее измерения. Для CoCo-80 динамический диапазон относительно максимального уровня сигнала (dBFS) при измерении во временной области составляет 130 дБ, а в частотной – 150 дБ.

### КАК ДОСТИГАЕТСЯ ШИРОКИЙ ДИНАМИЧЕСКИЙ ДИАПАЗОН?

Столь широкий динамический диапазон в устройствах компании Crystal Instruments достигается за счет применения уникальной патентованной технологии с использованием двух аналого-цифровых преобразователей (АЦП) в каждом измерительном канале (рис.5).

Упрощенно эту технологию можно описать следующим образом. Входной сигнал направляется параллельно в два канала. В первом стоит усилитель с малым коэффициентом усиления, а во втором – с очень большим (например, 1024). В каждом канале есть АЦП. После аналого-цифрового преобразования сигналы поступают в цифровой сигнальный процессор, который их обрабатывает и собирает в единый сигнал. При этом, если входной сигнал после усиления оказывается в пределах диапазона второго канала, в качестве выходного выбирается сигнал из этого канала. В противном случае на выход поступает сигнал из первого канала.

Благодаря широкому динамическому диапазону каждого входа, обеспечиваемому описанной технологией, необходимость в настройке чувствительности (диапазона входных напряжений) практически отпадает. ●

## ГОТОВИТСЯ К ИЗДАНИЮ



### РУКОВОДСТВО ПО ИЗМЕРЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ СВЧ ЭЛЕМЕНТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ НОВЕЙШИХ МЕТОДОВ ВЕКТОРНОГО АНАЛИЗА ЦЕПЕЙ

Джоэль П. Дансмор

Эта книга представляет собой совокупность базовых и передовых понятий теории и практики. К сожалению, границы этих понятий размыты и зависят в значительной степени от уровня образования и опыта читателя. Прежде всего, эта книга о методах выполнения измерений, но в то же время в ней содержится масса информации о характеристиках устройств. Эта информация будет полезна и для проектировщика, и для инженера-испытателя, поскольку одна из целей тестирования устройства состоит в том, чтобы установить характеристики, которые не следуют из упрощенных моделей, обычно используемых для этих устройств.

М.: Техносфера, 2015. – Ок. 560 с.  
Переводное издание  
формат 70 × 100 / 16  
переплет

### КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

✉ 125319, Москва, а/я 91; ☎ (495) 956-3346; ☎ (495) 234-0110; [knigi@technosfera.ru](mailto:knigi@technosfera.ru), [sales@technosfera.ru](mailto:sales@technosfera.ru)