

Особенности применения анализаторов спектра на БПФ SR760, SR770, SR780 и SR785

Что такое анализатор спектра на БПФ?

Анализаторы спектра на БПФ, SR760, SR770, SR780 и SR785, принимают изменяющийся во времени входной сигнал, как вы бы видели это на экране осциллографа, и вычисляют его частотный спектр.

Теорема Фурье утверждает, что любая форма сигнала во временной области может быть представлена взвешенной суммой синусов и косинусов. Анализатор спектра на БПФ оцифровывает входной сигнал, вычисляет величину его синусной и косинусной составляющих и отображает спектр этих измеренных частотных составляющих.

Зачем смотреть на спектр сигнала?

Во-первых, некоторые измерения, которые очень сложны во временной области, очень просты в частотной области. Рассмотрим измерение гармонических искажений. Трудно количественно определить искажение синусоидальной волны, глядя на сигнал на осциллографе. Когда этот же сигнал отображается на анализаторе спектра, гармонические частоты и амплитуды отображаются с удивительной четкостью. Другой пример-анализ шума. Глядя на выходной шум усилителя на осциллографе, в основном измеряется только общая амплитуда шума. На анализаторе спектра отображается шум в зависимости от частоты. Возможно, что усилитель имеет проблемы только в определенных частотных диапазонах. Во временной области было бы очень трудно сказать об этом.

Многие из этих измерений когда-то проводились с помощью аналоговых анализаторов спектра. Попросту говоря, для выделения интересующих нас частот использовался аналоговый фильтр. Мощность сигнала, прошедшего через фильтр, измерялась для определения напряженности сигнала в определенных частотных диапазонах. Настроив фильтры и повторив измерения, можно было получить спектр.

Анализатор на БПФ

Анализатор спектра на БПФ работает совершенно иначе. Входной сигнал оцифровывается с высокой частотой дискретизации, аналогично цифровому осциллографу. Теорема Найквиста (у нас теорема Котельникова) гласит, что до тех пор, пока частота дискретизации превышает в два раза высокую частотную составляющую сигнала, отобранные данные будут точно представлять входной сигнал. В SR7xx (SR760, SR770, SR780 или SR785) дискретизация происходит на частоте 256 кГц. Чтобы убедиться, что теорема Найквиста выполняется, входной сигнал проходит через аналоговый фильтр, который ослабляет все частотные компоненты выше 156 кГц на 90 дБ. Это и есть фильтр сглаживания. Полученная цифровая запись во времени затем математически преобразуется в частотный спектр с помощью алгоритма, известного как быстрое преобразование Фурье, или БПФ. БПФ-это просто умный набор операций, который реализует теорему Фурье. Полученный спектр показывает частотные составляющие входного сигнала.

А теперь самое интересное. Исходная цифровая запись во времени происходит из дискретных выборок, выполненных на частоте дискретизации. Соответствующее БПФ дает спектр с дискретными частотными выборками. На самом деле в спектре вдвое меньше точек частоты, чем точек времени. (Вспомните теорему Найквиста). Предположим, что вы берете 1024 выборки на частоте 256 кГц. Для записи этих выбо-

рок требуется 4 мс. БПФ этой записи дает 512 частотных точек—но в каком диапазоне частот? Самая высокая частота будет определяться периодом между двух временных выборок или 128 кГц. Самая низкая частота - это просто период всей записи или $1/(4 \text{ мс})$ или 250 Гц. Все, что ниже 250 Гц, считается постоянным током. Таким образом, выходной спектр представляет собой частотный диапазон от постоянного тока до 128 кГц с точками через каждые 250 Гц.

Преимущества анализаторов на БПФ

Преимущество этой техники заключается в ее быстродействии. Поскольку БПФ-анализаторы спектра измеряют все частотные компоненты одновременно, этот метод позволяет быть в сотни раз быстрее, чем традиционные аналоговые анализаторы спектра. В случае диапазона 100 кГц и 400 разрешаемых частотных ячеек для измерения всего спектра требуется всего 4 мс. Для измерения сигнала с более высоким разрешением запись во времени увеличивается. Но опять же, все частоты исследуются одновременно, обеспечивая огромное преимущество в скорости.

Для того чтобы реализовать скоростные преимущества этой методики, нам необходимо выполнить высокоскоростные вычисления. А чтобы избежать потери динамического диапазона, нам нужны АЦП высокого разрешения. Анализаторы спектра SRS обладают вычислительной мощностью и входным разрешением, необходимыми для реализации теоретических преимуществ анализаторов спектра на БПФ.

Двухканальные БПФ-анализаторы

Одним из наиболее распространенных применений анализаторов спектра на БПФ является измерение передаточной функции механической или электрической системы. Передаточная функция - это отношение выходного спектра к входному спектру. Одноканальные анализаторы, такие как SR760, не могут измерять передаточные функции. Одноканальные анализаторы с интегрированными источниками, такие как SR770, могут измерять передаточные функции, но только при условии, что входной спектр системы равен спектру интегрированного источника. В общем случае, для измерения общей передаточной функции требуется двухканальный анализатор (например, SR785). Один канал измеряет спектр входного сигнала, другой измеряет спектр выходного сигнала, и анализатор выполняет комплексное деление для извлечения величины и фазы передаточной функции. Поскольку входной спектр фактически измеряется и комплексно делится, вы не ограничиваетесь использованием заранее определенного сигнала в качестве входного сигнала для тестируемой системы—подойдет любой сигнал.

Частотные промежутки

Прежде чем продолжить, необходимо прояснить несколько моментов, касающихся частотного промежутка. Мы только что описали, как мы достигли диапазона частот от постоянного тока до 128 кГц, используя время записи 4 мс. Поскольку сигнал проходит через фильтр сглаживания на входе, весь диапазон частот не может быть использован. Фильтр имеет плоскую характеристику от постоянного тока до 100 кГц и затем резко скатывается от 100 кГц до 156 кГц. Ни один фильтр не может сделать переход на 90 дБ мгновенно. Таким образом, диапазон между 100 кГц и 128 кГц не пригоден для использования, и фактический промежуток отображаемой частоты останавливается на 100 кГц. Существует также частотная ячейка с меткой 0 Гц (или постоянного тока). Эта ячейка фактически охватывает диапазон от 0 Гц до 250 Гц (самая низкая измеряемая частота) и содержит компоненты сигнала, период которых больше, чем запись во времени (не только постоянный ток). Таким образом, конечный отображаемый спектр содержит 400 частотных ячеек. Первый охватывает от 0 до 250 Гц, второй—от 250 до 500 Гц, а 400-й—от 99,75 до 100,0 кГц.

Промежуток менее 100 кГц

Длина временной записи определяет диапазон частот и разрешение нашего спектра. Что произойдет,

если мы сделаем запись времени 8 мс (в два раза длиннее)? Тогда мы должны получить 2048 временных точек (выборка на 256 кГц), дающих спектр от постоянного тока до 100 кГц с разрешением 125 Гц, содержащий 800 точек (частотных ячеек). Но SR7xx накладывают на это некоторые ограничения. Одно из них — это память. Если мы будем продолжать увеличивать время записи, нам нужно будет хранить все больше и больше точек. (Разрешение 1 Гц потребует 256 тыс. значений). Еще одним ограничением является время обработки. Время, необходимое для вычисления БПФ с большим количеством точек, увеличивается более чем линейно.

Чтобы преодолеть эту проблему, анализатор осуществляет цифровую фильтрацию и уничтожает входящие выборки данных (на частоте 256 кГц), чтобы ограничить полосу пропускания и уменьшить количество точек в БПФ. Это похоже на сглаживающий фильтр на входе, за исключением того, что частота среза цифрового фильтра может быть изменена. В случае записи 8 мс фильтр уменьшает полосу пропускания до 64 кГц с отсечкой фильтра 50 кГц (фильтр скатывается между 50 кГц и 64 кГц). Помните, что Найквист требует только выборки с частотой в два раза выше самой высокой частоты сигнала. Таким образом, цифровой фильтр должен выводить только точки на частоте 128 кГц, или на половине входной частоты (256 кГц). Чистый результат-цифровой фильтр выводит временную запись 1024 точек, эффективно оцифрованную на частоте 128 кГц, чтобы составить запись 8 мс. Процессор БПФ работает с постоянным количеством точек, и результирующее БПФ будет давать 400 точек от постоянного тока до 50 кГц. Разрешение или ширина линии составляет 125 Гц.

Этот процесс удвоения временной записи и сокращения частотного промежутка вдвое может быть повторен с помощью нескольких этапов цифровой фильтрации. SR7xx может обрабатывать спектры с диапазоном только 191 мГц с временной записью 2098 секунд, если у вас хватит терпения. Однако этот процесс фильтрации приводит только к измерениям в основной полосе частот (частотные промежутки, которые начинаются от постоянного тока).

Начало частотного промежутка где-то еще, кроме постоянного тока

В дополнение к выбору промежутка и разрешения спектра, мы можем хотеть, чтобы промежуток начинался на частотах, отличных от постоянного тока. Было бы неплохо центрировать узкий промежуток вокруг любой частоты ниже 100 кГц. Использование только цифровой фильтрации требует, чтобы каждый промежуток начинался с постоянного тока. Нам нужен частотный сдвиг, или гетеродинирование, входного сигнала. Умножение входящего сигнала на комплексный синус приведет к сдвигу частоты сигнала. Полученный спектр смещается на частоту комплексного синуса. Если мы включим гетеродинирование в нашу цифровую фильтрацию, то сможем сдвинуть любой частотный промежуток так, чтобы он начинался с постоянного тока. Полученное БПФ дает спектр, смещенный на частоту гетеродина.

Гетеродинирование позволяет анализатору вычислять масштабированные спектры (промежутки, которые начинаются на частотах, отличных от постоянного тока). Процессор цифровой фильтрации может фильтровать и гетеродинировать вход в режиме реального времени, чтобы обеспечить соответствующую отфильтрованную временную запись на всех промежутках и центральных частотах. Поскольку цифровые сигнальные процессоры в SR7xx довольно быстры, вы не заметите задержки по времени расчета при получении спектров. Все расчеты по обработке сигналов, гетеродинированию, цифровой фильтрации и преобразованию Фурье выполняются за меньшее время, чем требуется для получения данных. Таким образом, SR7xx могут принимать спектры плавно, т. е. между одной временной записью и следующей нет мертвой зоны.

Основы измерений

Спектр БПФ — это комплексная величина. Это происходит потому, что каждый частотный компонент имеет фазу относительно начала временной записи. (Кроме того, вы можете подумать, что входной сигнал

состоит из синусов и косинусов.) Если триггера нет, то фаза случайна, и мы обычно смотрим на величину спектра. Если мы используем синхронный триггер, то каждая частотная составляющая имеет четко определенную фазу.

Спектр

Спектр-это основное измерение анализатора на БПФ. Это просто комплексное БПФ. Обычно отображается амплитуда спектра. Амплитуда-это квадратный корень из БПФ, умноженный на его комплексную сопряженную величину. (Квадратный корень из суммы действительной (синусной) части в квадрате и мнимой (косинусной) части в квадрате). Амплитуда является действительной величиной и представляет собой полную амплитуду сигнала в каждой частотной ячейке, независимо от фазы.

Если в спектре присутствует фазовая информация, то есть, временная запись запускается в фазе с некоторой составляющей сигнала, то может быть отображена действительная (косинус) или мнимая (синус) часть или фаза. Фаза-это просто арктангенс отношения мнимой и действительной частей каждой частотной составляющей. Фаза всегда относится к началу временной записи.

Спектральная плотность мощности (PSD)

PSD - это величина спектра, нормализованная к полосе пропускания 1 Гц. Это измерение приближается к тому, как выглядел бы спектр, если бы каждая частотная составляющая действительно была частью спектра шириной 1 Гц в каждой частотной ячейке.

Что в этом хорошего? При измерении широкополосных сигналов (таких как шум) амплитуда спектра изменяется в зависимости от частотного промежутка. Это происходит потому, что ширина линии изменяется, поэтому частотные ячейки имеют другую полосу пропускания шума. PSD, с другой стороны, нормализует все измерения до полосы пропускания 1 Гц, и спектр шума становится независимым от диапазона. Это позволяет сравнивать измерения с различными частотными промежутками. Если шум является гауссовым по своей природе, то величина амплитуды шума в других полосах пропускания может быть аппроксимирована путем деления измеренного значения PSD на квадратный корень из полосы пропускания. Таким образом, PSD отображается в единицах измерения $V/\sqrt{\text{Hz}}$ или $\text{dBV}/\sqrt{\text{Hz}}$.

Поскольку PSD использует амплитуду спектра, то PSD реальная величина. Здесь нет ни реальной, ни воображаемой части или фазы.

Временная запись

Измерение временной записи отображает отфильтрованные и уничтоженные (в зависимости от частотного промежутка) точки данных до того, как будет применено БПФ. В SR760 и SR770 эта информация доступна только при полном частотном промежутке. В SR780 и SR785 временные записи могут отображаться на всех частотных промежутках. Для основных частотных промежутков (промежутки, которые начинаются от постоянного тока), временная запись является действительной величиной. Для неосновных промежутков гетеродинирование, рассмотренное ранее, преобразует временную запись в комплексную величину, которую может быть трудно интерпретировать.

Двухканальные измерения

Как мы уже обсуждали ранее, двухканальные анализаторы (такие как SR780 и SR785) предлагают дополнительные измерения, такие как передаточная функция, взаимный спектр, когерентность и орбита. Эти измерения, которые применяются только к SR780 и SR785, обсуждаются ниже.

Передаточная функция

Передаточная функция - это отношение спектра канала 2 к спектру канала 1. Для того чтобы передаточная функция была актуальной, входной спектр должен иметь амплитуду на всех частотах, на которых должна быть измерена передаточная функция. По этой причине широкополосные источники (такие как шум или периодические сигналы с ЛЧМ) часто используются в качестве входных сигналов для измерений передаточной функции.

Взаимный спектр

Взаимный спектр определяется как: $\text{взаимный спектр} = \text{FFT2} \times \text{conj}(\text{FFT1})$.

Взаимный спектр-это комплексная величина, содержащая информацию о амплитуде и фазе. Фаза - это относительная фаза между двумя каналами. Амплитуда - это просто произведение амплитуд двух спектров. Частоты, на которых сигналы присутствуют в обоих спектрах, будут иметь большие компоненты во взаимном спектре.

Орбита

Орбита-это просто двумерное отображение временной записи канала 1 по сравнению с временной записью канала 2. Дисплей орбиты похож на осциллограф, отображающий фигуру Лиссажу.

Когерентность

Когерентность измеряет процент мощности в канале 2, который вызван (фаза когерентна с) мощностью во входном канале. Когерентность-это безразмерная величина, которая варьируется от 0 до 1. Если когерентность равна 1, то вся мощность выходного сигнала обусловлена входным сигналом. Если когерентность равна 0, то вход и выход полностью случайны по отношению друг к другу. Когерентность связана с отношением сигнал/шум (S / N) по формуле:

$$S/N = \frac{y^2}{1-y^2}$$

где y является традиционным обозначением когерентности.

Корреляция

Анализаторы SR780 и SR785 также вычисляют автоматическую и перекрестную корреляцию (кросс-корреляцию). Корреляция-это измерение во временной области, которое определяется следующим образом:
Автоматическая корреляция = $\int x^*(t)x(t-T)dt$ кросс-корреляция = $\int x^*(t)y(t-T)dt$

где x и y - входные сигналы канала 1 и канала 2, а интегралы взяты по всему времени. Очевидно, что автокорреляция в момент времени t является мерой того, насколько сильно перекрывается сигнал с задержанной на t версией самого себя, а кросс-корреляция - мерой того, насколько сильно перекрывается сигнал с задержанной на t версией другого канала. Хотя корреляция является измерением во временной области, SR780 и SR785 используют методы частотной области для ее вычисления, чтобы сделать вычисление более быстрым.

Спектр

Наиболее распространенным измерением является спектр, а наиболее полезным отображением - логарифмическая амплитуда. Отображение логарифмической амплитуды отображает величину спектра в ло-

гарифмическом масштабе, используя дБВ в качестве единиц измерения.

Почему полезно отображение логарифмической амплитуды? Помните, что SR7xx имеют динамический диапазон примерно на 90 дБ ниже полной шкалы. Представьте себе, как будет выглядеть что-то около 0,01% от полной шкалы в линейном масштабе. Если бы мы хотели, чтобы это было на графике высотой 1 сантиметр, то верхняя часть графика была бы на 100 метров выше нижней. Оказывается, что логарифмический дисплей одновременно прост для понимания и четко показывает особенности, которые имеют очень разные амплитуды.

Конечно, анализаторы также способны показывать амплитуду в линейном масштабе. Действительная и мнимая части всегда отображаются в линейном масштабе. Это позволяет избежать проблемы взятия логарифма отрицательных напряжений.

Фаза

Как правило, фазовые измерения используются только при запуске анализатора. Фаза находится относительно начала временной записи.

Фаза отображается в градусах или радианах по линейной шкале от -180 до +180 градусов. Нет никакой развертки по фазе на экране SR760 и SR770. SR780 и SR785 могут отображать развертку по фазе, что очень полезно, например, при отображении фазы передаточных функций фильтра, которые могут варьироваться на сотни или даже тысячи градусов.

Фаза конкретной частотной ячейки устанавливается равной нулю, если ни действительная, ни мнимая части БПФ не превышают 0,012% от полной шкалы (-78 дБ ниже f.s.). Это позволяет избежать беспорядочного отображения фазы, связанного с уровнем шума. (Помните, что даже если сигнал мал, его фаза распространяется на все 360 градусов.)

Следите за ошибками фазы

Измерение БПФ можно рассматривать как N полосовых фильтров, каждый из которых центрирован на частотной ячейке. Сигнал внутри каждого фильтра отображается как амплитуда каждой ячейки. Если частота сигнала находится между ячейками, фильтры действуют так, чтобы немного ослабить сигнал. Это приводит к небольшой ошибке по амплитуде. С другой стороны, фазовая погрешность может быть довольно большой. Поскольку эти фильтры очень крутые и селективные, они вводят очень большие фазовые сдвиги для сигналов не совсем точно, относительно частотной ячейки.

При полном частотном промежутке это, как правило, не проблема. Ячейки находятся на расстоянии 250 Гц друг от друга, и большинство синтезированных источников без проблем генерируют сигнал прямо на частотной ячейке. Но когда промежуток сужается, ячейки перемещаются гораздо ближе друг к другу, и становится очень трудно разместить сигнал точно на частотной ячейке.

Кадрирование

Что такое кадрирование? Давайте вернемся к временной записи. Что происходит, если сигнал не является точно периодическим в пределах временной записи? Мы говорим, что его амплитуда делится на несколько соседних частотных ячеек. Это правда, но на самом деле все немного хуже. Если временная запись не начинается и не останавливается с одним и тем же значением данных, сигнал может фактически размазаться по всему спектру. Это размазывание также будет дико изменяться между записями, потому что величина рассогласования между начальным значением и конечным значением изменяется с каждой записью.

Окна (кадры)-это функции, определенные на временной записи, которые являются периодическими внутри временной записи. Они начинаются и заканчиваются на нуле и являются гладкими функциями в этом промежутке. Когда временная запись является кадрированной, ее точки умножаются на оконную функцию, временная ячейка на временную ячейку, и результирующая временная запись, по определению, является периодической. Она может быть не идентичной от записи к записи, но она будет периодической (ноль на каждом конце).

В частотной области

В частотной области окно действует как фильтр. Амплитуда каждой частотной ячейки определяется путем центрирования этого фильтра на каждой ячейке и измерения того, сколько сигнала попадает в фильтр. Если фильтр узкий, то только частоты рядом с ячейкой будут вносить свой вклад в ячейку. Узкий фильтр называется селективным окном—он выбирает небольшой диапазон частот вокруг каждой ячейки. Однако, поскольку фильтр узкий, он быстро удаляется от центра. Это означает, что даже частоты, близкие к ячейке, могут быть несколько ослаблены. Если фильтр широкий, то частоты, удаленные от ячейки, будут вносить свой вклад в амплитуду ячейки, но те, кто рядом, не будут значительно ослаблены.

Чистый результат оконной обработки заключается в уменьшении количества растекания в спектре от сигналов, не совсем периодических с временной записью. Различные типы окон достигают компромисса между селективностью, точностью амплитуды и уровнем шума.

SR7xx предлагает несколько типов оконных функций, включая Uniform (нет), Flattop, Hanning, Blackman - Harris и Kaiser.

Uniform

Окно uniform, на самом деле, вообще не является окном. Временная запись используется без взвешивания. Сигнал будет казаться таким же узким, как одна ячейка, если его частота точно равна частоте ячейки. (Она точно периодична в пределах временной записи). Если его частота находится между ячейками, он будет влиять на каждую ячейку спектра. Эти два случая также связаны с изменением амплитуды между ними (до 4 дБ).

В общем случае это окно полезно только при рассмотрении переходных процессов, которые не заполняют всю временную запись.

Hanning

Окно Ханнинга является наиболее часто используемым окном. Он имеет изменение амплитуды около 1,5 дБ (для сигналов между ячейками) и обеспечивает разумную селективность. Его крутизна фильтра не особенно велика. В результате, окно Ханнинга может ограничивать характеристики анализатора при рассмотрении сигналов, близких друг к другу по частоте и очень отличающихся по амплитуде.

Flattop

Окно Flattop улучшает точность амплитуды окна Hanning. Его амплитудное изменение между ячейками составляет около 0,02 дБ. Однако избирательность здесь несколько хуже. В отличие от Ханнинга, окно Flattop имеет широкую полосу пропускания и очень высокую крутизну с обеих сторон. Таким образом, сигналы кажутся широкими, но не растекаются по всему спектру.

Blackman-Harris

Окно Блэкмана-Харриса-это очень хорошее окно для использования с анализаторами на БПФ SRS. Оно обладает лучшей точностью по амплитуде (около 0,7 дБ), чем окно Ханнинга, очень хорошей селективностью и самой высокой крутизной фильтра. Фильтр крутой и узкий и достигает более низкого ослабления, чем другие окна. Это позволяет различать сигналы, близкие друг к другу по частоте, даже если их амплитуды сильно отличаются.

Kaiser

Окно Kaiser, которое доступно только в SR780 и SR785, сочетает в себе превосходную селективность и разумную точность (около 0,8 дБ для сигналов, расположенных точно между ячейками). Окно Кайзера имеет самые низкие боковые лепестки и наименьшее расширение для частот, не попадающих в ячейки. Из-за данных свойств, это лучшее окно для использования в измерениях, требующих большого динамического диапазона. В SR760 и SR770 окно Блэкмана-Харриса является лучшим окном для большого динамического диапазона.

Усреднение

Анализаторы SR7xx поддерживают несколько типов усреднения. В целом, совместное усреднение многих спектров повышает точность и повторяемость измерений.

Среднеквадратичное усреднение

Среднеквадратичное усреднение вычисляет средневзвешенное значение суммы квадратов величин (БПФ, умноженное на его комплексное сопряженное). Взвешивание является либо линейным, либо экспоненциальным.

Среднеквадратичное усреднение уменьшает колебания в данных, но не уменьшает фактический уровень шума. При достаточном количестве средних можно получить очень хорошее приближение к фактическому уровню случайного шума.

Поскольку среднеквадратичное усреднение включает только амплитуды, отображение действительной или мнимой части, или фазы среднеквадратичного усреднения не имеет никакого значения. Среднеквадратичное значение не имеет никакой информации о фазе.

Векторное усреднение

Векторное усреднение усредняет комплексный спектр БПФ. (Действительная часть усредняется отдельно от мнимой части.) Это может снизить уровень шума для случайных сигналов, так как они не являются фазово-когерентными от временной записи к временной записи.

Векторное усреднение требует триггера. Сигнал, представляющий интерес, должен быть как периодическим, так и фазово- синхронным с триггером. В противном случае, действительная и мнимая части сигнала не будут складываться в фазе, а вместо этого будут сбрасываться случайным образом.

При векторном усреднении действительные и мнимые части (а также фазовые отображения) правильно усредняются и отображаются. Это происходит потому, что сохраняется комплексная информация.

Пиковое удержание

Пиковое удержание на самом деле не является усреднением. Вместо этого, новые спектральные амплитуды сравниваются с предыдущими данными, и если новые данные больше, то новые данные сохраняются.

ются. Это делается на частотной основе ячейка-к-ячейке. Результирующий дисплей показывает пиковые амплитуды, которые имели место в предыдущей группе спектров.

Пиковое удержание обнаруживает пики в спектральных амплитудах и применяется только к измерениям спектра, PSD и октавного анализа. Однако, значения пиковой амплитуды сохраняются в исходном комплексном виде. Если для измерения спектра отображается действительная или мнимая часть (или фаза), то на дисплее отображается действительная или мнимая часть (или фаза) комплексного пикового значения.

Линейное усреднение

Линейное усреднение объединяет N (количество усреднений) спектров с равным весом в виде среднеквадратичного, векторного или пикового удержания. Когда количество средних значений будет завершено, анализатор останавливается и раздается звуковой сигнал. При выполнении линейного усреднения, количество завершенных средних непрерывно отображается под индикатором усреднения в нижней части экрана.

Автоматическое ранжирование временно отключается, когда выполняется линейное усреднение. Убедитесь, что вы не меняете диапазон ввода вручную. Изменение диапазона во время линейного усреднения значения делает результаты недействительными.

Экспоненциальное усреднение

Экспоненциальное усреднение взвешивает новые данные больше, чем старые. Усреднение происходит по формуле,

Новое Среднее = (Новый Спектр • $1/N$) + (Старое Среднее) • $(N-1)/N$,
где N - количество усреднений.

Экспоненциальные средние значения "растут" примерно для первых $5N$ спектров до тех пор, пока не будут достигнуты стационарные значения. После установления стационарного режима, дальнейшие изменения спектров обнаруживаются только в том случае, если они длятся достаточно долго. Убедитесь, что количество усреднений не настолько велико, чтобы исключить изменения в данных, которые могут быть важными.

Обработка полосы пропускания и перекрытия в реальном времени

Что такое полоса пропускания в реальном времени? Проще говоря, это диапазон частот, соответствующая временная запись которого, превышает время, необходимое для вычисления спектра. На таком промежутке и ниже можно вычислить спектры для каждой временной записи без потери данных. Спектры вычисляются в режиме "реального времени". На больших промежутках некоторые образцы данных будут потеряны во время выполнения вычислений БПФ.

Для всех частотных промежутков SR7xx могут вычислить БПФ за меньшее время, чем требуется для получения временной записи. Таким образом, полоса пропускания SR7xx в реальном времени составляет 100 кГц. Это включает в себя цифровую фильтрацию и гетеродинирование в реальном времени, обработку БПФ и вычисления усреднений. Для этого в SR7xx используются два цифровых сигнальных процессора. Первый собирает входные выборки, фильтрует и гетеродинирует их, а также сохраняет временную запись. Второй вычисляет БПФ и усредняет спектры. Поскольку оба процессора работают одновременно, никакие данные никогда не теряются.

SR780 и SR785 выполняют высокоскоростную обработку с помощью одного передового чипа DSP с плавающей точкой.

Скорость усреднения

Как вы можете этим воспользоваться? Рассмотрим усреднение. Другие анализаторы, обычно, имеют полосу пропускания в реальном времени около 4 кГц. Это означает, что даже при том, что временная запись в диапазоне 100 кГц составляет всего 4 мс, "эффективная" временная запись составляет в 25 раз более длительное время из-за времени, потраченного на обработку. Анализатор с полосой пропускания 4 кГц в реальном времени может обрабатывать только около 10 спектров в секунду. Когда усреднение включено, производительность, обычно, замедляется примерно до 5 спектров в секунду. При такой скорости требуется несколько минут, чтобы сделать 500 усреднений.

С другой стороны, SR7xx имеют полосу пропускания в реальном времени 100 кГц. В промежутке шириной 100 кГц, анализатор способен обрабатывать 250 спектров в секунду. На самом деле это происходит так быстро, что дисплей не может обновляться для каждого нового спектра. Дисплей обновляется только около 6 раз в секунду. Однако при усреднении все вычисленные спектры будут вносить свой вклад в среднее значение. Время, необходимое для завершения 500 усреднений, составляет всего несколько секунд (вместо нескольких минут!)

Перекрытие

А как насчет узких промежутков, где временная запись более длительна, по сравнению со временем обработки? Анализатор вычисляет одно БПФ на каждую временную запись и может подождать, пока не будет завершена следующая временная запись, прежде чем вычислять следующее БПФ. Скорость обновления будет не выше одного спектра на временную запись. Для узких промежутков это может быть довольно медленно.

И что же делает процессор, пока он ждет? Ничего. При обработке перекрытия анализатор не ждет следующей полной временной записи перед вычислением следующего БПФ. Вместо этого он использует данные из предыдущей временной записи, а также данные из текущей временной записи, чтобы вычислить следующее БПФ. Это ускоряет процесс обработки данных. Помните, что большинство функций окна равны нулю в начале и в конце временной записи. Таким образом, точки на концах временной записи не вносят большого вклада в БПФ. При наложении эти точки "повторно используются" и появляются как промежуточные точки в других временных записях. Именно поэтому перекрытие эффективно ускоряет усреднение и сглаживает вариации в окнах.

Как правило, временные записи с 50% перекрытием обеспечивают почти такое же снижение шума, как и не перекрывающиеся временные записи при использовании среднеквадратичного усреднения. При среднеквадратичном усреднении узких промежутков, время измерения может быть уменьшено в два раза.

Процент перекрытия

Количество перекрытий указывается в процентах от временной записи. 0 % - это отсутствие перекрытия, а 99,8% - это максимум (511 из 512 повторно использованных выборок). Максимальное перекрытие определяется количеством времени, которое требуется для вычисления БПФ, и длиной временной записи, и, таким образом, изменяется в зависимости от промежутка.

SR760/SR770 всегда стараются использовать максимально возможное количество перекрытий. Это позволяет поддерживать обновление дисплея как можно более частым. Всякий раз, когда выбирается новый частотный промежуток, перекрытие устанавливается на максимально возможное значение для этого промежутка. Если требуется меньшее перекрытие, используйте меню усреднения, чтобы ввести меньшее значение. На самых широких промежутках (25, 50 и 100 кГц) перекрытие не допускается.

В SR780 и SR785 используется несколько другая система определения перекрытия. Перекрытие, введенное пользователем, является "требуемым перекрытием". Прибор пытается приблизить фактическое перекрытие как можно ближе к требуемому перекрытию. SR780 и SR785 вычисляют и отображают фактическое перекрытие так, чтобы было очевидно, когда оно отличается от запрошенного перекрытия.

Октавный анализ

Амплитуда нормального спектра измеряет амплитуды в пределах равномерно разделенных частотных ячеек. Октавный анализ вычисляет спектральную амплитуду в логарифмических частотных промежутках, ширина которых пропорциональна их центральным частотам. Полосы расположены в октавах с 1, 3 или 12 полосами на октаву (анализ 1/1, 1/3 или 1/12 октавы). Октавный анализ измеряет спектральную мощность, подобно тому, как люди воспринимают звук: в октавах.

Фактический метод, используемый для расчета октавных измерений, отличается для каждого из анализаторов. В SR780 и SR785 входные данные поступают в банк параллельных цифровых фильтров. Центральные частоты и формы фильтров определяются типом октавного анализа (1/1, 1/3 или 1/12 октавы) и соответствуют стандарту ANSI s1-11-1986, Order 3, Type 1-D. Выход каждого фильтра усредняется по среднеквадратичному значению для вычисления мощности и отображается в виде гистограммы. Это измерение мощности в реальном времени в каждом диапазоне и является единственным доступным октавным измерением. Поскольку полосы расположены логарифмически, октавные дисплеи всегда имеют логарифмическую ось X.

Частоты центра полосы

Центральная частота каждого диапазона вычисляется в соответствии со стандартом ANSI S1. 11 (1986). Форма каждой полосы представляет собой фильтр Баттерворта третьего порядка, ширина полосы пропускания которого составляет либо полную, либо 1/3, либо 1/12 октавы. Полные октавные диапазоны имеют полосовые центры на:

$$\text{Центральная частота} = 1 \text{ кГц} \times 2^n$$

Полосы 1/3 октавы имеют центральные частоты, заданные:

$$\text{Центральная частота} = 1 \text{ кГц} \times 2^{((n-30)/3)}$$

Наконец, SR780 и SR785 могут вычислять только октавную мощность в ячейках 1/12 октавы, центральные частоты которых находятся на:

$$\text{Центральная частота} = 1 \text{ кГц} \times 2^{1/24} \times 2^{n/12}$$

Измерения качающимся синусом

SR780 и SR785 содержат дополнительный режим измерения, режим качающегося синуса, который полезен для проведения измерений с высоким динамическим диапазоном. Измерение качающимся синусом - это, в основном, перестроение синусоидального сигнала, проходящее через заданную последовательность частотных точек. В каждой точке источник поддерживает постоянную частоту, а входы измеряют только сигналы на этой частоте. После того как каждая точка была измерена, источник переходит к следующей точке в последовательности. В отличие от БПФ, которое измеряет сразу несколько частот, качающийся синус измеряет одну частоту за один раз. Как мы увидим, эта техника работает несколько медленнее, но приводит к увеличению динамического диапазона.

Передаточные функции можно измерить с помощью режима БПФ или режима качающегося синуса. Однако, если передаточная функция имеет большое отклонение в пределах частотного промежутка, БПФ может быть не лучшим методом измерения. Это ограничение исходит из природы источника ЛЧМ, который должен быть использован. БПФ одновременно измеряет отклик на всех частотах в пределах частотного

промежутка. Таким образом, источник должен содержать энергию на всех измеренных частотах. Во временной записи частотные компоненты в источнике суммируются, а пиковая амплитуда источника во временной записи обычно превышает амплитуду каждой частотной компоненты примерно на 30 дБ. Поскольку входной диапазон должен быть установлен таким образом, чтобы он соответствовал амплитудному пику, каждый компонент измеряется на уровне -30 дБ относительно полной шкалы. Это эффективно снижает динамический диапазон измерения примерно на 30 дБ! Если передаточная функция имеет изменение от 0 до -100 дБ в пределах диапазона измерения, то каждая ячейка БПФ должна измерять сигналы от -30 дБпш до -130 дБпш. Даже при большом количестве векторных усреднений это оказывается затруднительным—особенно при больших измерительных промежутках.

С другой стороны, измерения качающимся синусом могут оптимизировать измерение в каждой частотной точке. Поскольку источник представляет собой синусоидальную волну, вся энергия источника сосредоточена на одной частоте, что исключает 30 дБ плату за динамический диапазон ЛЧМ. Кроме того, если отклик передачи падает до -100 дБВ, входной диапазон канала 2 может автоматически варьироваться до -50 дБВ и поддерживать почти 100 дБ отношения сигнал-шум. На самом деле, простая оптимизация входного диапазона на каждой частоте может расширить динамический диапазон измерения до более чем 140 дБ.

Для передаточных функций как с усилением, так и с ослаблением, амплитуда источника может быть оптимизирована на каждой частоте. Уменьшение уровня источника на частотах, где есть усиление, предотвращает перегрузки, а увеличение амплитуды там, где есть затухание, сохраняет соотношение сигнал-шум. Для оптимизации времени измерения качаний, охватывающих порядки амплитуды по частоте, полоса детектирования может быть установлена в зависимости от частоты. На более низких частотах можно потратить больше времени, а на более высоких—меньше. Кроме того, частотные точки могут быть пропущены в тех областях, где отклик существенно не меняется от точки к точке. Это ускоряет измерения узких функций отклика.