

Замечания по применению AN2005

Измерение фазового шума импульсных радиочастотных сигналов с помощью анализатора источника сигнала PNA

Применение

В импульсных радиолокационных системах фазовый шум гетеродина приемника задает минимальный уровень отраженного от цели сигнала, который должен быть обнаружен. Поскольку на общий динамический диапазон радиолокационной системы влияет шум передаваемого сигнала, важно знать не только абсолютный шум отдельных генераторов, но и остаточный или аддитивный шум устройств обработки сигналов, таких как усилители мощности и импульсные модуляторы.

Так как конечный сигнал в большинстве радиолокационных систем является импульсным, измерение абсолютного фазового шума на импульсной несущей имеет важное значение для определения общей характеристики системы.

В этой заметке по применению обсуждаются различные компромиссы при измерении фазового шума импульсного ВЧ-сигнала и то, насколько легко это можно выполнить с помощью анализатора источника сигнала PNA.

Введение

Измерения импульсного шума традиционно проводились с использованием индивидуальных тестовых комплектов со сложными и длительными процедурами калибровки. Анализатор источника сигнала PNA имеет возможность производить измерения фазового шума на импульсных несущих и устройствах быстрым и воспроизводимым способом. Это позволяет сэкономить время в процессе разработки и определения окончательных характеристик.

Импульсный радиочастотный сигнал обычно описывается **периодом его импульса Т** и **шириной его импульса τ** . **Частота повторения импульсов PRF** - это частота, с которой повторяются импульсы. Связь между PRF и Т такова:

$$PRF = 1/T$$

Более сложные импульсные радиочастотные сигналы могут состоять из изменяющейся во времени ширины импульса τ или произвольных (периодических) импульсных последовательностей.

Рабочий цикл (величина обратная скважности) определяется отношением τ/T (средней) ширины импульса к периоду импульса. В более общем виде он представляет собой долю времени, в течение которого импульс включен во время наблюдения.

Импульсно-модулированный сигнал в частотной области уже не является дискретной спектральной линией, а распространяется по частотам как выше, так и ниже номинальной частоты сигнала в виде боковых полос модуляции за счет случайных фазовых флуктуаций. Это «фазовый шум» сигнала. При любом заданном смещении от несущей фазовый шум может быть представлен в виде пары дискретных боковых полос (SSB).

Теперь возникает вопрос, как импульсная модуляция влияет на распределение фазового шума SSB непрерывной несущей (CW).

Когда CW-несущая модулируется по амплитуде импульсным сигналом, синусоидальная волна, представленная каждой спектральной линией в спектре импульсного сигнала, создает две боковые полосы: верхнюю боковую полосу и нижнюю боковую полосу. В процессе модуляции шум непрерывной несущей "накладывается" на каждую из линий боковой полосы в спектре импульсной несущей.

Составной шум на несущей (центральная частота) был увеличен суммой наложенного шума на каждую из линий боковой полосы, взвешенного функцией дискретизации $\text{sinc}(x) = \sin(x)/x$. Информация о фазовом шуме на несущей CW на отстройках выше PRF/2 была сглажена с точностью до $\pm PRF/2$ от несущей в результирующем спектре импульсной несущей.

Эффект от этого, с точки зрения измерения фазового шума, заключается в том, что после обнаружения отсутствует новая информация о фазовом шуме выше отстроек PRF/2.

Следует отметить, что форма кривой распределения энергии фазового шума непрерывной несущей будет влиять на степень ухудшения шума при различных отстройках от несущей. Обычно крутизна ближнего фазового шума (от 0 до 100 Гц) весьма велика, порядка 20-40 дБ на декаду. Из-за взвешивания $\sin(x)/x$ наложенный шум на этих отстройках будет намного ниже шума CW и будет наблюдаться небольшое ухудшение. При более высоких отстройках, вплоть до PRF/2, ухудшение будет более очевидным, особенно если кривая шума CW имеет пьедестал.

Выполнение измерения на анализаторе источника сигнала APPII

С помощью PNA можно напрямую анализировать фазовый шум импульсных сигналов с частотой повторения импульсов до нескольких МГц, с узкими импульсами менее 100 нс или даже с изменяющейся во времени шириной импульса.

Измерение шума на импульсной несущей будет осложнено следующими эффектами:

- Уменьшенный динамический диапазон из-за пониженной мощности сигнала (рабочий цикл)
- Ограниченный диапазон отстройки частоты (PRF/2)
- Насыщение ступеней ПЧ за счет пропуска PRF

Специализированная архитектура PNA в большинстве случаев позволяет преодолеть ограничивающие факторы и позволяет выполнять даже очень сложные измерительные задачи.

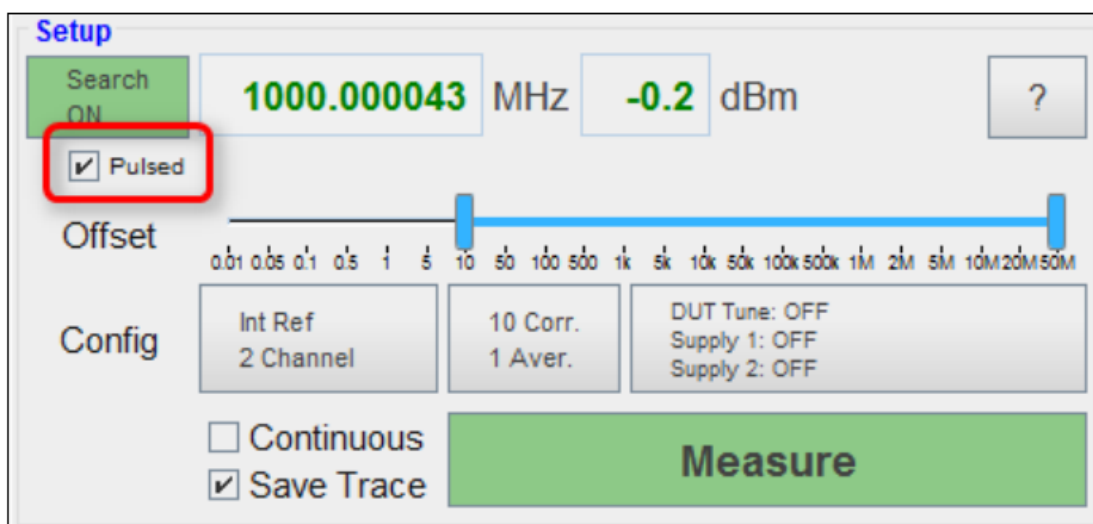


Рисунок 1 Импульсный режим можно активировать с помощью флажка.

Затем системе необходимо знать несущую частоту, чтобы выбрать правильные внутренние каналы распространения сигнала. Автоматическое определение несущей частоты и уровня мощности не всегда может работать, особенно для узких импульсов модуляции. Существуют два варианта, чтобы сообщить графическому интерфейсу параметры сигнала:

- 1) Если возможно, отключение импульсной модуляции на РЧ несущей (т.е. настройка только CW) позволит устройству обнаруживать сигнал. При повторном включении импульсной модуляции последняя правильно определенная частота будет запомнена PNA.

2) Если выключение импульсной модуляции невозможно, необходимо вручную установить несущую частоту, отключив поиск сигнала. Нажмите зеленую кнопку *Search ON*, чтобы выключить её. Кнопка станет красной. Теперь точную частоту можно ввести в текстовом поле.

Измерение можно запустить, нажав зеленую кнопку *Measure*.

При запуске устройство автоматически определяет частоту повторения импульсов (PRF) и рабочий цикл (т.е. ширину импульса), а также автономно выполняет процесс захвата и окончательное измерение. В зависимости от конфигурации сигнала и импульса процесс захвата может занять несколько секунд.

Результирующий фазовый шум будет отображаться вплоть до обнаруженной частоты импульса, чтобы помочь интерпретировать измерение. Как подчеркивалось в предыдущем разделе, согласно теории дискретизации, допустимый диапазон отстройки измерения ограничен $PRF/2$ (поскольку импульсный ВЧ-сигнал по существу является дискретизированной версией несущей CW с частотой дискретизации, равной PRF).

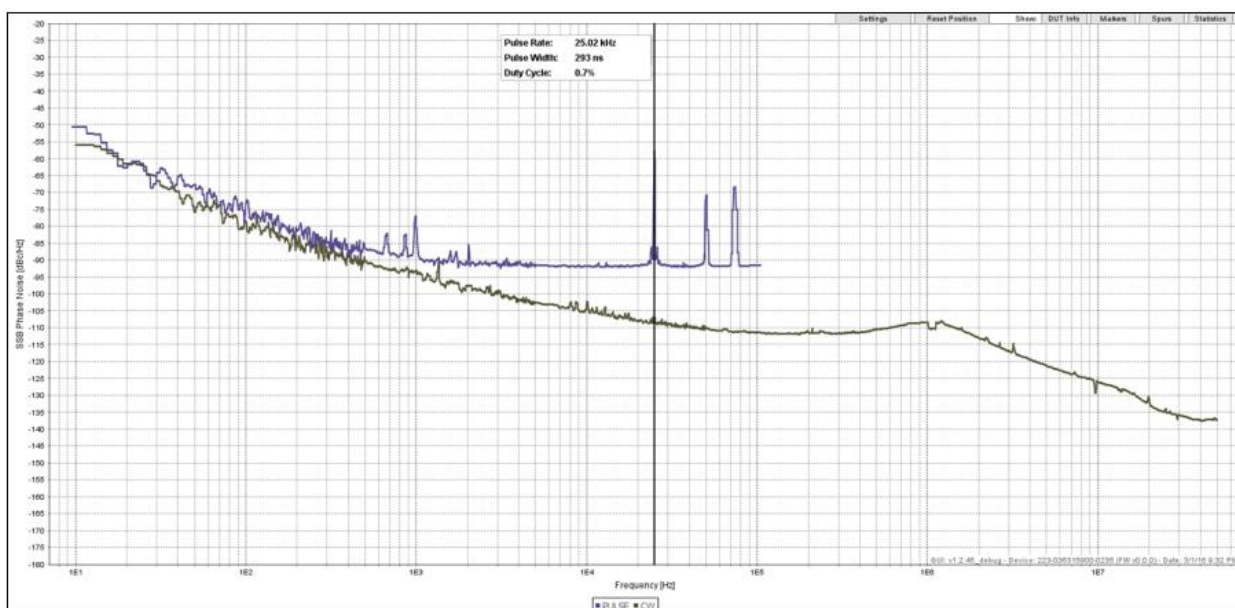


Рисунок 2 Пример измерения сигнала 10 ГГц как в непрерывном, так и в импульсном режиме.

Результирующий график фазового шума для примера измерения можно увидеть на рисунке 2. Он показывает абсолютный фазовый шум сигнала 10 ГГц.

Измерения проводились как для CW (зеленый), так и для импульсной несущей (синий). Импульсная модуляция была настроена с частотой следования импульсов 25 кГц и шириной импульса 0,3 мкс, в результате чего рабочий цикл составлял 0,7%. Как и ожидалось из нашего предыдущего анализа, для небольших отстроек до нескольких сотен Гц фазовый шум импульсной несущей не отклоняется от фазового шума непрерывной несущей. Однако, при более высоких сдвигах частоты результирующий фазовый шум импульсного сигнала существенно ухудшается.

Заключение

Спрос на решения для измерения фазового шума, которые могут обрабатывать импульсные радиочастотные сигналы, возрастает. В этом руководстве по применению объясняется основная терминология измерений импульсного фазового шума и показано, как просто можно выполнять сложные импульсные измерения. Показаны этапы выполнения абсолютного измерения фазового шума импульсного ВЧ-сигнала с помощью анализатора источника сигнала PNA.