

# КАЧЕСТВО

## Одноклавишное измерение фазовых шумов в импульсном режиме AnaPico PNA

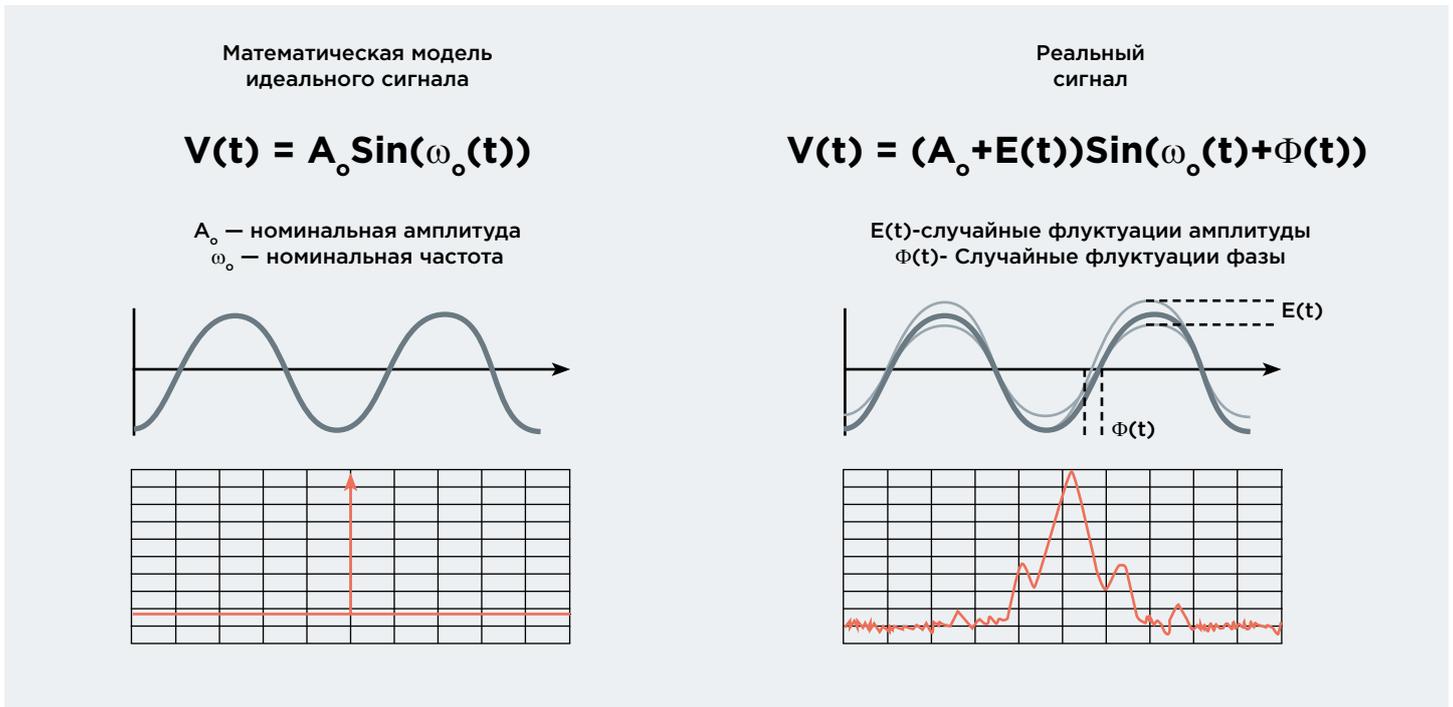


Текст: Арсений Подолько

Уровень фазовых шумов является критическим параметром источников сигнала, анализаторов сигнала и компонентов ВЧ- и СВЧ-устройств. Согласно ГОСТ 23769-79 «Приборы электронные и устройства защитные СВЧ. Термины, определения и буквенные обозначения» фазовый шум СВЧ-прибора — это одна из составляющих шума устройства, обусловленная изменениями фаз выходного сигнала. Институт инженеров электротехники и электроники IEEE дает следующее определение фазового шума:  $L(f) = S\phi(f)/2$ , т.е. фазовый шум равен половине спектральной плотности мощности нестабильности фазы. Оба определения наглядно демонстрируют, что фазовый шум имеет сложную природу: проявляется во временной области в виде нестабильности фазы сигнала (джиттер) и в частотной области.

На рис 1 приведены изображения реального сигнала и математической модели идеального сигнала; видно, что случайная флуктуация фазы гармонического сигнала во временной области приводит к появлению спектральной плотности мощности шума симметрично относительно частоты несущей.

Особенно жесткие требования к уровню фазовых шумов предъявляются в системах оборонной и аэрокосмической промышленности. Например, в радиолокационных приложениях: чем ниже уровень фазового шума, тем точнее результаты измерения скорости движущихся целей и выше пространственное разрешение объектов.



**1** Реальный сигнал и математическая модель идеального сигнала. Флуктуации фазы сигнала приводят к появлению спектральной плотности мощности фазового шума

### Методы измерения фазовых шумов

Термин «фазовый шум» ранее в СССР и России не использовался, у него было другое название — «спектральная плотность флуктуации фазы».

Согласно ГОСТ 202711.1.-91 «Изделия электронные СВЧ. Методы измерения электрических параметров» измерения фазовых шумов регламентируются как измерения относительной плотности флуктуации амплитуды, частоты, фазы (раздел 11). В качестве аппаратуры для измерения фазовых шумов предлагается использовать измеритель флуктуации. В то же время на сайте Росстандарта не представлено ни одного измерителя флуктуации с действующим сроком свидетельства. Получается, что критический параметр качества сигнала для оборонной и аэрокосмической промышленности не измерялся, поскольку не было аппаратуры, внесенной в единый реестр средств измерений с действующим сертификатом. Более того, существующие ранее измерители флуктуации не смогут обеспечивать требования приложений РЛС настоящего времени.

Рассмотрим возможные способы измерения фазовых шумов, используемые сегодня.

### Методы измерения фазовых шумов

На настоящий момент существуют три наиболее распространенных метода измерения фазовых шумов:

- прямое измерение на анализаторе спектра,
- метод фазового детектора,
- метод двухканальной кросс-корреляции.

Для задач оборонной и аэрокосмической промышленности может быть использован только метод двухканальной кросскорреляции. Метод прямого измерения спектра не позволяет отделить амплитудный шум от фазового, кроме того, чувствительность измерений ограничена шумами гетеродина. Метод измерения фазовых шумов через фазовый детектор позволяет измерять фазовые шумы только при малых отстройках от несущей; в результате, нет полной картины спектра сигнала, также для этого метода требуется трудоемкая процедура калибровки.

Инновационным решением стало предложение компании AnaPico: анализаторы фазовых шумов AnaPico обладают лучшими в классе характеристиками чувствительности, могут измерять фазовые шумы в импульсном режиме при разном периоде, ширине импульсов и все это — нажатием одной клавиши.

## Измерители фазовых шумов AnaPico

Измерители фазовых шумов AnaPico представлены следующими моделями:

- AnaPico PNA7.
- AnaPico PNA20.
- AnaPico PNA40 (дата выхода IV квартал 2016 года).

Возможности приборов:

- измерение абсолютных и вносимых фазовых шумов;
- измерение абсолютных и вносимых фазовых шумов в импульсном режиме;
- измерение фазовых шумов в импульсном режиме при изменяющемся периоде и ширине импульсов;
- кросс-корреляционная обработка;
- одновременное измерение фазовых и амплитудных шумов;
- встроенный тестер ГУН;
- проведение испытаний в автоматическом режиме.

Принцип действия приборов основан на методе кросс-корреляции. В приборе установлены два независимых приемника прямого преобразования с последующей кросс-корреляционной обработкой. Тепловые шумы приемника и шумы опорного генератора не когерентны, поэтому кросс-корреляционная обработка уменьшает их влияние на результат измерения, что обеспечивает их высокую чувствительность.

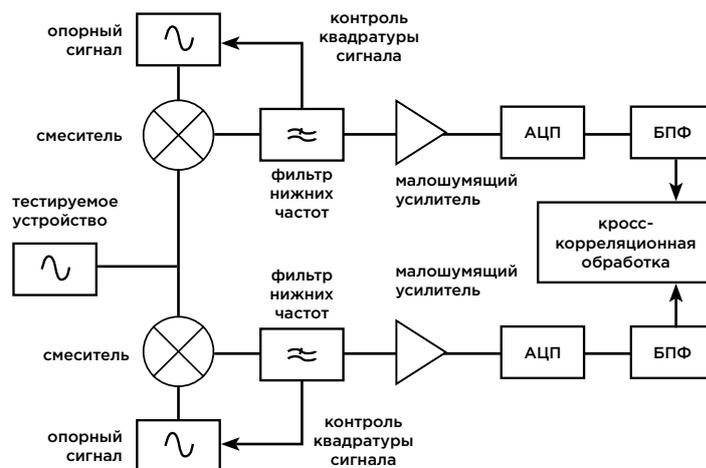
Функциональные возможности данных приборов подкреплены следующими техническими характеристиками **Т 1**.

**Т 1**

Технические характеристики анализаторов фазовых шумов AnaPico

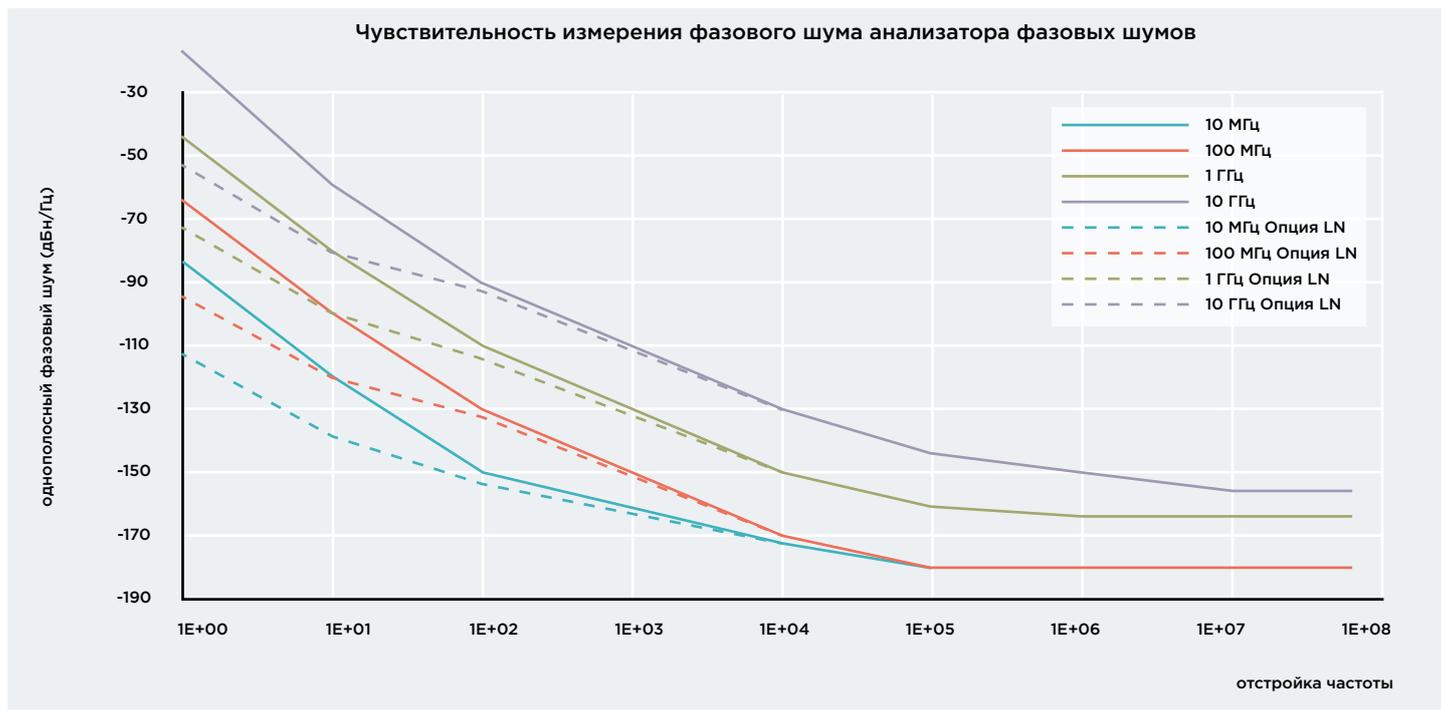
Модель	PNA7	PNA20	PNA40
Диапазон частот	5 МГц до 7 ГГц	5 МГц до 26 ГГц	5 МГц до 40 ГГц
Диапазон отстройки частоты	0,01 Гц до 50 МГц	0,01 Гц до 50/100 МГц	0,01 Гц до 100 МГц
Чувствительность на частоте 1 ГГц, отстройка 1 Гц	-140 дБм	-140 дБм	-140 дБм
Отстройка 10 Гц	-150 дБм	-150 дБм	-150 дБм
Отстройка 1 кГц	-175 дБм	-175 дБм	-175 дБм
Отстройка 10 кГц	-185 дБм	-185 дБм	-185 дБм
Отстройка 10 МГц	-185 дБм	-185 дБм	-185 дБм
Скорость измерения (ATE, 1 кГц, 1 корреляция)	150 мс	150 мс	150 мс
Допустимый диапазон входной мощности	-15 до +20 дБм	-15 до +20 дБм	-15 до +20 дБм
Погрешность измерения <100 Гц	< 3 дБ	< 3 дБ	< 3 дБ
Погрешность измерения >100 Гц	< 2 дБ	< 2 дБ	< 2 дБ
Вес	10 кг	10 кг	10 кг
Гарантия	5 лет	5 лет	5 лет

**AnaPico — швейцарская компания со штаб-квартирой в городе Цюрихе. Производство и тестирование оборудования полностью происходят в Швейцарии. Высокие стандарты качества позволяют достигать конкурентоспособных характеристик приборов в сочетании с высокой надежностью и производительностью. Как знак подтверждения надежности швейцарского оборудования на все приборы AnaPico предоставляется 5-летняя гарантия.**



**2**

Упрощенная блок-диаграмма принципа работы анализатора фазовых шумов AnaPico PNA



3 Чувствительность измерения фазового шума анализатора фазовых шумов AnaPico PNA20

### Измерение фазового и амплитудного шумов с высокой чувствительностью

Измерители фазовых шумов AnaPico PNA могут работать, используя внутренний опорный сигнал или внешний опорный сигнал. Доступно несколько вариантов исполнения внутреннего опорного источника сигнала: базовый источник сигнала и источник с ультразвуковым уровнем фазовых шумов (опция LN). Опция LN значительно улучшает чувствительность прибора.

На рис. 3 представлены графики чувствительности измерения фазового шума (дБн/Гц) после одной корреляции, время выполнения измерений — 25 с. Увеличение числа корреляций может дополнительно улучшить чувствительность, но при этом время на выполнение измерений увеличится (Т 2).

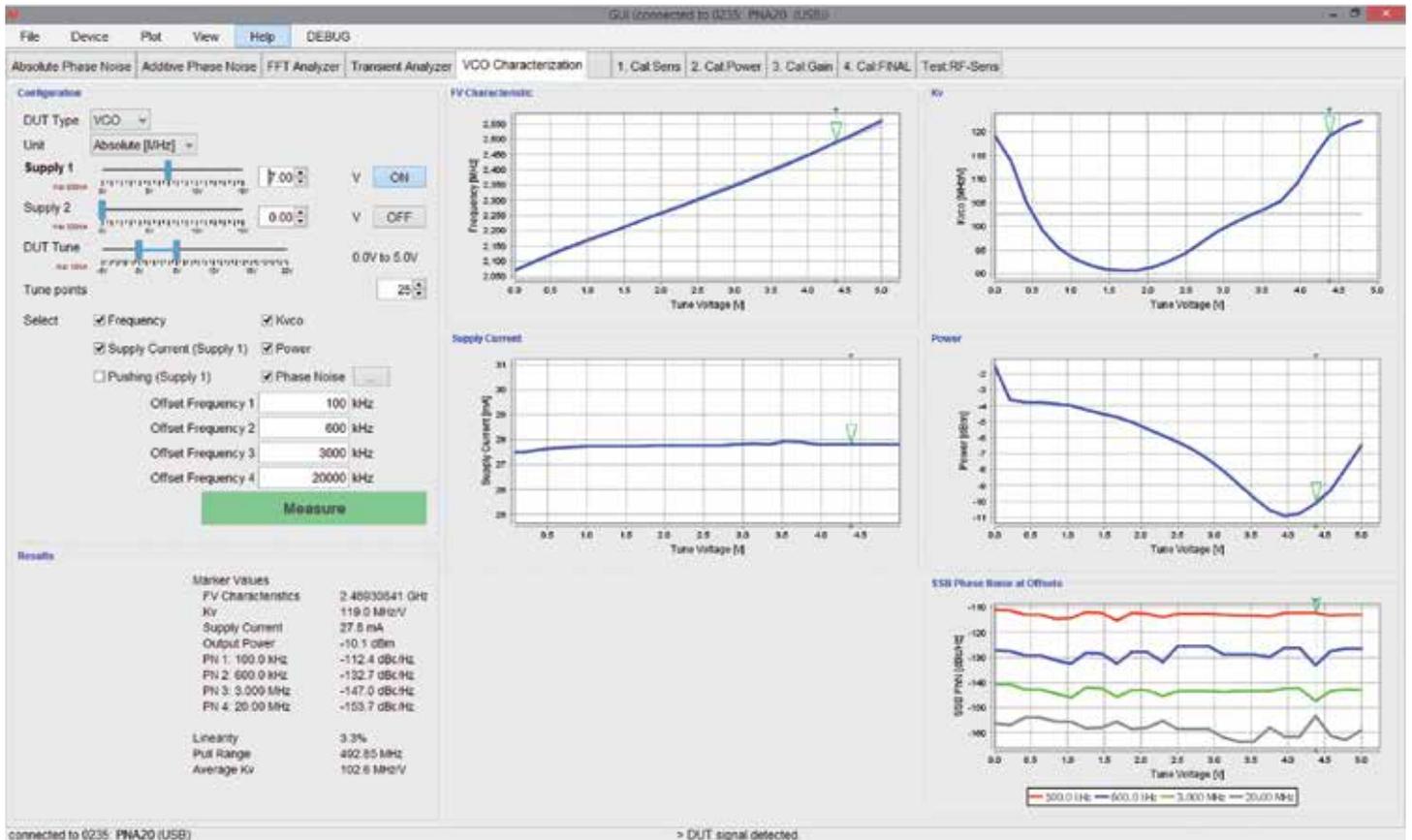
Кроме того, измерители фазовых шумов AnaPico PNA поддерживают возможность измерения амплитудного шума методом кросс-корреляции, что значительно упрощает процесс измерения. Ранее для этого составлялись сложные схемы с амплитудными детекторами, которые требовали усилий при калибровке. Амплитудный шум является важной характеристикой при измерении фазового шума, поскольку ограничивает чувствительность измерения фазового шума, а фазовый детектор исключает влияние амплитудного шума частично.

### Измерение фазового шума импульсных сигналов одним нажатием кнопки

Как уже было показано, фазовый шум импульсного сигнала в радиолокационных приложениях является одним из источников погрешности измерения скорости сигнала; кроме того, чем ниже уровень фазового шума, тем выше пространственное разрешение у РЛС. Подобные задачи ранее решались построением системы из тестируемого устройства, генератора импульсов, импульсного модулятора и БПФ анализатора (осциллографа); далее требовалась сложная калибровка системы, на одно измерение уходило до 30 минут. Сейчас эти операции выполняются нажатием одной кнопки, существенно сокращая время, затрачиваемое на измерение. Прибор AnaPico распознает и записывает импульсный сигнал и вычисляет все параметры импульса (в т.ч. ширину и скважность). Затем анализатор демодулирует сигнал и вычисляет фазовый шум.

Т 2 Технические характеристики анализаторов фазовых шумов AnaPico

Число корреляции	10	10	15
Улучшение чувствительности, дБ	5	100	1000



5

Измерение вносимых фазовых шумов

## Измерение вносимого фазового шума сигнала несущей и импульсных сигналов

Для повышения производительности системы РЛС необходимо учитывать также вносимый фазовый шум компонентов системы, усилителей, делителей и умножителей частоты. Ранее вносимые фазовые шумы измерялись редко. В первую очередь, это было связано с высокой стоимостью систем и трудоемким выполнением измерений. Поэтому построение радиоприемного/радиопередающего устройства строилось с учетом коэффициента шума его модулей с последующим пересчетом коэффициента шума всей системы. Но измерения коэффициента шума недостаточно, потому что он не раскрывает информацию о вносимых шумах усилителя при работе в разных режимах (работа

до точки 1 дБ компрессии, работа в режиме компрессии), кроме того, коэффициент шума не раскрывает информацию о шуме вблизи несущей частоты. Вносимый фазовый шум усилителя напрямую связан с коэффициентом шума в режиме малых сигналов; в режиме больших сигналов, когда мощность входного сигнала близка к точке 1 дБ компрессии, другие аспекты приобретают доминирующее значение. Фликкер-шум, дробовый шум, пульсации напряжения питания могут вносить гораздо большее значение шумов в систему, чем это учитывается изначально при измерении коэффициента шума. Некоторые усилители обладают скачкообразным приростом шумов в точке компрессии, тогда как другие демонстрируют устойчивое значение. Только измерение вносимых фазовых шумов может точно определить источники шума в системе.

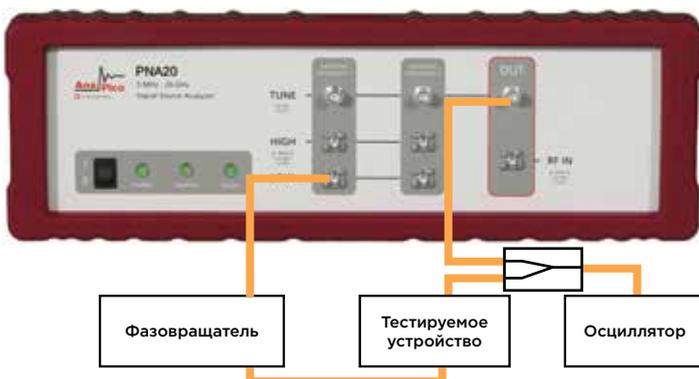
На рис. 4 представлена схема проведения измерений вносимых фазовых шумов: так как анализатор фазовых шумов работает по принципу кросс-корреляции, фазовый шум, вносимый внутренними компонентами анализатора, подавляется. Таким образом, анализатор фазовых шумов AnaPico PNA способен проводить измерения вносимых фазовых шумов импульсных сигналов.

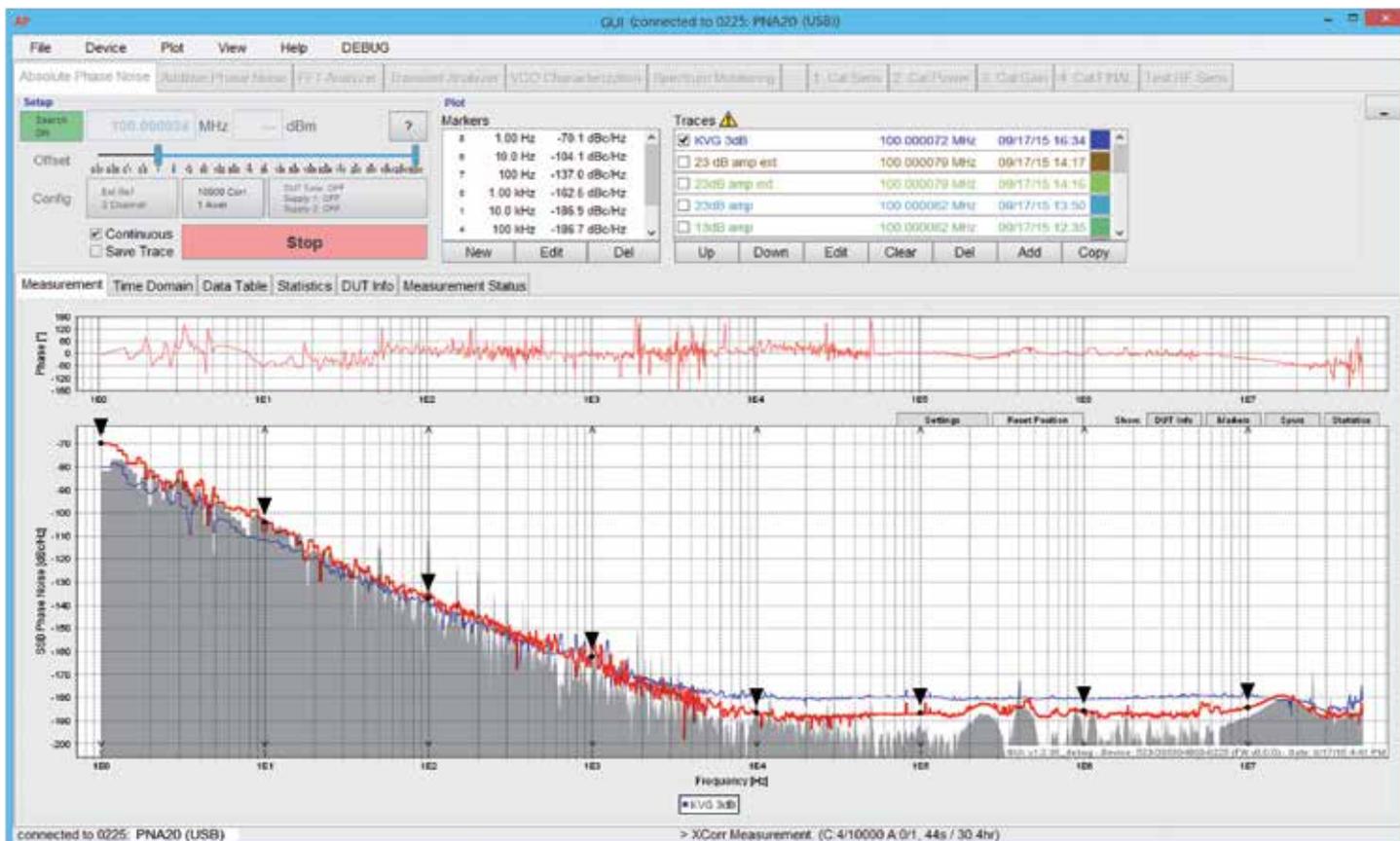
## Встроенный тестер ГУН

Для тестирования ГУН и других приборов, управляемых напряжением, анализатор PNA использует собственный источник питания, обладающий очень низким уровнем шумов. Это позволяет измерять такие параметры, как

4

Измерение вносимых фазовых шумов с помощью анализатора фазовых шумов AnaPico PNA





6  
Интерфейс пользователя

крутизна перестройки частоты, выходная мощность, потребление тока, фазовый шум или влияние источника питания на работу ГУН.

### Автоматизация измерений

Высокопроизводительная вычислительная электроника делает этот инструмент идеальным для применения в автоматизированных измерениях. Время, затрачиваемое на измерения, сочетается с высокой повторяемостью результатов и точностью. Исчерпывающий набор SCPI-команд вкупе с API-библиотеками позволяют интегрировать прибор в уже существующие измерительные комплексы.

### Интуитивный графический интерфейс пользователя

Главное окно пользовательского интерфейса представляет собой панель управления анализатором фазовых шумов. Вкладки расположены в логическом порядке. Будучи полностью автоматизированным, анализатор готов проводить измерения по нажатию кнопки START, как только исследуемое устройство будет подключено к прибору. Доступ к различным режимам измерения через вкладки и подменю позволяет пользователю быстро настроить прибор под свои актуальные задачи.

### Заключение

Анализатор фазовых шумов AnaPico — это комплексное решение по измерению фазовых шумов и измерению параметров источников сигнала. Отличительная особенность прибора — способность проводить измерения абсолютных и вносимых фазовых шумов в импульсном режиме, что так необходимо в задачах тестирования приемопередающих модулей РЛС и ее отдельных компонентов. Кроме того, анализатор фазовых шумов AnaPico PNA может проводить измерения в импульсном режиме даже при изменяющихся длительности или периоде сигнала. Удобный графический интерфейс пользователя позволяет выполнять все измерения одним нажатием кнопки.

Производитель AnaPico не ограничивается только разработкой измерителей фазовых шумов, полная линейка продуктов представлена следующими приборами:

- Анализаторы фазовых шумов.
- Одноканальный и многоканальный генераторы сигналов СВЧ.
- Синтезаторы частот.

На Международной выставке ЭлектронТехЭкспо-2016 состоялось подписание дистрибьюторского договора между компаниями Anapico Ltd и ООО «Остек-Электро».

Специалисты Остек-Электро готовы провести для вас демонстрацию оборудования AnaPico и ответить на все вопросы. Подробная информация: [ostelectro@ostec-group.ru](mailto:ostelectro@ostec-group.ru). 