

Высокоэффективные измерения S-параметров в импульсном режиме

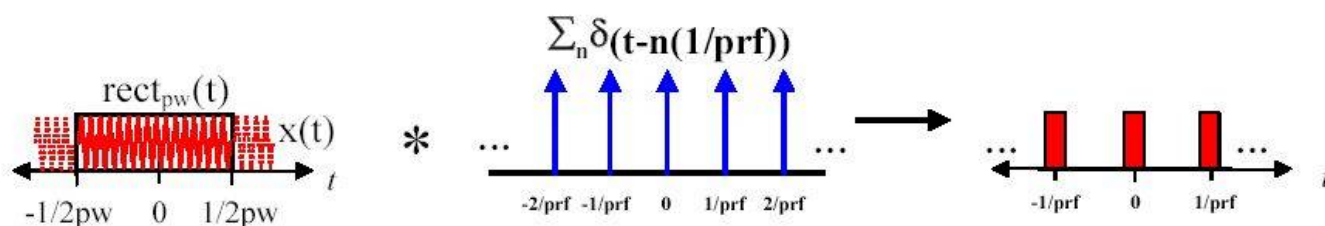
Векторные анализаторы цепей традиционно используются для измерения S-параметров компонентов при воздействии незатухающего гармонического колебания (CW). Часто при таких рабочих режимах анализатор функционирует как узкополосный измерительный инструмент. Он подает гармонический сигнал известной частоты на компонент и измеряет частотную характеристику. Если посмотреть на частотную характеристику гармонического колебания, можно увидеть один спектральный тон в области частот. Анализатор имеет встроенный генератор и приемники, разработанные так, чтобы работать синхронно, используя узкополосное обнаружение для измерения частотной характеристики компонента. Большинство анализаторов могут быть настроены так, чтобы проводить свипирование по диапазону частот.

В некоторых случаях сигнал, поданный на компонент, должен быть импульсным (включено - выключено) на определенной частоте и определенной продолжительности. Если посмотреть на частотную характеристику импульсного сигнала, можно увидеть, что он содержит бесконечное число спектральных тонов, что затрудняет использование стандартного узкополосного векторного анализатора цепей (VNA). В данной статье описывается, как настроить и точно измерить импульсные S-параметры, используя высокочастотный анализатор цепей серии PNA (Performance Network Analyzers) компании "Agilent".

Импульсные сигналы

Чтобы посмотреть, как выглядит спектр импульсного сигнала в области частот, необходимо математически анализировать реакцию во временной области. В уравнении 1 показана характеристика импульсного сигнала во временной области. Сначала создается версия сигнала в прямоугольном окне ($rect(t)$) с шириной импульса PW. Потом выполняется shah-функция, которая состоит из периодической последовательности импульсов, расположенных на расстоянии $1/PRF$, где PRF (pulse repetition frequency) – частота повторения импульсов. Это можно также представить в виде импульсов, которые располагаются на расстоянии, равном периоду следования импульсов. Потом сигнал в окне свертывается с shah-функцией для создания периодической последовательности импульсов, соответствующей во времени импульсному сигналу.

$$y(t) = (rect_{pw}(t) \cdot x(t)) * shah_{\frac{1}{prf}}(t)$$



Уравнение 1 - Обзор временной области импульсного сигнала

Чтобы посмотреть на этот сигнал в области частот, необходимо выполнить преобразование Фурье импульсного сигнала $y(t)$.

$$Y(s) = (pw \cdot sinc(pw \cdot s) * X(s)) \cdot (prf \cdot shah(prf \cdot s))$$

$$Y(s) = (pw \cdot sinc(pw \cdot s)) \cdot (prf \cdot shah(prf \cdot s))$$

$$Y(s) = DutyCycle \cdot sinc(pw \cdot s) \cdot shah(prf \cdot s)$$

Уравнение 2 – Преобразование Фурье импульсного сигнала во временной области

В уравнении 2 показано, что частотный спектр импульсного сигнала – дискретная функция sinc с точками выборки (сигнал присутствует), равными частоте повторения импульсов. На рис. 1 показано, каким бы был спектр импульсов для сигнала с частотой следования импульсов 1.69 кГц и шириной импульса 7 мкс. На рис. 2 показан тот же спектр импульсов, увеличенный в области основной гармоники (в центре графика). Следует отметить, что спектр имеет компоненты, которые находятся на $n \cdot \text{PRF}$ (частота повторения импульсов) от основной гармоники. Основная гармоника содержит измерительную информацию. Гармоники частоты повторения импульсов являются артефактами пульсирования основной гармоники. Необходимо также заметить, что величина компонентов спектра близких к основной гармонике, относительно больше.

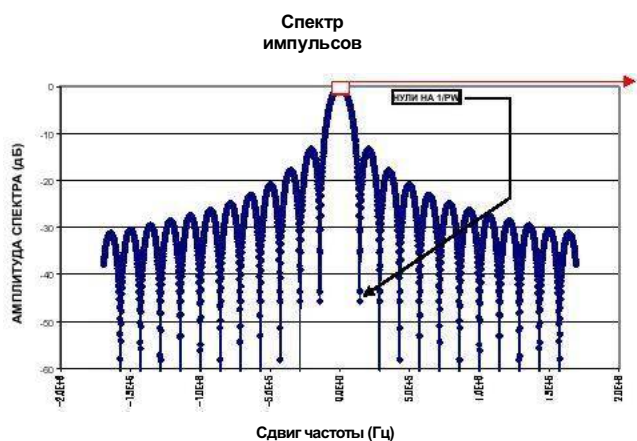


Рис. 1 – Область частот импульсного сигнала

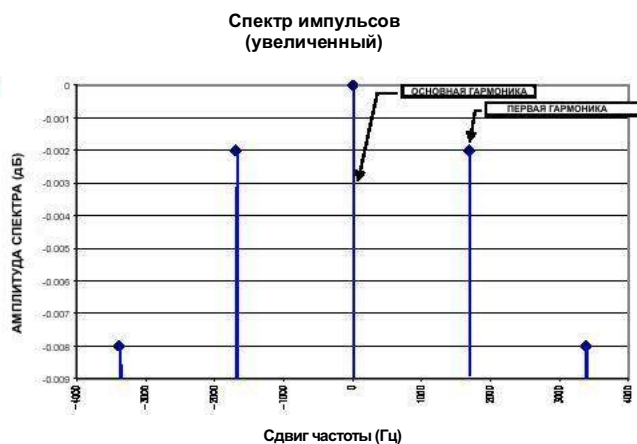


Рис. 2 – Увеличенная область частот импульсного сигнала

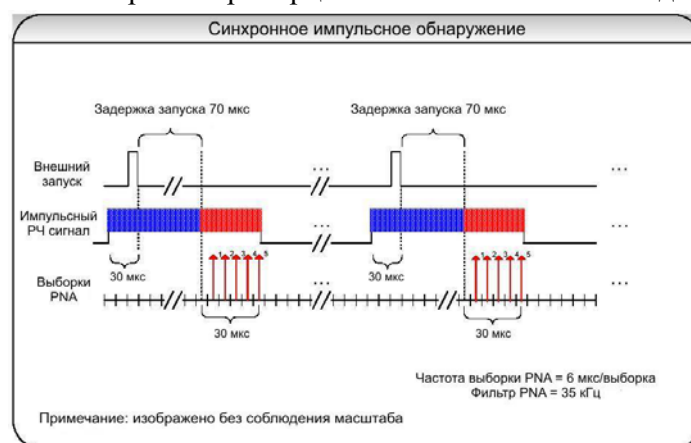
Техника измерений микроволновым анализатором PNA

Микроволновый анализатор серии PNA Agilent – высокопроизводительный анализатор, который использует узкополосное обнаружение микроволновой энергии. Он переносит полученный сигнал на пониженную промежуточную частоту (ПЧ), а потом сигнал оцифровывается (дискретизируется) и фильтруется цифровым образом для отображения и анализа. Существует два разных метода измерения S-параметров импульсного сигнала с помощью высокочастотного анализатора PNA: "Синхронное импульсное обнаружение" (Synchronic Pulse Acquisition) и "Спектральное обнуление" (Spectral Nulling). Синхронное импульсное обнаружение аналогично режиму работы "Полная характеристика импульса" (Full Pulse Characterization) анализатора серии 8510. Спектральное обнуление аналогично режиму работы "Высокая частота повторения импульсов" (High PRF) анализатора серии 8510 за исключением того, что могут применяться способы измерений "точка в импульсе" (point-in-pulse) и "форма импульса" (pulse-profiling), тогда как в серии 8510 при режиме "Высокой частоты повторения импульсов" этого сделать нельзя.

Синхронное импульсное обнаружение

Этот метод обеспечивает временную синхронизацию между отдельными входными импульсами и дискретизацией анализатора. Если ширина импульса превышает минимальное время синхронизации и запрашивает одну или больше дискретных точек, тогда измерение проходит в режиме синхронного импульсного обнаружения (см. Рис. 3), а приемник работает при полной чувствительности к гармоническому колебанию и полном динамическом диапазоне без снижения чувствительности для импульсного режима.

Характеристика "от импульса к импульсу" может измеряться в этом режиме для каждой, отображаемой точки данных, соответствующей одному отдельному импульсу. Это измерение сконфигурировано с помощью выравнивания входных импульсов с интервалами выборки анализатора, используя режим trigger-on-point и применяя внешний запуск для измерения каждого импульса. Анализатор должен видеть 100 мкс¹ импульсного сигнала перед периодом обнаружения. Это необходимо для работы аппаратного фильтра анализатора PNA. Задержка перед запуском и моментом, когда анализатор начинает оцифровывание одной дискретной точки составляет 70 мкс. Поэтому, задержка на 30 мкс должна применяться между входным импульсом и запуском, чтобы учитывать 100 мкс импульса радиочастоты перед обнаружением. Минимальное время обнаружения на анализаторе приблизительно обратно пропорционально полосе ПЧ. Когда полоса ПЧ уменьшается,



Количество выборок, необходимых для отображения одной точки с фильтром 35 кГц, – 5.

Анализатор должен видеть 100 мкс импульсного сигнала перед обнаружением. Это соответствует задержке на 30 мкс между импульсом и запускающим сигналом, как показано выше. Это гарантирует, что приемники настроены правильно для обнаружения импульса.

Для импульса шириной более ~130 мкс PNA может запускаться, чтобы синхронно измерять один импульс на одну отображаемую точку.

Рис. 3 – Изображение временной области режима синхронного импульсного обнаружения

¹ При меньше чем 100 мкс эффективность измерения уменьшится

время обнаружения измерения для каждой точки увеличивается. Минимальное время обнаружения для анализатора – 30 мкс для полосы ПЧ 35 кГц. Это соответствует минимальному измеряемому импульсу шириной 130 мкс.

Конфигурация аппаратного оборудования

Для синхронного режима работы требуется генератор импульсов, чтобы обеспечить временную ширину и задержки для внешнего запуска и модуляции. Модуляция может обеспечиваться модулированием смещения тестируемого устройства или модулированием сигнала источника. На рис. 4 показана конфигурация аппаратного оборудования для измерения при импульсном воздействии на смещение. Стандартный микроволновый анализатор PNA имеет два BNC разъема – вход запуска (trigger-in) и выход готовности к запуску (trigger-out), которые можно использовать для синхронизации времени запуска анализатора и генератора импульсов. В точечном режиме, появление сигнала на входе запуска приведет к тому, что анализатор соберет информацию для точки на первой частоте, перенесет частоту источника на следующую точку, а потом пошлет сигнал готовности к запуску для извещения генератора импульсов, что он готов принять следующую точку. В этой точке генератор импульсов может послать сигнал запуска анализатору, чтобы принять следующую точку.

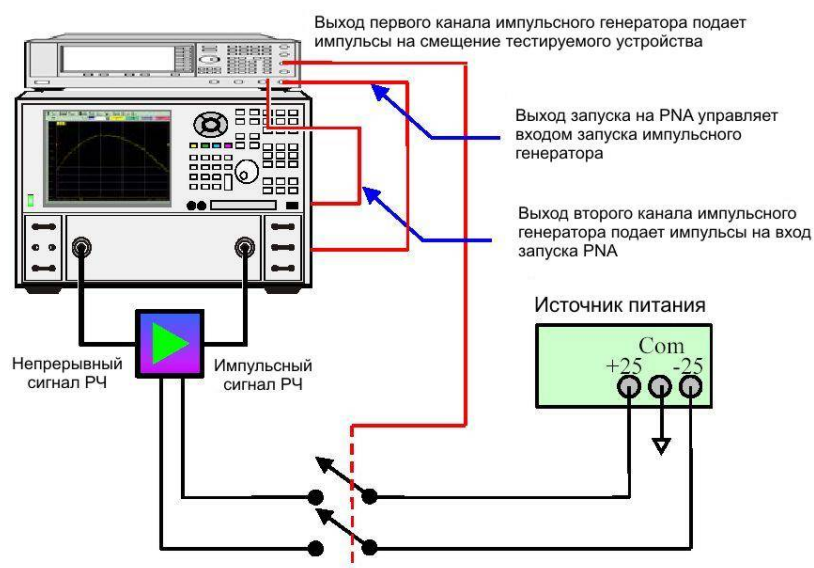


Рис. 4 – Аппаратное оборудование для импульсного смещения тестируемого устройства

Спектральное обнуление

Спектральное обнуление обычно используется, когда ширина импульса меньше, чем минимальное время, необходимое для оцифровывания и обнаружения одной дискретной точки. Поэтому, необходимо захватить несколько импульсов для получения одной точки данных. Нет строгой синхронизации между отдельными входными импульсами и дискретизацией анализатора во временной области. Представление импульсного сигнала в области имеет кратные частоте повторения импульсов дискретные частоты, которые могут фильтроваться, оставляя основную гармонику, которая несет измерительную информацию. Во время процесса переноса спектра на низкую частоту в анализаторе применяется фильтрация для подавления нежелательного шума и компонент сигнала. После оцифровки сигнала, анализатор применяет цифровой фильтр с шириной полосы промежуточной частоты, установленной пользователем. Обычно этот фильтр используется для уменьшения помех при измерении и увеличения динамического диапазона. Алгоритм цифровой фильтрации хорошо работает для не импульсных сигналов, но, что же происходит, если приемник получает импульсный сигнал?

Используя узкополосный детектор, мы в идеале хотим, чтобы цифровой прямоугольный фильтр отфильтровал все кроме основной гармоники частоты следования импульсов. Для этого необходим фильтр с минимальной частотой полосы задерживания, меньшей, чем частота повторения импульсов импульсного сигнала, с оптимальным подавлением сигнала. Частота среза фильтра должна быть довольно далеко от первой гармоники частоты повторения импульсов PRF (как показано на рис. 5), обеспечивая максимальное подавление нежелательных гармоник. Такой фильтр тяжело разработать, поскольку гармоники частоты повторения импульсов могут близко прилегать к основной гармонике. Фильтр со строго прямоугольной характеристикой в области частот имеет некоторые компромиссы, такие как избыточный звон во временной области. Разработчики фильтров применяют различные техники, чтобы получить хорошие характеристики, как в частотной, так и во временной области, сохраняя в то же время высокую эффективность фильтрации.



Рис. 5 – Область частоты "идеального" цифрового фильтра

На рис. 6 показан ответ одного из возможных цифровых фильтров промежуточной частоты, используемого в анализаторе. По форме он не прямоугольный, поэтому, если фильтр используется без изменений, он может пропустить нежелательные компоненты в области частот, вызывая ошибку измерений. Также обратите внимание, что цифровой фильтр имеет нули, расположенные периодически в области частот. Период этих нулей пропорционален частоте дискретизации приемника и зависит от структуры цифрового фильтра. Используя микроволновый анализатор серии PNA, можно фильтровать нежелательные компоненты сигнала, выравнивая нули цифрового фильтра с нежелательными компонентами импульсного спектра, оставляя основную гармонику, как это показано на рис. 7. Одно из преимуществ такой техники фильтрации заключается в том, что нули фильтра очень глубокие и обеспечивают существенное подавление компонентов импульсного спектра. Другое преимущество в том, что нули можно размещать в непосредственной близости к основной гармонике, поскольку области перехода вблизи нулей обладают большой крутизной.

Частотная характеристика фильтра промежуточной частоты 500 Гц

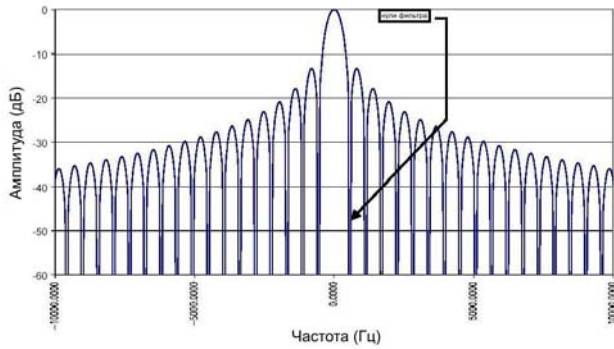


Рис. 6 – Область частот цифрового фильтра серии PNA

Частотная характеристика фильтра промежуточной частоты 500 Гц и импульсного спектра

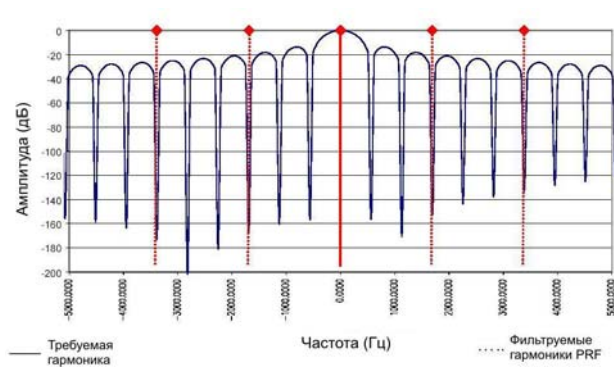
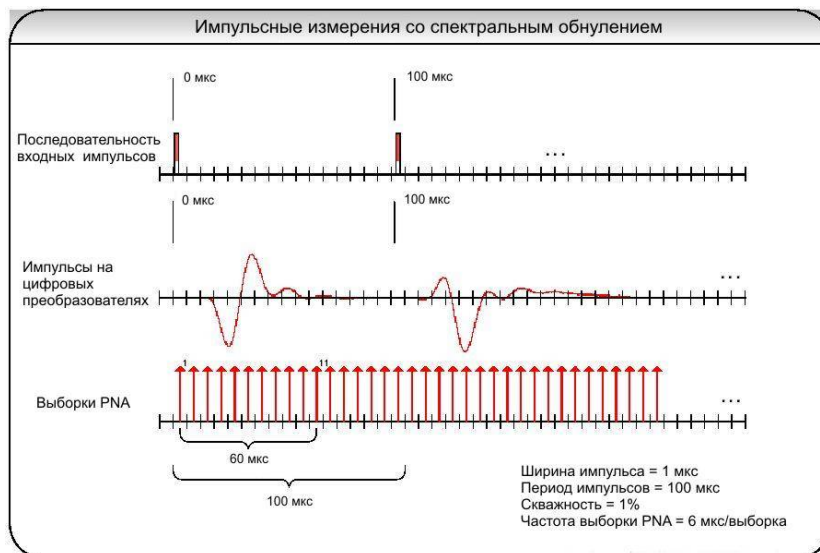


Рис. 7 – Спектральное обнуление гармоник импульсного сигнала

Проследим, что происходит во временной области. На Рис. 8 показан импульсный сигнал и дискретные выборки анализатора. Сигнал, который оцифровывается дискретизаторами, утрачивает свою первоначальную форму во временной области из-за преобразования с понижением частоты и различных аппаратных фильтрующих элементов, примененных к импульсу при прохождении через узкополосный приемник. Также обратите внимание, что формы соседних импульсов, видимые на цифровом преобразователе, отличаются из-за разницы в соотношении фаз между частотой повторения импульсов и качающейся частотой. Количество импульсов, замеренных при обнаружении одной точки, зависит от установки полосы промежуточной частоты, периода следования импульсов, ширины импульса. В данном примере измеряется импульсный сигнал с периодом 100 мкс и шириной импульса 1 мкс. Фильтр промежуточной частоты 500 Гц, выбранный для этого измерения, требует 292 выборки, расположенные на расстоянии 6 мкс друг от друга, чтобы показать одну точку на экране анализатора. Это означает, что за время обнаружения для одной точки, анализатор посылает 17 импульсов, при этом каждая оцифрованная выборка содержит данные с разных частей входных импульсов.



Количество выборок, необходимых, чтобы показать одну точку для фильтра 500Гц - 292.

Количество посланных импульсов = (292 точ. * 6 мкс.точ.) / (период импульса) = 17.52 импульсов.
Округляем к 17, поскольку 18-й импульс еще не послан.

Рис. 8 – Представление во временной области режима спектрального обнуления

При использовании режима спектрального обнуления, появляются потери динамического диапазона, соответствующие скважности (коэффициенту заполнения импульсной последовательности), которые равняются $20 \cdot \log(\text{Скважность})$. Это происходит из-за того, что узкополосный фильтр подавляет все, кроме основной гармоники импульсного сигнала. По мере уменьшения скважности, больше энергии перемещается к полосам боковых частот и меньше остается в основной гармонике. Это можно увидеть, проанализировав уравнение 2, обратив внимание на то, что величина гармоник в области частот уменьшается пропорционально ширине импульса и частоте повторения (т. е. $\text{Скважность} = (\text{PW} \cdot \text{PRF})$). Для некоторых анализаторов это может ограничить практическую применимость измерений. Одно из главных преимуществ в данном случае при использовании микроволнового анализатора серии PNA заключается в том, что могут использоваться очень короткие импульсы (т. е. меньше, чем 1 мкс) в то время как скважность остается достаточно большой, чтобы обеспечить приемлемый динамический диапазон. По мере уменьшения скважности динамический диапазон достигает точки, в которой результаты измерения не будут достаточно точными. Микроволновый анализатор PNA превосходит другие анализаторы цепей, благодаря использованию узкополосного детектирования (narrowband detection), которому присущи отличные характеристики по уровню шума и динамическому диапазону, а также использованию спектрального обнуления (см. Рис. 9²).

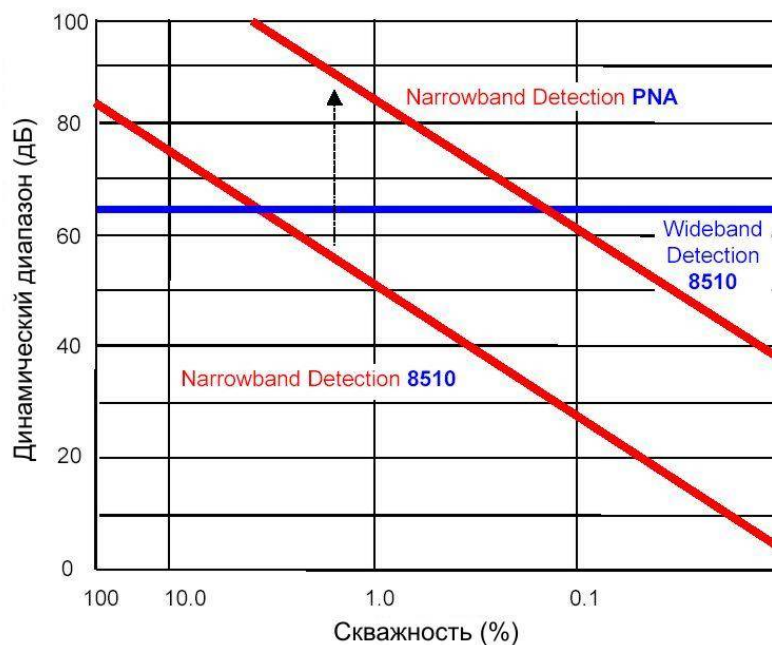


Рис. 9 – потери от скважности при использовании режима "Спектральное обнуление"

² Этот рисунок предназначен только для иллюстрации, и не отображает точно динамический диапазон.

Конфигурация аппаратного оборудования

Для измерения компонента, используя технику спектрального обнуления, необходима модуляция, обеспечиваемая модулированием смещения тестируемого устройства или импульсным сигналом (стимулом). На рис. 10 показана конфигурация аппаратного оборудования для измерений с импульсным сигналом. Временные селекторы (модуляторы) помещаются перед генератором и приемниками, где задержка и ширина каждого из этих временных селекторов может устанавливаться независимо. Это позволяет создавать импульсы на выходе внутреннего источника анализатора и обеспечивать временную селекцию для приемников при измерениях в режимах "точка в импульсе" и "pulse profiling", как показано в следующем разделе. Внешние модуляторы и генераторы импульсов накладывают ограничения на ширину импульсов. Генератор импульсов должен иметь вход опорного сигнала (10 МГц) с фазовой автоподстройкой частоты, чтобы синхронизировать анализатор и генератор по времени. Это необходимо, чтобы гарантировать привязку компонентов фильтра в области частот и спектра импульсов при выравнивании нулей с гармониками частоты следования импульсов. Микроволновый анализатор серии PNA должен иметь опции H08 и H11. Опция H11 обеспечивает аппаратную временную селекцию на промежуточной частоте при измерениях в режимах "точка в импульсе" и "форма импульса". Опция H08 предоставляет прикладное ПО для конфигурирования анализатора в режиме спектрального обнуления.

В данной конфигурации внешний соединитель используется для установления обратной связи импульсного сигнала с опорным приемником. Это выгодно в том случае, если измерение устанавливает соотношение параметров, поскольку любые отклонения во внешних компонентах после калибровки будут иметь минимальный эффект на результаты измерения. И измерительный, и опорный приемники видят одинаковые отклонения. Модулятор размещается после генератора импульсов, его частотная характеристика должна удовлетворять требованиям тестируемого устройства (т. е. должен передавать сигнал от генератора с минимальным затуханием). После модулятора может помещаться усилитель, чтобы обеспечить постоянное согласование для источника при измерениях и калибровке, а также он может использоваться для увеличения мощности импульсного сигнала. Также может понадобиться развязка (перед модулятором) для отделения источника анализатора от модулятора, так чтобы, когда модулятор выключен (через модулятор не проходит энергия), любые сильные отражения (из-за нарушения согласования в состоянии модулятора "выключено") уменьшались перед тем, как попасть в анализатор. Может также понадобиться фильтр верхних частот (после модулятора) для фильтрации прохождения генерируемого модулятором паразитного видеосигнала³, который может мешать работе анализатора.

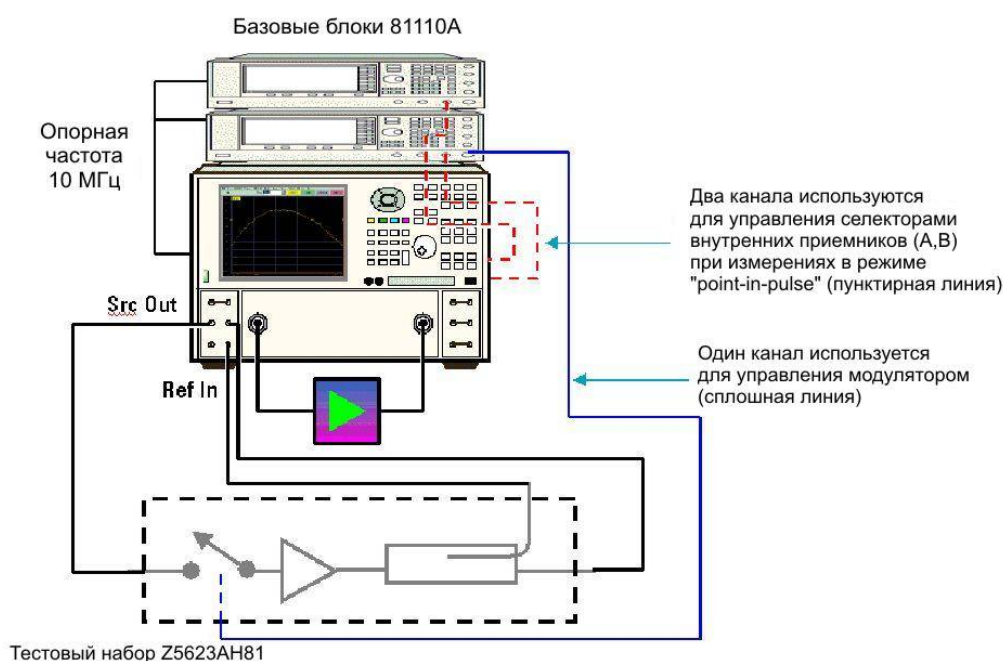


Рис. 10 – Аппаратное оборудование для импульсного входного сигнала

³ Низкочастотное содержимое, которое генерируется при подаче импульсов на модулятор.

Типы измерения реакции на импульс

Существует три разных типа измерения реакции на импульс, которые могут использоваться для характеристики импульса. Любой из них может использоваться или с техникой синхронного обнаружения импульса или с техникой спектрального обнуления, используя стробирование приемника в микроволновом анализаторе PNA. Стробирование приемника происходит при помощи добавления временных селекторов (переключателей) ПЧ (IF gate) после первого преобразователя (см. рис. 11). Эти временные селекторы управляются уровнями ТТЛ и обеспечивают аппаратную возможность производить измерения в режимах "точка в импульсе" и "форма импульса", обеспечивая задержку и ширину для входящего импульсного радиочастотного сигнала.

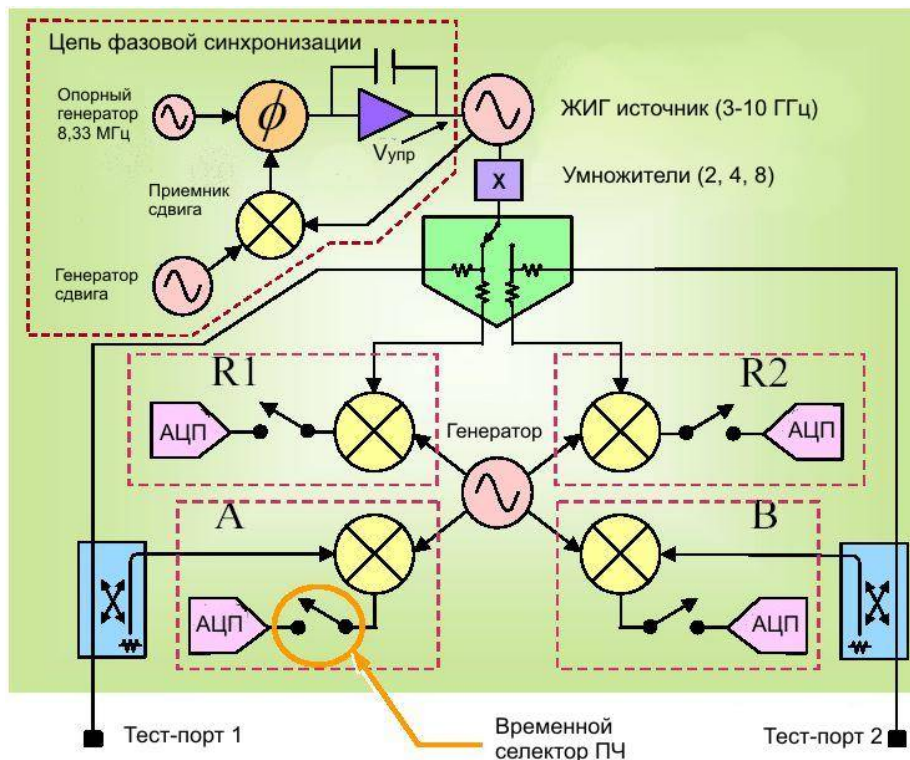


Рис. 11 — Временные селекторы ПЧ анализатора PNA для измерения в режимах "точка в импульсе" и "форма импульса"

- Измерения "средний импульс" (average-pulse) производятся без применения к приемнику задержки запуска или временной селекции. Это означает, что приемник измеряет и интегрирует всю энергию от тестируемого устройства на всем протяжении импульса. В результате длительность селекции устанавливается равной или больше длительности импульса.
- Измерения "точка в импульсе" дают пользователю возможность проводить измерения на выходе тестируемого устройства в любой точке во время прохождения импульса, применяя временную задержку между импульсом с источника/на смещении и началом сбора данных приемниками. Ширина временного селектора, в котором энергии импульса позволено проходить в приемники, также может устанавливаться, обеспечивая регулируемое окно интеграции для приемника.
- Измерение "форма импульса" подобно измерению "точка в импульсе", за исключением того, что информация измерения показана во временной области, на частоте гармонических колебаний, где на временной оси представлено измерение "точка в импульсе" с регулируемой задержкой времени (т. е. от начальной задержки до конечной задержки). Это можно представить в виде "прохода" измерения "точка в импульсе" вдоль пакета импульса. В микроволновом анализаторе PNA минимальная ширина временного селектора приемника составляет приблизительно 100 нс, что обеспечивает превосходное разрешение для стробоскопического анализа импульса.

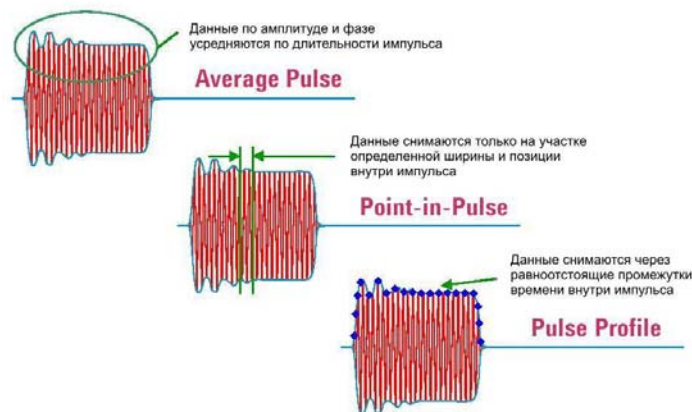


Рис. 12 – Типы измерения реакции на импульс

Пример измерения

На рис. 13 показано сравнение измерений S-параметров фильтра между сигналом без импульсов (график в памяти - memory trace) и сигналом с импульсами шириной 300 мкс (график данных - data trace) при одинаковых настройках полосы промежуточной частоты. Для импульса шириной 300 мкс используется режим спектрального обнуления. При скважности 1.35% динамический диапазон эффективно уменьшен на 37.4 Дб ($20 \cdot \log(\text{Скважность})$). Это можно наглядно представить, сравнивая на маркере подавление на графике памяти с подавлением на графике данных. На графике данных видно, что значение подавления в полосе затухания достигает 80 дБ. График в памяти показывает подавление приблизительно 115 дБ, что составляет 35 дБ разницы, что соответствует 37.4 дБ потерь из-за скважности. Если необходимо, можно вернуть 10 дБ ($10 \cdot \log(\text{количество средних значений})$), применяя 10 средних значений к измерению (см. Рис. 14).



Рис 13 – Режим спектрального обнуления с шириной импульса 300 мкс, скважностью 1.35% , без усреднения

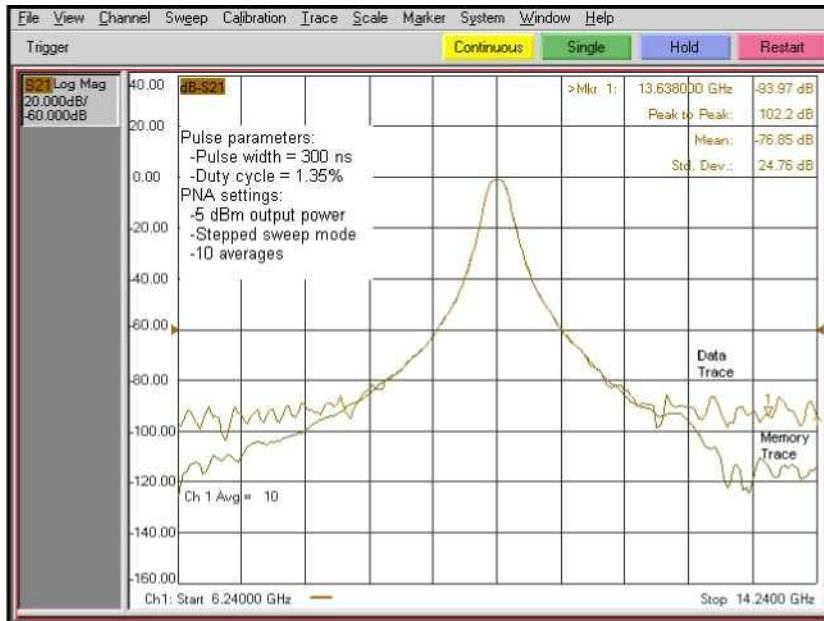


Рис. 14 – Режим спектрального обнуления с шириной импульса 300 нс, скважностью 1.35%, 10 средних значений

С шириной импульса 300 нс и скважностью 1.35% частота повторения импульсов (PRF) составит 45 кГц. Это означает, что первая гармоника частоты повторения импульсов отстоит на 45 кГц от основной гармоники. На рис. 15 показано подобное измерение с той же скважностью 1.35%, но с шириной импульса 5 мкс. В данном случае частота повторения импульсов составляет 2.7 кГц, что помещает гармонику частоты повторения импульсов намного ближе к основной гармонике. Техника узкополосного обнаружения не всегда справляется с подавлением гармоники, которая находится так близко к основной. Однако техника спектрального обнуления не имеет проблем с режекцией этой гармоники. Можно было бы предположить, что потеря из-за скважности была бы такой же для примеров с шириной 300 нс и 5 мкс, потому что скважности одинаковые. Это показано на рис. 13 и 15, где области подавления для обоих примеров одинаковы на уровне приблизительно 80 дБ.

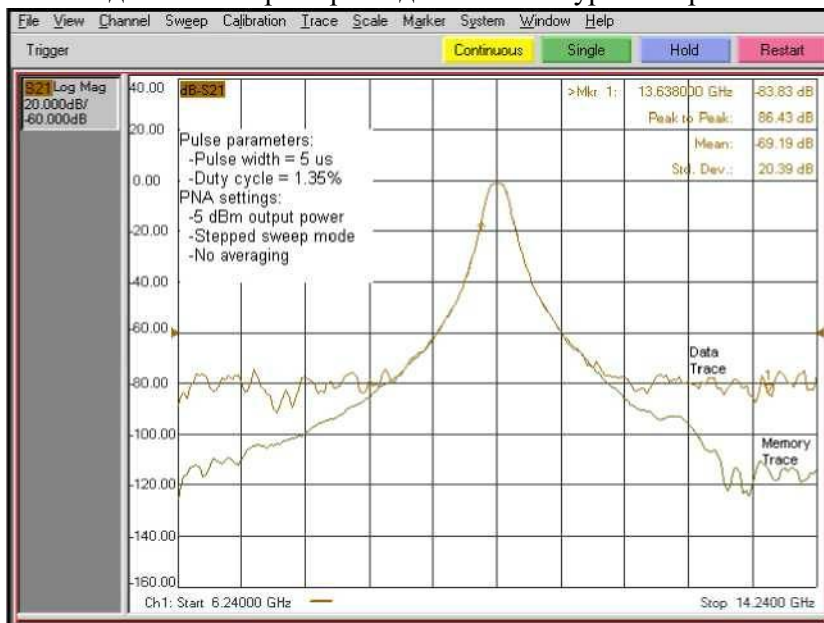


Рис. 15- Режим спектрального обнуления с шириной импульса 5 мкс, скважностью 1.35% без усреднения

Заключение

Результаты показывают, что точные импульсные измерения можно проводить с помощью микроволнового анализатора серии PNA фирмы Agilent. И режим синхронного обнаружения импульса, и режим спектрального обнуления предлагают гибкие альтернативы для измерения импульсных S-параметров компонентов. Очень узкие импульсы (длительностью <1 мкс) могут использоваться до тех пор, пока скважность достаточно велика, чтобы обеспечить приемлемый для измерений динамический диапазон. Исключительная аппаратная эффективность микроволнового анализатора PNA и использование режима спектрального обнуления значительно компенсируют ограничения техники узкополосного обнаружения для импульсных измерений. Микроволновые сетевые анализаторы Agilent E8362/3/4B и E8361A серии PNA должны оснащаться опциями N08 и N11, если необходимо использование режимов измерения "точка в импульсе/форма импульса".

За более подробной информацией о конфигурациях для импульсных измерений обращайтесь к Agilent Technologies.

Лорэн Бэтс (Loren Betts) пришел в компанию Agilent Technologies в 1997 году после окончания университета провинции Альберта, Канада, получив степень бакалавра по компьютерной технике. В 2003 г. он получил степень магистра по проектированию электрических устройств в Станфордском университете. Сейчас он работает в качестве специалиста в прикладной области, занимается сетевым анализом в отделе испытания компонентов компании Agilent.

Подписи под рисунками

Уравнение 1 - Обзор временной области импульсного сигнала	1
Уравнение 2 - Преобразование Фурье импульсного сигнала во временной области	1
Рисунок 1 - Область частот импульсного сигнала.....	2
Рисунок 2 - Увеличенная область частот импульсного сигнала.....	2
Рисунок 3 - Изображение временной области режима синхронного импульсного обнаружения	3
Рисунок 4 - Аппаратное оборудование для импульсного смещения тестируемого устройств.....	4
Рисунок 5 - Область частот "идеального" цифрового фильтра.....	5
Рисунок 6 - Область частот цифрового фильтра серии PNA	
Рисунок 7 - Спектральное обнуление гармоник импульсного сигнала	6
Рисунок 8 - Представление во временной области режима спектрального обнуления	6
Рисунок 9 - Потери от скважности при использовании режима "Спектральное обнуление".....	7
Рисунок 10 - Аппаратное оборудование для импульсного входного сигнала.....	8
Рисунок 11 - Временные селекторы ПЧ анализатора PNA для измерения в режимах "точка в импульсе" и "форма импульса"	9
Рисунок 12 - Типы измерения реакции на импульс.....	10
Рисунок 13 - Режим спектрального обнуления с шириной импульса 300 мкс, скважностью 1.35%, без усреднения.....	10
Рисунок 14 - Режим спектрального обнуления с шириной импульса 300 мкс, скважностью 1.35%, 10 средних значений	11
Рисунок 15 - Режим спектрального обнуления с шириной импульса 5 мкс, скважностью 1.35%, без усреднения.....	11

Справочная литература:

Agilent Technologies, "Pulsed Measurements using the Microwave PNA Series Network Analyzer", Agilent Technologies White Paper 5988-9480EN

Agilent Technologies, "Triggering the PNA Series Network Analyzer for Antenna Measurements", Agilent Technologies White Paper 5988-9518EN

Agilent Technologies, "Pulsed Measurements with the Agilent 8720ES and 8753ES Network Analyzers", Agilent Technologies Product Note, May 2000

Agilent Technologies, "Using a Network Analyzer to Characterize High-Power Components", Agilent Technologies Application Note AN 1287-6, Mar 2003

J. Barr, R. Grimmet, and R. McAleenan, "Pulsed-RF Measurements and the HP 851 0B Network Analyzer", HP RF & Microwave Measurement Symposium and Exhibition, Aug 1988

Hewlett Packard, "85108A Pulsed Network Analyzer System", Hewlett Packard System Manual, March 1995

Hewlett Packard, "HP 851 0B Pulsed-RF Network Analyzer", HP Users Guide, March 1995

J. Scott, M. Sayed, P. Schmitz, and A. Parker, "Pulsed-bias / Pulsed-RF Device Measurement System Requirements", 24th European Microwave Conference, pp. 951-961, Cannes France, September 5-8, 1994.

J. Swanstrom, R. Shoulders, "Pulsed Antenna Measurements with the 8530A Microwave Receiver", Hewlett Packard, AMTA conference, undated

P. Schmitz, M. Sayed, "Techniques for Measuring RF and MW Devices in a Pulsed Environment", Hewlett Packard, Feb 1993

B. Taylor, M. Sayed, K. Kerwin, "A Pulse Bias / RF Environment for Device Characterization", 42nd IEEE ARFTG, San Jose, CA, Dec 1993

Hewlett Packard, "Pulsed-RF Network Analysis using the 851 0B", HP Product Note 8510-9, Jan 1988 Hewlett Packard, "Spectrum Analysis - Pulsed-RF", HP Application Note 150-2

D. C. Nichols, "Capture and Analysis of Individual Radar Pulses Using a High-Speed, High-Resolution Digitizer", HP RF & Microwave Measurement Symposium, Sept 1987