



## МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
"Московский технологический университет"

### МИРЭА

---

---

Филиал МИРЭА в г. Фрязино

Кафедра общенаучных дисциплин

ПРИНЯТО  
на заседании кафедры ОНД  
(протокол № 4  
от «24» декабря 2015 г.)

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_)  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2015 г.

---

**Д.А.Ковтунов, Л.А.Макарова, Л.А.Троицкая**

### Измерение шумов

Методические указания к выполнению лабораторных работ на анализаторе шума фирмы Agilent для студентов по направлению подготовки 11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств» и 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника».

В данных лабораторных работах Вы изучите встроенное функциональное приложение измерения фазового шума. Типичное использование клавиш будет выделено, и соответствующие последовательности нажатия клавиши будут обеспечены.

**ОБРАТИТЕ ВНИМАНИЕ:** Все демонстрационные нажатия клавиш, окруженные  , указывают на твердые клавиши передней панели и нажатия клавиш, окруженных { }, указывают на программируемые клавиши на дисплее. Если приложение анализатора сигналов теряет фокус (передние клавиши на панели становятся не быстро реагирующими), нажмите ALT + TAB вместе, или можно использовать мышь, чтобы щелкнуть по экрану SA.

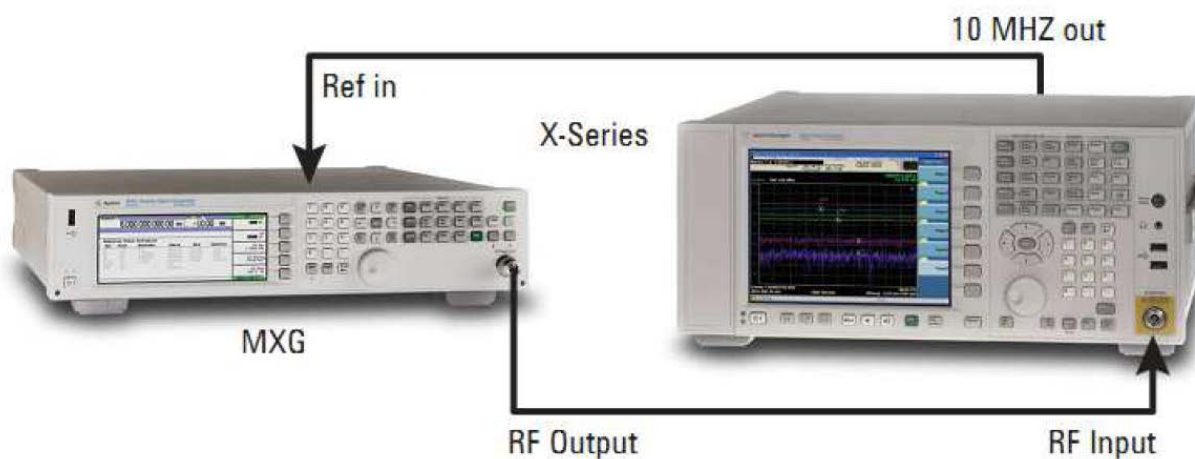


Рисунок 1: Соединение измерительных приборов

### Быстрое начало измерения Фазового шума:

1. Подключите анализатор спектра и MXG генератор как показано на схеме ниже (см. рисунок 1),
  - Подключить выход 10 МГц анализатора к входу **Ref In** MXG (контрольный (эталонный – reference) вход MXG примет значение по умолчанию внешнего эталонного выхода анализатора спектра).
  - Подключить RF выход генератора сигналов N5182B MXG к RF входу анализатора спектра.

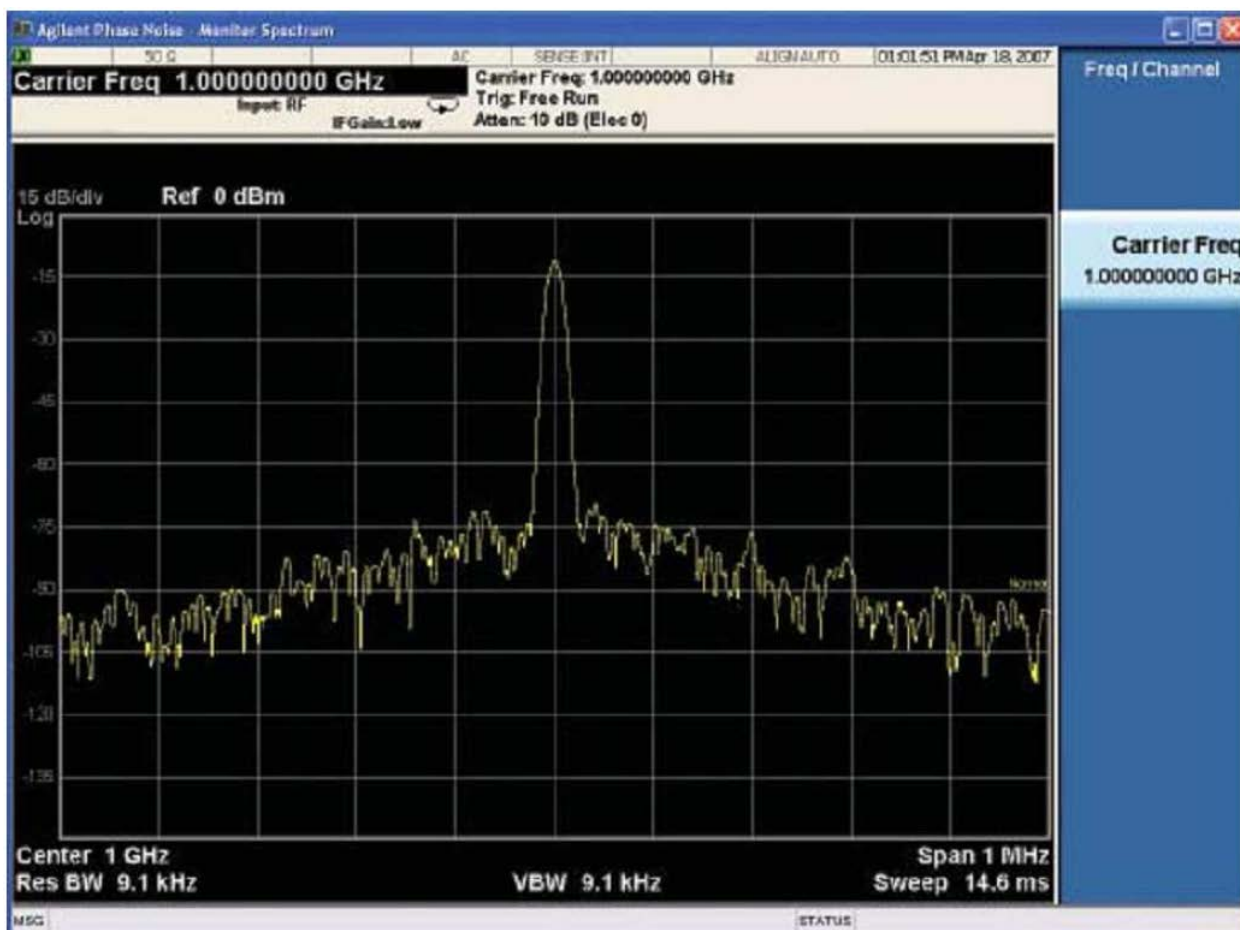


Рисунок 2: спектр на экране Монитора при проверке сигнал, поступающего из MXG генератора.

#### На MXG генераторе:

Инструкция для источника	Нажатия клавиш для источника
Установить центральную частоту 1 ГГц, амплитуду -10 dBm, непрерывный сигнал (нет модуляции)	[Preset] [Freq] [1] {GHz} [Amptd] [-10] {dBm} [Mod Off] [RF On]

#### На анализаторе спектра:

Инструкция для анализатора	Нажатия клавиш для анализатора
Введите встроенное приложение измерения фазового шума, установите центральную частоту в 1 ГГц, и просмотрите получающийся спектр  См. рисунок 2, чтобы контролировать Ваше продвижение	(Mode) {More (пока Вы не видите приложение измерения фазового шума)} {Phase Noise} {Carrier Freq} [1] {GHz} [Amptd] {Ref Value} [0] (dBm) [Freq] соответствовать рисунку 2 выше

## Лабораторная работа 1.

### Измерение фазового шума – логарифмическая диаграмма.

В этом подразделе показано, как выполнить измерение логарифмической диаграммы источника сигнала. Логарифмическая диаграмма представляет спектральную плотность фазового шума в одной боковой полосе (в единицах дБн/Гц) в зависимости от частоты отстройки от несущей по горизонтальной оси в логарифмическом масштабе. Это позволяет видеть поведение фазового шума испытываемого сигнала в пределах нескольких декад частот отстройки. Проводя измерение - логарифмическая диаграмма Фазовых шумов, Вы можете использовать в своих интересах следующее:

- · комплект усовершенствованных функций маркера;
- улучшенное отслеживание несущей частоты с более быстрым сигнальным отслеживанием;
- автоматическую настройку, которая помогает Вам найти сигнал из полного спектра частот;
- устранение амплитудной компоненты шума (АМ), которое работает при смещении равном и меньше чем 1 МГц так, чтобы Вы наблюдали только фазовый компонент шума;
- функцию перегрузки, которая улучшает динамический диапазон при смещениях более 1 МГц и обеспечивает более широкий динамический диапазон для Измерения – логарифмическая диаграмма .

Инструкция для анализатора	Нажатия клавиш для анализатора
Вид спектра в режиме <b>Log Plot</b>	<b>[Meas] {Log Plot}</b> Метод логарифмической диаграммы измеряет фазовый шум одной боковой полосы (в дБ/Гц). По оси X откладывается смещение частоты, которое может быть установлено от 10 Гц до максимума частоты анализатора сигнала
Изменение диапазона смещения	<b>[SPAN] {Start Offset} [10] {Hz} {Stop Offset} [100] {MHz} [Restart]</b> Нажатие клавиши Restart позволяет анализатору развертывать требуемый диапазон
Включение декадной таблицы	<b>[Meas Setup] {More 1 of 2} {Decade Table On}</b> Поскольку никакой источник не может произвести

	<p>совершенную синусоидальную волну и все устройства ввода-вывода добавляют определенную степень шума, это важно для определения количественных показателей фазового шума этих устройств.</p> <p>Например, фазовый шум, который передается радиопередатчиком, может вызвать интерференцию с пользователями в соседних каналах. Это важно для определения будет ли величина фазового шума при различных отстройках частоты достаточно большой, чтобы влиять на соседние каналы.</p>
Выключение сглаживания трассы	<p><b>[Trace/Detector]</b> {Select Trace} {Trace 2} {Blank}</p> <p>Предварительная установки в режиме логарифмической диаграммы содержит сглаживание трассы, которая может быть изменена или удалена.</p>
Вернуть трассу назад	<p><b>{Smoothed}</b></p>
Настройка количества сглаживаний	<p>[Meas Setup] {Smoothing}</p> <p>Введите любое число между [0] и [16] и затем нажмите {pct}, или используйте клавиши со стрелками или колесо, чтобы изменить уровень сглаживания, требующееся для трасс.</p> <p>Смотрите на результирующую голубую трассу, получившуюся при увеличении сглаживания. Сглаживание уменьшает изменение сигнала.</p>

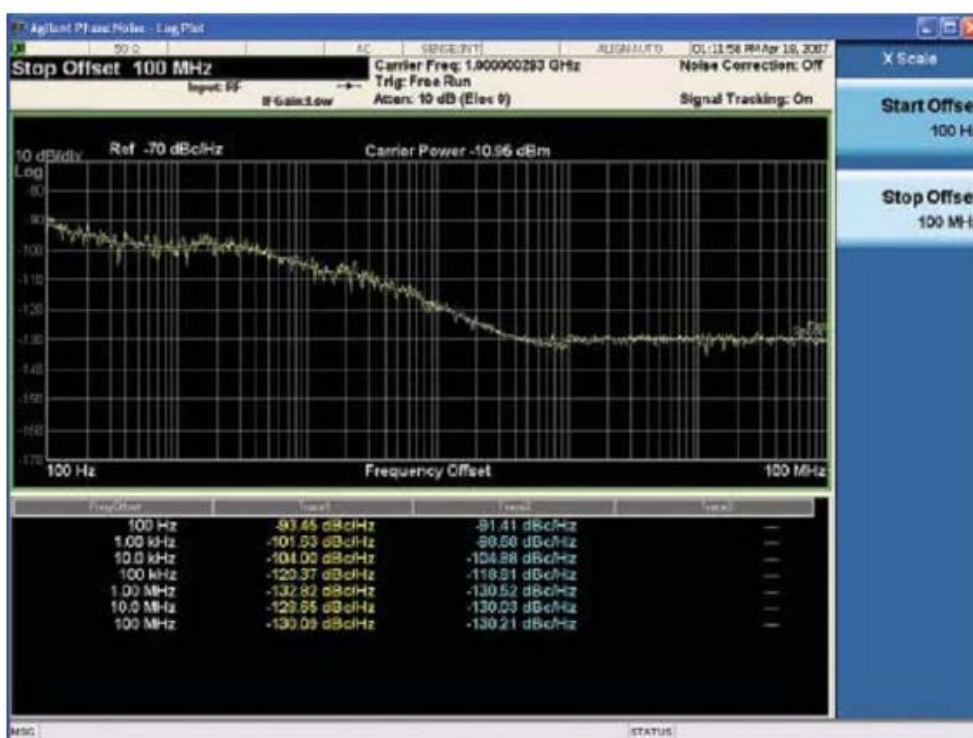


Рисунок 3: Логарифмическая диаграмма фазового шума с сглаженной трассой и включенной декадной таблицей

## Лабораторная работа 2 . Измерение интегрированного шума

Когда базовое измерение фазового шума (описанное выше) завершено, с помощью маркеров можно измерить другие параметры шума.

Функции маркера позволяют Вам:

- Характеризовать поведение фазового шума связанное с различными углами для различных приложений;
- Скорректировать интегральную полосу пропускания за счет использования усовершенствованного маркера полосы на логарифмической диаграмме;
- Вычислить среднеквадратичную девиацию фазы RMS (или остаточную ЧМ) в градусах или радианах;
- Вычислить СКЗ джиттера фазы в секундах;
- Вычислить остаточный FM в Гц;
- Представить числовые показания маркера для расчетных результатов;
- Считывать представления многократных маркеров в таблице маркера

Инструкция для анализатора	Нажатия клавиш для анализатора
Активация маркеров для измерения джиттера (Jitter) в моде <b>Log Plot</b>	<b>[Marker Function]</b> {RMS Noise} {Jitter} Фазовый шум часто определяется количественно, используя СКЗ (RMS) девиации фазы в градусах, радианах, или джиттер (дрожание). Можно изменить измерение на градусы или радианы выбирая {RMS Noise} и затем {Degree} или {Radian}. Например, девиации фазы RMS (включая джиттер), определенные количественно для фазового шума используется разработчиком цифрового передатчика /приемника для оценки стабильности высокочастотных часов.
Установка полосы интегрирования от 1-10 kHz смещения от частоты несущей	{Band Adjust}(установка полосы) {Band/Interval Left}( начало полосы/интервала) <b>[1]</b> {kHz} {Band/Interval Right} (конец полосы/интервала) <b>[10]</b> {kHz} Девиация RMS фазы оценивается, интегрируя в требуемой полосе (смещение на 1-10 кГц в данном случае). Считайте значение RMS джиттера в вершине правого угла экрана в зеленом.
Включение таблицы марке-	<b>[Marker]</b> {More 1 of 2} {Marker Table On}



<p>ров</p> <p>Добавьте другой маркер, чтобы измерить остаточный FM</p>	<p><b>[Marker Function]</b> {Select Marker}{Marker 2} {Residual FM}</p> <p>Таблица маркера может использоваться, чтобы просмотреть множественные типы измерений фазового шума одновременно. Отметьте, что можно скорректировать полосу для каждого индивидуального маркера.</p> <p>Остаточный FM, измеренный в Гц, важен для разработки и производства усилителей.</p> <p><b>[Marker]</b> {More 1 of 2} {Marker Table Off} {All Markers Off}</p>
--	--



Рисунок 4: Вычисление среднеквадратичного (RMS) значения джиттера фазового шума, используя маркер полосы

Маркеры полосы появляются на графике в виде вертикальных линий зелёного цвета, с центральной частотой отмеченной ромбическим знаком (рисунок 2.3 на странице 25). С помощью ручки настройки RPG можно визуально установить маркеры на экране. Поскольку логарифмическая шкала графика по оси X нелинейна, а положение центрального маркера полосы определяется по линейному закону, маркер начала полосы будет дальше от центра, чем маркер конца полосы.

Отображаемые значения полосы интегрирования соответствуют последнему циклу сбора данных. Если не активирована клавиша CONT (непрерывное измерение), данные не будут обновляться, пока не будет нажата клавиша SINGLE (однократное измерение) или Restart (перезапуск).

### **Лабораторная работа 3. Измерения в частотной точке (*Spot Frequency Measurement*).**

Измерение в частотной точке представляет измерение фазового шума в одной боковой полосе при определённой частотной отстройке от несущей. Среднее значение в точке графика отображается на экране синей линией. Обычно анализатор устанавливается в режим непрерывной развёртки, хотя однократное измерение может быть выполнено установкой для клавиши Sweep варианта Single (однократно).



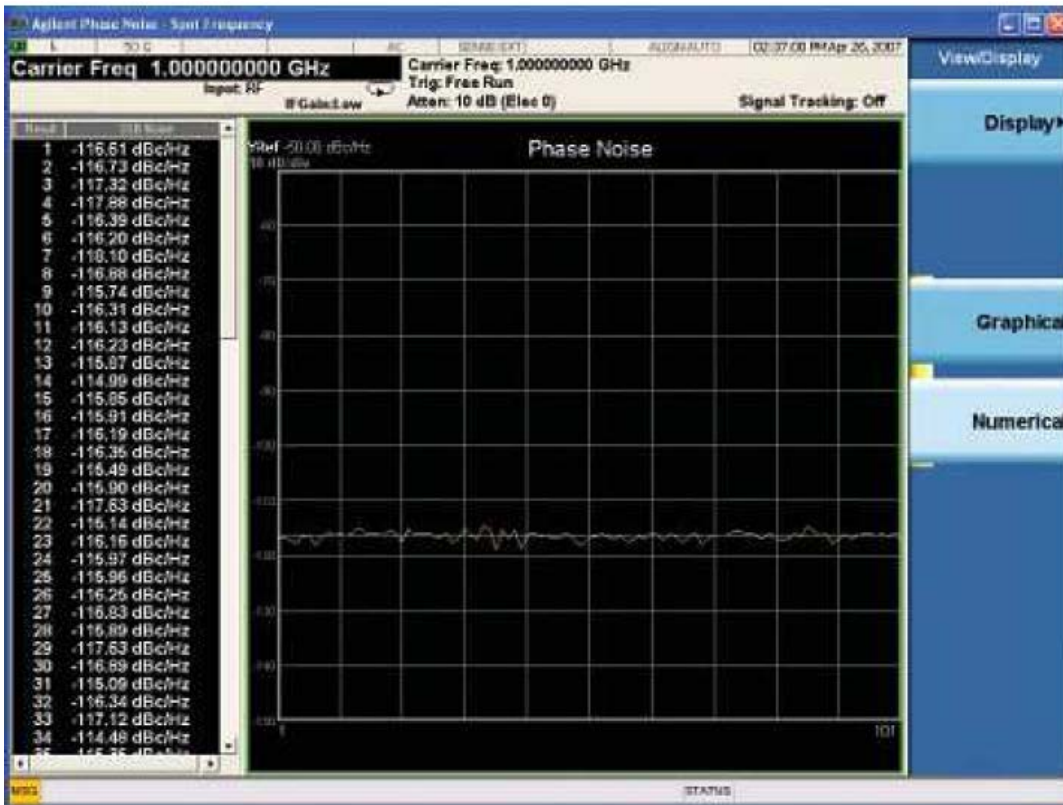


Рисунок 5: Фазовый шум от времени с числовыми результатами

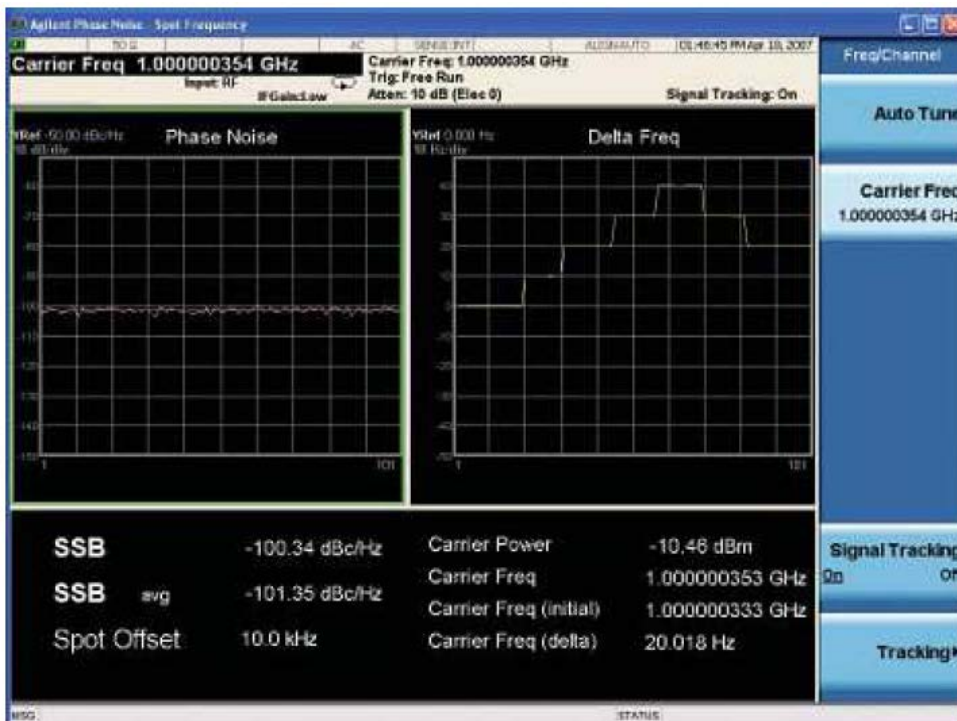


Рисунок 6: Вид дрейфа частоты несущей с фазовым шумом в зависимости от частоты

Инструкция для анализатора

Нажатия клавиш для анализатора

Включите Spot Frequency измерение	<b>[Meas] {Spot Frequency} [Cont]</b> Твердый ключ <b>[Cont]</b> даёт установку анализатору измерять фазовый шум непрерывно относительно времени. В графике Фазового шума Вы должны видеть, что трассы фазового шума преодолевают экран.
Установите смещение частоты в 10 кГц	<b>[Meas Setup] {Spot Offset} [10] {kHz}</b> Spot frequency Измерение обеспечивает возможность проанализировать уровень фазового шума относительно времени при определенном смещении частоты.
Включите числовую таблицу SSB  Выключите Таблицу SSB	<b>[View/Display] {Numerical}</b> Заметьте значения фазового шума на заданной отстройке от несущей в одиночной боковой полосе (SSB), обновляются непрерывно в таблице. См. рисунок 5, чтобы контролировать Ваше продвижение <b>{Graphical}</b>
Просмотрите преимущества сигнального отслеживания	<b>[FREQ] {Signal Tracking On}</b> Функция отслеживания сигнала следует за несущей частотой в случае, если дрейф происходит. Это гарантирует, что частота отстройки остается постоянной.
<b>Инструкция для источника</b>	<b>Нажатия клавиш для источника</b>
Увеличьте и уменьшите вывод генератора сигнала на 10 Гц, чтобы видеть а шаг ступеньки прослеживает в графике Частоты Дельты на анализаторе  См. нужную половину дисплея в рисунке 6 и контролируйте свое продвижение	<b>[FREQ] [Incr Set] [10] {Hz} [Freq]</b> Нажмите клавиши стрелок вверх и вниз <b>ОТМЕТЬТЕ:</b> Наблюдайте график Дельты Частоты на анализаторе. Это показывает домен времени дрейфа несущей частоты. Измерение spot frequency обеспечивает одновременную информацию о фазовом шуме и о дрейфе несущей. Численные значения для фазового шума фазового шума на заданной отстройке от несущей в одиночной боковой полосе (SSB), усредненная SSB, мощность несущей, частота, и дельта несущей частоты выводятся на экран ниже на графиках. Измените Настройки Анализатора сигналов; См. ниже Можно выключить отслеживание сигнала, нажимая <b>[FREQ] {Signal Tracking Off}</b>

Измерение в частотной точке (spot frequency) используйте для:

- Контроля флуктуации фазового шума от времени на определенной пользователем единственной частоте смещения - диапазон частоты смещения определяемый пользователем между 10 Гц и максимальной частотой используемого АС;
- Использования преимуществ, в том числе улучшенный диапазон отслеживания несущей частоты с более быстрым отслеживанием сигнала;
- Просмотра графического и числового форматов списка;
- Нахождение сигнала из полного диапазона частот с помощью функции Автоматической настройки (Auto Tune).

Отслеживание сигнала обеспечивает:

- Одновременное представление фазового шума и частоты дельты во временном домене
- SSB, средний SSB, мощность несущей, частота несущая, частота несущей (начальная), и текущая дельта частоты в таблице.

**Измерение выведенного на экран Среднего уровня шума (DANL):**

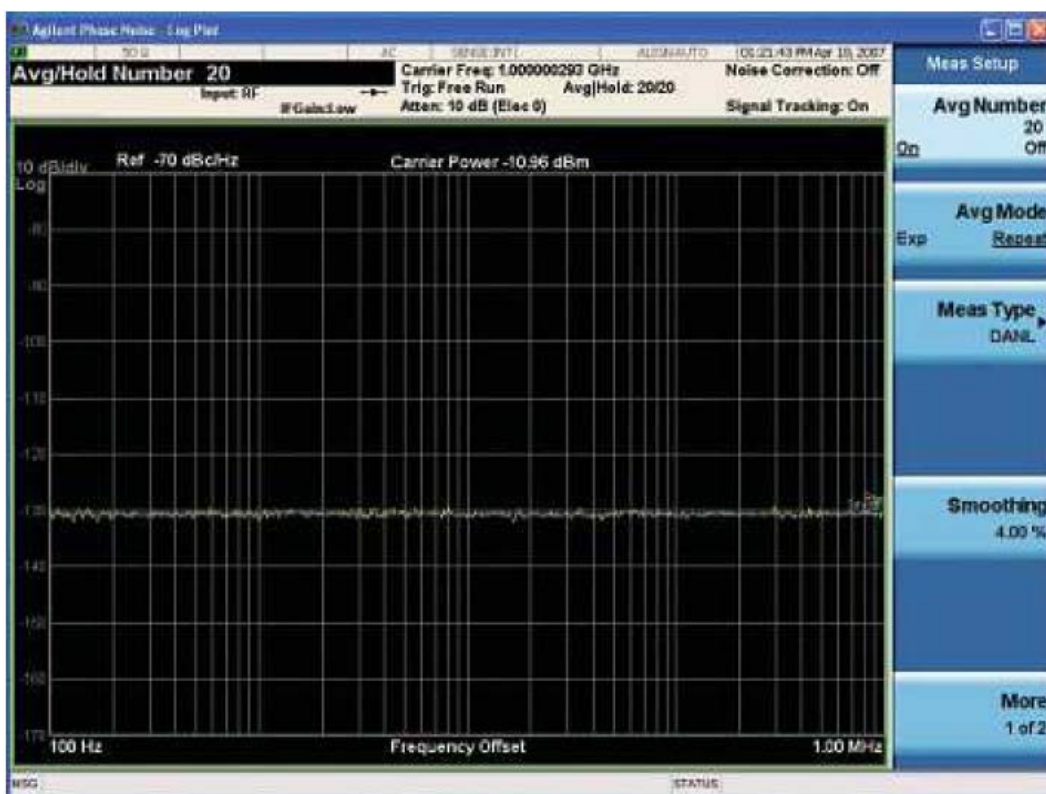


Рисунок 7: Измеренный DANL



Рисунок 8. Вычитание DANL

Инструкция для анализатора	Нажатия клавиш для анализатора
Начните измерять пол DANL	<p>[Meas] {Log Plot} [Meas Setup] {Avg Number On} [20] {Enter} {Meas Type} {DANL Floor} [Restart]</p> <p>Функция Avg Number выводит определенное число измерений (20 в этом случае) прежде, чем получающаяся трассировка выводится на экран.</p> <p>ОТМЕТЬТЕ: Ожидайте этих 20 измерений, которые будут собраны (см. the Avg/Hold В среднем/Хранение счетчик в главной середине дисплея) прежде, чем сделать следующий шаг.</p> <p>Этаж DANL анализатора сигналов устанавливает ограничения для того, чтобы измериться самый маленький входной сигнал, обычно в более широких смещенных частотах. Если сигнал уровень слишком близок к полу анализатора DANL, существенному измерению ошибка может произойти, делая недопустимое измерение.</p>
После ожидания измерений, чтобы быть собранный, сохраните трассировку DANL, чтобы	<p>[Trace/Detector] {Select Trace} {Trace 2} {More 1 of 2} {Copy/Exchange} {From Trace} {Trace 2} {To Trace} {Trace 3} {Copy Now}</p> <p>Трассировка 2 является приглаженной трассировкой</p>

<p>быть используемый для вычитания DANL</p>	<p>пола DANL что рассчитана анализатором. Теперь трасса 3 была сохранена как пол DANL.</p>
<p>Выведите на экран обоих фазовый шум графика журнала и пол DANL</p>	<p><b>[Meas Setup]</b> {Meas Type} {Phase Noise} <b>[Single]</b> Заметьте, что трасса 3 (пурпурная трассировка) выводит на экран пол DANL в то время как трасса 1 и трасса 2, показывают фазовый шум.</p>
<p>Выполните вычитание трассировки, чтобы удалить DANL инструмента от фазы шумовое измерение См. рисунок 8, чтобы контролировать Ваше движение</p>	<p>{More 1 of 2} {Cancellation} {Cancellation On} Переключите отмену DANL, чтобы видеть, как это влияет на измерение фазового шума. Отмена DANL часто выполняется, чтобы характеризовать фазовый шум DUT в частоте, где это близко к полу DANL.</p>