

Технические решения компании Agilent для измерения фазового шума

Выбор решения, наиболее подходящего для
требований пользователя

Руководство по выбору

Сделайте правильный выбор!

Анализаторы сигналов серии X

E5500 - решение для измерения фазового шума

Анализатор источников сигналов E5052



Agilent Technologies

Содержание

Введение	.3
a. Основные сведения о фазовом шуме	.3
b. Краткое сравнение методов измерения	.4
Основные методы измерения фазового шума	.5
a. Метод прямого измерения спектра	.5
b. Метод фазового детектора	.6
• Метод опорного источника/ФАПЧ	.7
• Метод частотного дискриминатора	.8
• Метод гетеродинного (цифрового) дискриминатора	.9
c. Метод двухканальной взаимной корреляции	.10
Технические решения Agilent для измерения фазового шума	.11
a. Технические решения на основе прямого измерения спектра	.11
• Прикладная программа измерения фазового шума N9068A/ W9068A для анализаторов серии X	.11
• Опция 226 - специализированная программа измерения фазового шума для анализаторов спектра предыдущего поколения серий PSA и ESA	.11
• Ключевые характеристики и их сравнение	.12
b. Метод фазового детектора:	
решение для измерения фазового шума серии E5500	.13
• Система для измерения фазового шума E5505A	.13
• Ключевые характеристики и конфигурации E5500	.16
c. Метод двухканальной взаимной корреляции:	
анализатор источников сигналов E5052B	.17
• Анализатор источников сигналов E5052B	.17
• Ключевые характеристики и конфигурации E5052B	.19
d. Сравнение технических решений компании Agilent для измерения фазового шума	.20
Выбор правильного решения для измерения фазового шума	.21
Дополнительная литература	.22

Введение

Основываясь на сорокалетнем опыте разработки аппаратуры и измерений в области радиочастотных сигналов, компания Agilent продолжает предлагать широкий круг технических решений для измерения фазового шума на основе самых разнообразных технических приёмов испытаний и измерений. Однако нахождение правильного решения может оказаться сложной задачей.

Эта брошюра поможет в выборе технического решения, наиболее соответствующего специфическим требованиям к измерениям. Более подробные сведения о фазовом шуме можно найти в дополнительной литературе, список которой приведён в конце данной брошюры.

Основные сведения о фазовом шуме

Фазовый шум является одним из наиболее важных показателей качества устройства, генерирующего сигнал, и вполне может оказаться ограничивающим фактором для решения критически важных задач в аэрокосмической и оборонной областях, также как и в области связи.

Механизм появления фазового шума заключается в нестабильности частоты, которая определяется как степень, с которой генерирующий источник поддерживает постоянство частоты в течение определённого периода времени. Нестабильность частоты характеризуется двумя составляющими: долговременной и кратковременной нестабильностью.

Долговременная нестабильность характеризует медленные вариации частоты, которые происходят в пределах часов, суток, месяцев или даже лет. В противоположность этому, кратковременная нестабильность представляет изменения номинального значения несущей частоты за время, не превышающее нескольких секунд. Основное внимание в данной брошюре будет посвящено кратковременной нестабильности частоты.

Существует много технических терминов для количественной оценки фазового шума, но наиболее широко распространённой мерой является однополосный (SSB) фазовый шум, $L(f)$. Математически Национальный институт стандартов и технологии США (NIST) определяет меру $L(f)$ как отношение спектральной плотности мощности при отстройке от частоты несущей к полной мощности сигнала несущей.

Краткое сравнение методов измерения

Для удовлетворения разнообразных требований к измерению фазового шума был разработан ряд методов измерения. Наиболее широко распространёнными являются три метода: прямое измерение спектра, метод фазового детектора и двухканальная взаимная корреляция. Метод прямого измерения спектра выполняет измерение фазового шума в присутствии сигнала несущей, тогда как два других метода предполагают удаление сигнала несущей (демодуляцию) перед измерением фазового шума.

Таблица 1 - Методы измерения фазового шума (ФШ)

Краткое сравнение	Прямое измерение спектра N/W9068A	ФАП/взаимная корреляция E5052B	Фазовый детектор E5500A
Основные особенности			
Простота работы, включая установку и калибровку	•		
Быстрый контроль сигналов, захваченных системой фазовой автоподстройки	•		
Специализация для фазового шума (ФШ) или многоцелевое применение	многоцелевое	многоцелевое	ФШ
Возможность отделения фазового шума от амплитудного			•
Измерение сигналов дрейфующих источников, таких как ЖИГ-генераторы			•
Встроенные малошумящие источники постоянного тока для испытания генераторов, управляемых напряжением (ГУН)		•	
Бюджет капиталовложений	низкий	средний	высокий
Испытуемые устройства			
Недрейфующие источники сигналов	•	•	•
ГУНы с фазовой автоподстройкой частоты	•	•	•
Источники сигналов с низким уровнем амплитудного шума	•	•	•
Генераторы на поверхностных акустических волнах (ПАВ)		•	•
Генераторы на диэлектрических резонаторах (ДР)		•	•
Синтезаторы с фазовой автоподстройкой частоты (ФАПЧ)		•	•
Передачики		•	•
Кварцевые генераторы			•
Усилители			•
Преобразователи частоты			•
Требования к измерениям			
Фазовый шум немодулированных несущих	•	•	•
Фазовый шум импульсных несущих			•
Отстройка от несущей	от 100 Гц до 10 МГц	от 1 Гц до 100 МГц	от 0,01 Гц до 100 МГц
Фиксированная частота радиостанции	•		
Испытуемые устройства с высоким уровнем фазового шума	•		
Очень низкий уровень ФШ при большой отстройке от несущей		•	•
Очень низкий уровень ФШ при очень малой отстройке от несущей			•
Переходный процесс установления частоты, фазы и мощности во времени		•	
Амплитудный шум		•	•
Визуальный контроль спектра	•	•	
Шум в полосе модулирующего сигнала		•	
Абсолютный фазовый шум			•

• Означает наиболее пригодный, рекомендуемый и соответствующий указанному критерию метод. Пробел означает наименее пригодный, наименее рекомендуемый и наименее подходящий метод.

Основные методы измерения фазового шума

Метод прямого измерения спектра

Это самый простой и, возможно, самый старый метод измерения фазового шума. Как показано на рисунке 1, сигнал от испытуемого устройства (ИУ) подаётся на анализатор спектра/сигналов, настроенный на частоту сигнала ИУ, и выполняется непосредственное измерение относительной спектральной плотности мощности сигнала в единицах $L(f)$. Поскольку спектральная плотность шума измеряется в присутствии сигнала несущей, возможности этого метода могут существенно ограничиваться динамическим диапазоном анализатора.

Хотя этот метод непригоден для измерения фазового шума очень близко к дрейфующей несущей, он удобен для быстрой качественной оценки источников с относительно высоким уровнем шума. Результат измерения будет достоверным при соблюдении следующих условий.

- Собственный фазовый шум анализатора в боковой полосе при интересующей отстройке от несущей должен быть ниже шума ИУ.
- Поскольку анализатор спектра/сигналов измеряет суммарную мощность шума без отделения амплитудного шума от фазового, амплитудный шум испытуемого устройства должен быть значительно ниже его фазового шума (в типичном случае разница в 10 дБ будет достаточной).

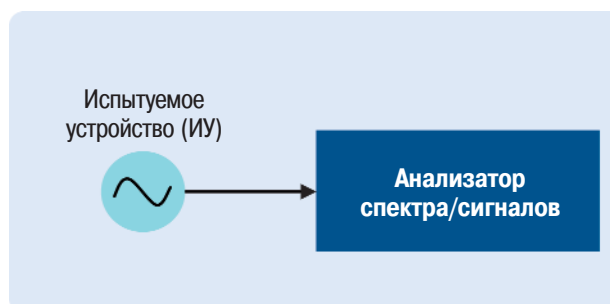


Рисунок 1 - Метод прямого измерения спектра

Метод фазового детектора

Для отделения фазового шума от амплитудного требуется фазовый детектор. Рисунок 2 иллюстрирует основной принцип метода фазового детектора. Фазовый детектор преобразует разность фаз двух входных сигналов в напряжение на выходе детектора. Когда разность фаз составляет 90° (квадратура), выходное напряжение будет равно нулю. Любые флуктуации фазы от квадратуры вызовут флуктуации напряжения на выходе детектора.

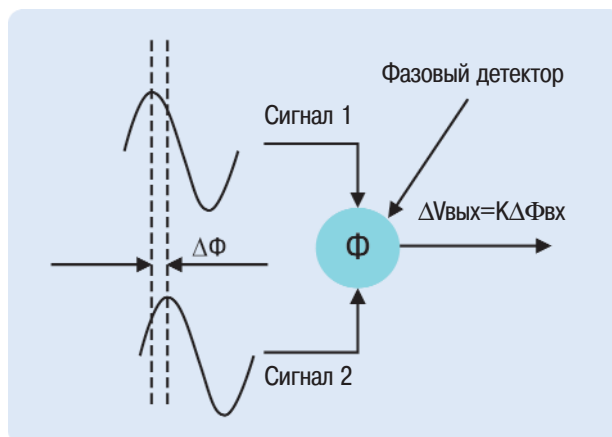


Рисунок 2 - Основной принцип метода фазового детектора

Было разработано несколько методов, основанных на принципе фазового детектора. Среди них наиболее широко распространены метод с использованием опорного источника/ФАПЧ (фазовой автоподстройки частоты) и метод частотного дискриминатора. Эти методы будут рассмотрены ниже.

Метод опорного источника/ФАПЧ

Как показано на рисунке 3, основу этого метода составляет двойной балансный смеситель, используемый в качестве фазового детектора. Два сигнала - один от ИУ, другой от опорного источника - поступают на входы смесителя. Опорный источник управляется таким образом, что его сигнал имеет такую же несущую частоту (f_c), что и ИУ, но со сдвигом фазы номинально 90° (квадратура). Сигнал суммарной частоты ($2f_c$) на выходе смесителя отфильтровывается фильтром нижних частот (ФНЧ), а сигнал разностной частоты смесителя, равной 0 Гц, создаёт на выходе напряжение постоянного тока со средним значением 0 В.

На это напряжение постоянного тока накладывается переменная флуктуационная составляющая напряжения, пропорциональная совместному (сумма среднеквадратических значений) шумовому вкладу двух входных сигналов. Для точных измерений фазового шума сигнала от ИУ опорный источник должен иметь либо пренебрежимо малый, либо точно известный уровень фазового шума. Выходной сигнал в модуляционной полосе обычно усиливается и подаётся на вход анализатора спектра, работающего в полосе модулирующего сигнала.

Метод с использованием опорного источника/ФАПЧ обеспечивает самую высокую чувствительность и самое широкое перекрытие полосы измерения (например, диапазон частотной отстройки от 0,01 Гц до 100 МГц). Кроме того, этот метод не чувствителен к амплитудному шуму и допускает слежение за сигналами дрейфующих источников. К недостаткам этого метода относится необходимость иметь спектрально чистый, электронно перестраиваемый опорный источник, а при исследовании источников с большим дрейфом частоты - опорный источник с широким диапазоном настройки.

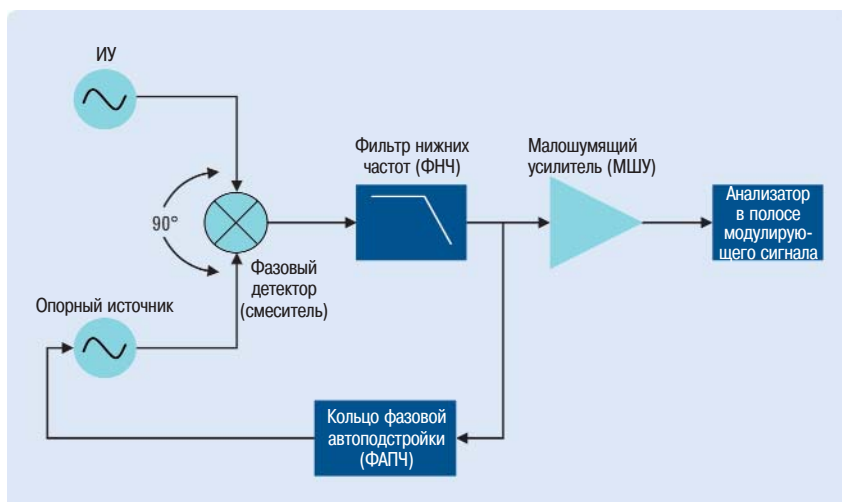


Рисунок 3 - Базовая функциональная схема, иллюстрирующая принцип метода опорного источника/ФАПЧ

Метод частотного дискриминатора

Этот метод является разновидностью метода фазового детектора с тем отличием, что здесь не требуется опорный источник. И хотя метод частотного дискриминатора хуже по чувствительности измерения фазового шума (особенно при малых отстройках от несущей), он оказывается полезным когда ИУ является шумящим источником с высоким уровнем и медленным спадом фазового шума или с высоким уровнем дискретных помех в боковой полосе вблизи несущей, что может создать проблемы для метода фазового детектора с ФАПЧ.

Рисунок 4 иллюстрирует принцип метода частотного дискриминатора, использующего линию задержки. Здесь сигнал от ИУ разделяется на два канала. Сигнал одного канала задерживается относительно другого. Линия задержки преобразует флуктуации частоты во флуктуации фазы. Настройкой линии задержки или фазосдвигателя устанавливается квадратурный фазовый сдвиг сигналов, поступающих на входы смесителя (фазового детектора). Затем фазовый детектор преобразует флуктуации фазы во флуктуации напряжения, которые затем могут быть интерпретированы анализатором спектра в полосе модулирующего сигнала как частотный шум. Частотный шум затем преобразуется в значения фазового шума испытываемого устройства.

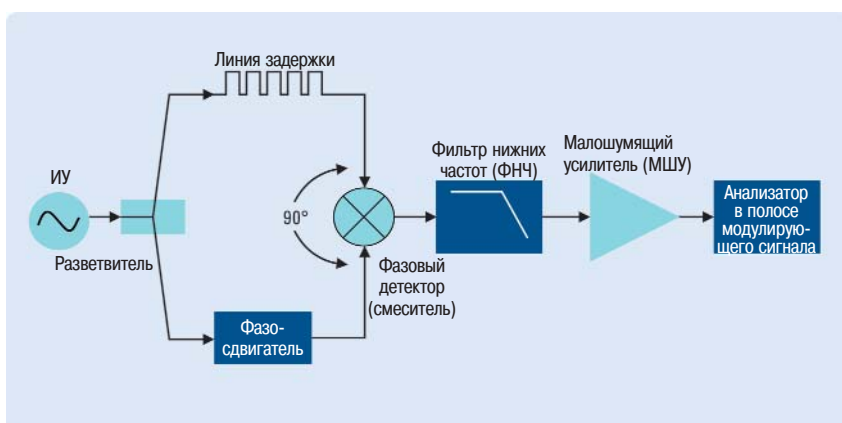


Рисунок 4 - Базовая функциональная схема, иллюстрирующая принципы метода частотного дискриминатора

Использование более длинной линии задержки улучшает чувствительность, но потери, вносимые линией задержки, могут превысить доступную мощность источника сигнала, что сделает невозможным дальнейшее улучшение. Кроме того, более длинные линии задержки ограничивают максимальную частотную отстройку, на которой может выполняться измерение. Этот метод прекрасно используется для автогенераторов, таких как LC - генераторы или генераторы на объёмных резонаторах.

Метод гетеродинного (цифрового) дискриминатора

Метод гетеродинного (цифрового) дискриминатора представляет модифицированный вариант метода частотного дискриминатора с аналоговой линией задержки и позволяет измерять относительно большой фазовый шум нестабильных источников сигнала и генераторов. Этот метод отличается более широким динамическим диапазоном измерения фазового шума по сравнению с методом, использующим ФАПЧ, и не требует переключения аналоговых линий задержки, чтобы обеспечить измерение на любой частоте. В отличие от описанного ранее метода частотного дискриминатора, полный динамический диапазон измерения фазового шума ограничивается возможностями малошумящего усилителя (МШУ) и аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Это ограничение становится менее жёстким при использовании метода взаимной корреляции, описанного в следующем подразделе.

Метод гетеродинного (цифрового) дискриминатора обеспечивает также очень простое и точное измерение амплитудного шума (путём установки нулевого времени задержки) с помощью той же самой установки и такого же подключения ВЧ порта, как при измерении фазового шума.

Этот метод реализуется только при использовании анализатора источника сигналов E5052B компании Agilent. Функциональная схема, иллюстрирующая принцип действия этого метода, приведена на рисунке 5.

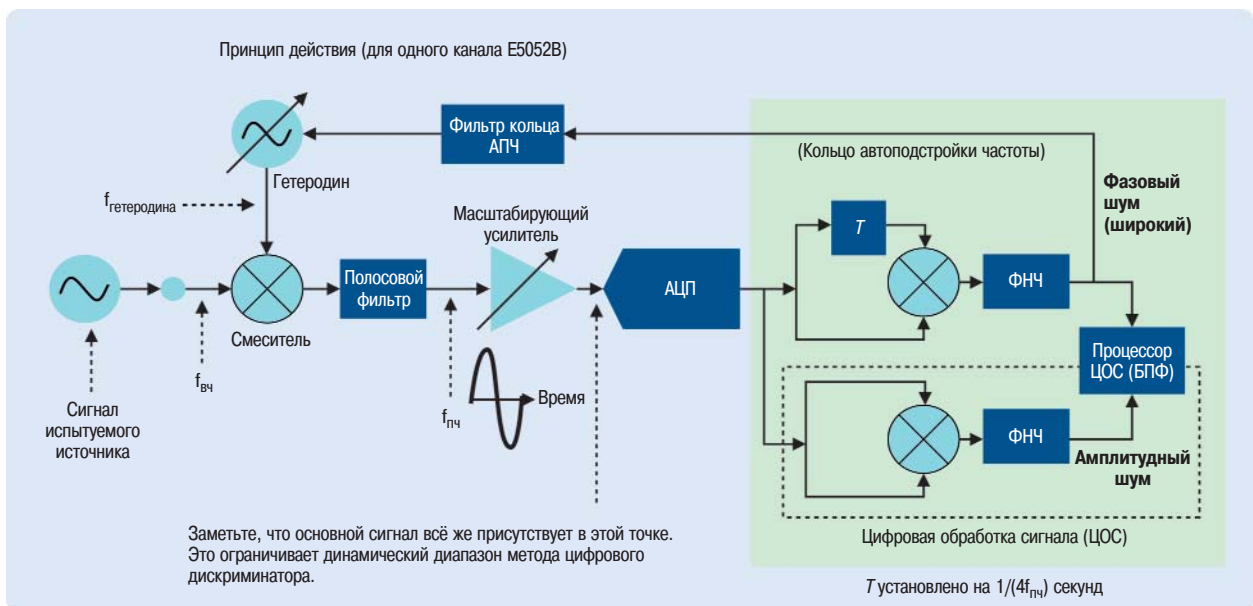


Рисунок 5 - Функциональная схема реализации метода гетеродинного (цифрового) дискриминатора

Метод двухканальной взаимной корреляции

Этот метод использует комбинацию из двух одинаковых одноканальных систем опорный источник / ФАПЧ и выполняет операции взаимной корреляции между выходными сигналами каждого канала, как показано на рисунке 6.

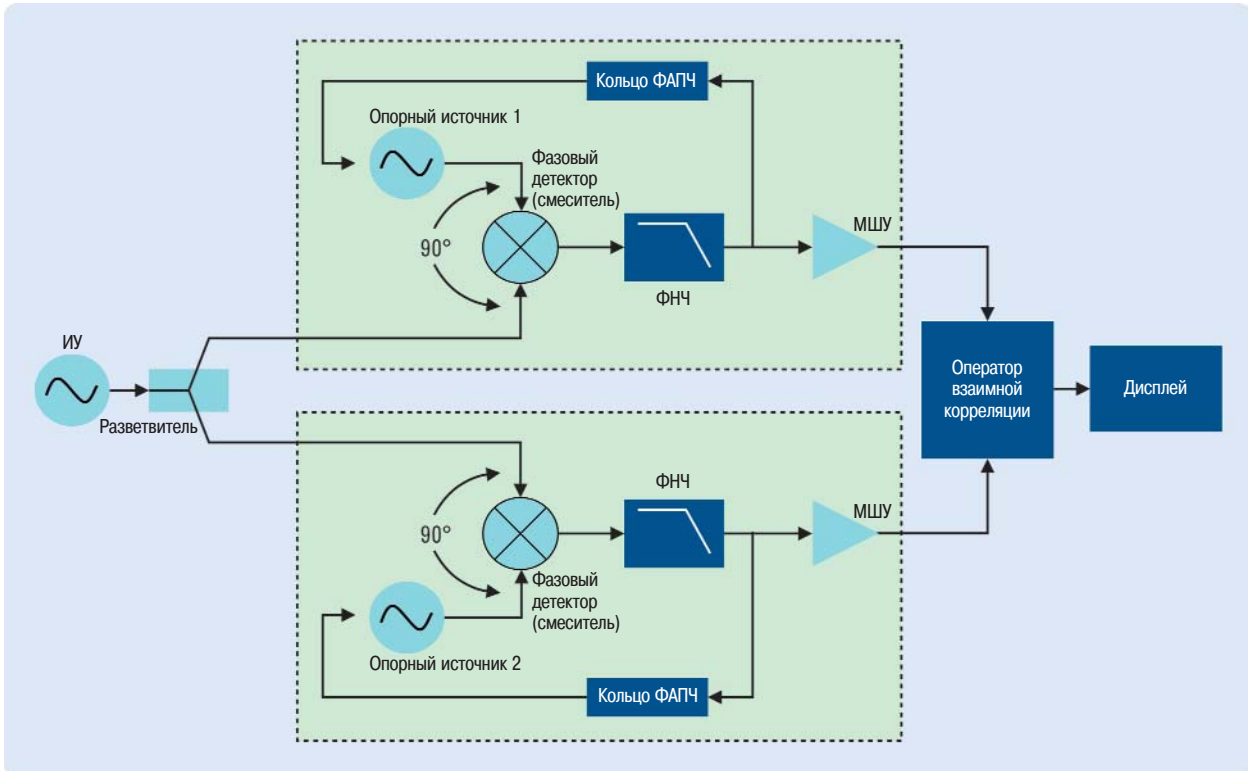


Рисунок 6 - Метод двухканальной взаимной корреляции использует комбинацию из двух фазовых детекторов

Шумы ИУ в каждом канале когерентны, и операция взаимной корреляции не влияет на их вклад в результат измерения, тогда как собственные шумы каждого канала не когерентны, и операция взаимной корреляции уменьшает их суммарный вклад в результат измерения пропорционально $M/2$ (M - число корреляций). Это можно выразить формулой:

$$N_{\text{изм}} = N_{\text{ИУ}} + (N_1 + N_2) / M^{1/2},$$

где

$N_{\text{изм}}$ - полный измеренный шум, отображаемый на дисплее;

$N_{\text{ИУ}}$ - шум испытуемого устройства;

N_1 и N_2 - собственные шумы каналов 1 и 2, соответственно;

M - число корреляций.

Метод двухканальной взаимной корреляции позволяет достичь наивысшей чувствительности, не требуя исключительно высоких характеристик аппаратных компонентов. Однако с ростом числа корреляций снижается скорость измерений.

Технические решения компании Agilent для измерения фазового шума

Компания Agilent предлагает следующие технические решения для измерения фазового шума, основанные на трёх рассмотренных выше методах.

Технические решения на основе прямого измерения спектра

Прикладная программа измерения фазового шума N9068A/W9068A для анализаторов серии X

В принципе для измерений фазового шума на основе прямого измерения спектра может быть использован любой анализатор спектра. Однако, чтобы в полной мере представить поведение фазовых шумов ИУ при разных частотных отстройках от несущей, процедура измерения может оказаться очень длительной и утомительной. Результаты измерений могут также в значительной степени зависеть от опыта пользователя, поскольку для получения точных результатов может потребоваться оптимизация установок прибора.

Этот метод наиболее подходит для быстрого контроля сигналов с фазовой автоподстройкой частоты. Однако его не рекомендуется использовать для измерения фазового шума при очень малых отстройках от несущей.

Прикладная программа для измерения фазового шума N9068A/W9068A, встроенная в анализаторы серии X компании Agilent, автоматизирует процесс измерения и превращает анализатор сигналов общего применения в тестер фазового шума с удобным одноклавишным управлением. На рисунке 7 показано изображение в логарифмическом масштабе спектра фазового шума, измеренного анализатором сигналов PXA. Здесь также может выполняться текущий контроль изменения фазового шума во времени на фиксированной частоте отстройки, указанной пользователем. Кроме того, могут быть измерены среднеквадратическое значение шума, включая среднеквадратическое значение джиттера, и остаточная ЧМ.

Опция 226 - специализированная программа измерения фазового шума для анализаторов спектра предыдущего поколения серий PSA и ESA

Подобное встроенное прикладное программное обеспечение можно обнаружить в анализаторах спектра компании Agilent предыдущего поколения серий PSA и ESA (опция 226, специализированная программа измерения фазового шума). Опция 226 была одной из наиболее популярных прикладных программ, встроенных в анализаторы серий PSA и ESA. Прикладная программа N9068A/W9068A обладает полной обратной совместимостью с опцией 226 в части алгоритма реализации, интерфейса пользователя и свойств.

Присущий анализаторам спектра/ сигналов собственный фазовый шум ограничивает нижний уровень фазового шума ИУ, который может быть точно измерен.

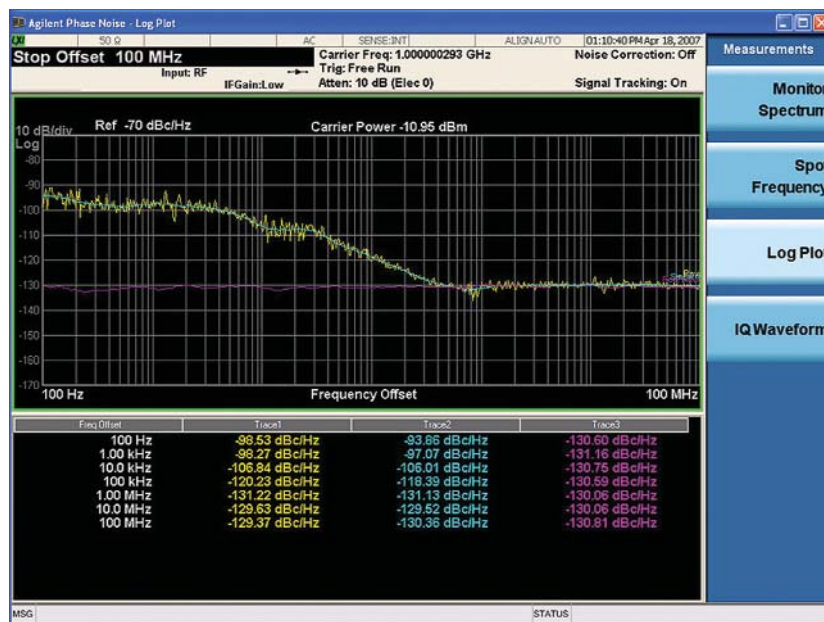


Рисунок 7 - Логарифмический график фазового шума, измеренный анализатором PXA

Ключевые характеристики и их сравнение

В таблице 2 приведено сравнение характеристик фазового шума для анализаторов спектра/сигналов компании Agilent (в единицах дБс/Гц в диапазоне температур от 20 до 30° С, на несущей частоте CF=1 ГГц).



N9030A PXA



N9020A MXA



N9010A EXA



N9000A CXA

Таблица 2 - Сравнительные характеристики фазового шума

Отстройка	PXA	PSA	MXA	EXA	ESA	CXA
10 Гц	-75 (ном.)	-	-	-	-	-
100 Гц	-94	-91	-84	-84	-	-
1 кГц	-121	-103	-101 (ном.)	-98 (ном.)	-	-94
10 кГц	-129	-116	-103	-99	-98	-99
100 кГц	-129	-122	-115	-112	-118	-102
1 МГц	-145	-145	-135	-132	-125	-120
10 МГц	-155	-155	-148 (ном.)	-143 (ном.)	-131	-143 (ном.)

В следующей таблице приведены данные о диапазонах несущих частот анализаторов.

Таблица 3 - Диапазон несущих частот

	PXA	PSA	MXA	EXA	ESA	CXA
Мин. част.	3 Гц	3 Гц	20 Гц	9 кГц	100 Гц	9 кГц
Макс. част.	26,5 ГГц	50 ГГц	26,5 ГГц	26,5 ГГц	26,5 ГГц	7 ГГц

Хотя интерфейс пользователя N9068A/W9068A позволяет устанавливать частоту отстройки до 3 Гц, метод прямого спектра не рекомендуется использовать для измерения фазового шума очень близко к несущей из-за прямого прохождения сигнала гетеродина анализатора и ненормированности характеристик.

Более подробную информацию можно найти на сайте http://www.agilent.com/find/phase_noise

Метод фазового детектора: решение для измерения фазового шума серии E5500

Система для измерения фазового шума E5505A

Техническое решение E5500 компании Agilent на основе метода фазового детектора предназначено для измерения характеристик фазового шума ИУ. Это модульная система, которая позволяет выбирать многочисленные компоненты системы, необходимые для удовлетворения широкого круга разнообразных требований к измерению фазового шума. Архитектура E5500 объединяет стандартные приборы, устройства для измерения фазового шума и программное обеспечение ПК с целью достижения наибольшей гибкости и возможности повторного использования оборудования.

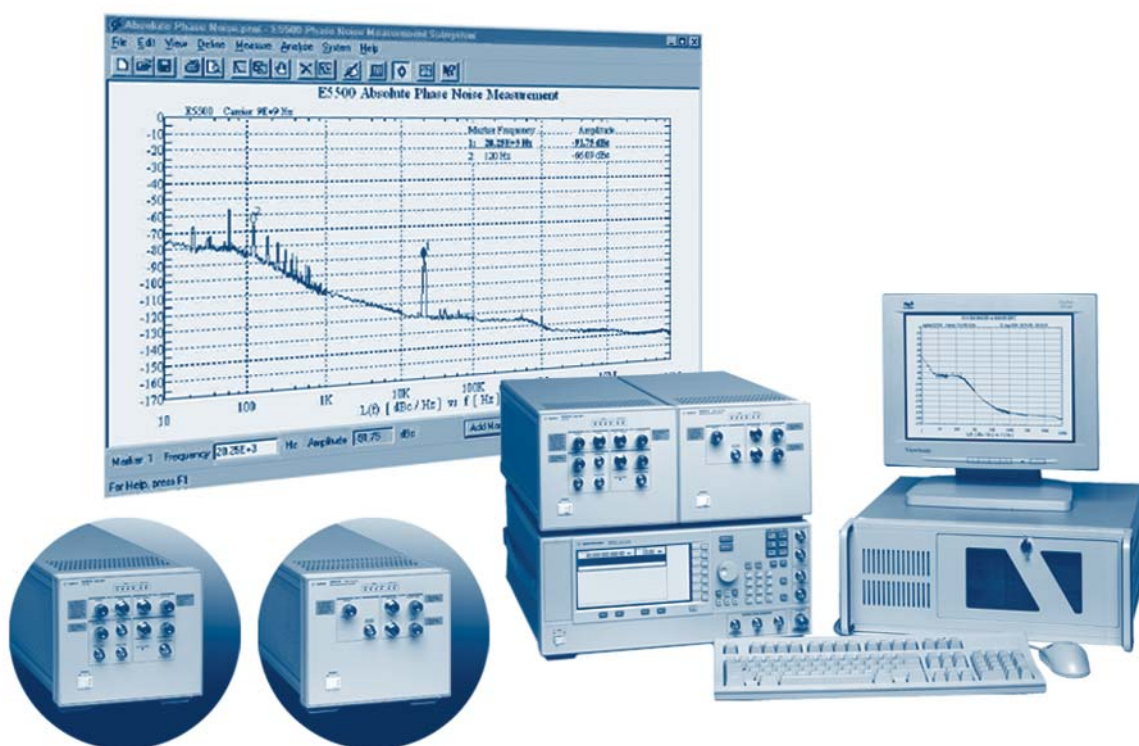


Рисунок 8 - Техническое решение E5500 для измерения фазового шума компании Agilent предлагает самый гибкий набор видов измерений и конфигураций и самые широкие пределы частотной отстройки

Система E5500 предлагает наиболее гибкий набор измерений параметров однопортовых устройств, таких как генераторы, управляемые напряжением (ГУН), генераторы на диэлектрических резонаторах (ДР), кварцевые генераторы и синтезаторы. Могут измеряться и параметры двухпортовых устройств, включая усилители и преобразователи частоты, а также характеристики непрерывных (немодулированных), импульсных сигналов и дискретных помех. Набор измерений, выполняемых приборами серии E5500, включает измерение абсолютного и остаточного фазового шума, амплитудного шума и дискретных помех низкого уровня. Автономная архитектура приборного комплекса легко конфигурируется для различных методов измерения, включая методы опорного источника/ФАПЧ и частотного дискриминатора.

Обладая возможностью измерения в широком диапазоне частотных отстроек от 0,01 Гц до 100 МГц (от 0,01 Гц до 2 МГц без анализатора спектра/сигналов, поставляемого по дополнительному заказу), система E5500 даёт больше информации о характеристиках фазового шума ИУ на частотах, предельно близких и предельно далёких от несущей. В зависимости от выбранного малощумящего понижающего преобразователя частоты, E5500 может работать в диапазоне несущих частот до 26,5 ГГц; этот диапазон может быть расширен до 110 ГГц с помощью смесителя на гармониках миллиметрового диапазона серии 11970. Необходимые ключевые компоненты системы E5500 включают испытательное устройство (N5500A) и программное обеспечение ПК для измерения фазового шума. Графики на рисунке 9 показывают типичные значения чувствительности измерения фазового шума, ограничивающей возможности системы E5500.

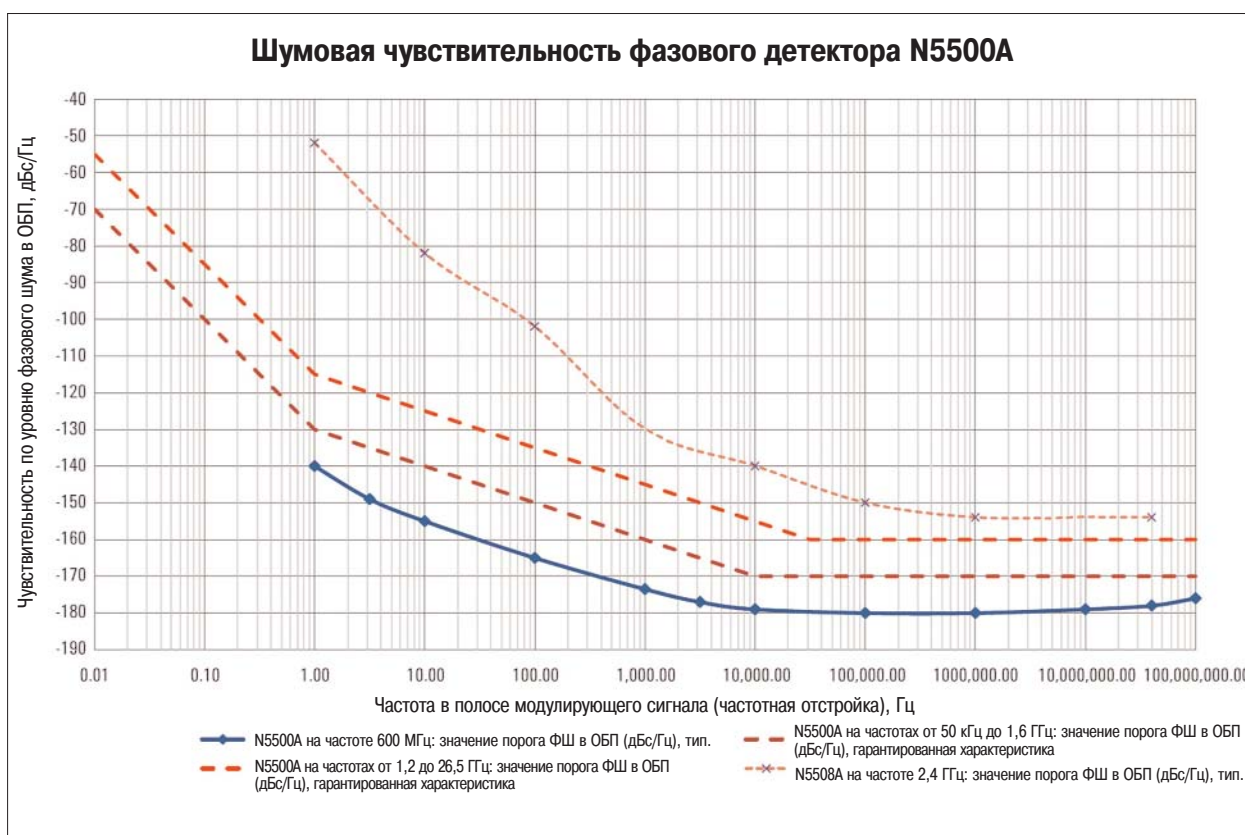


Рисунок 9 - Шумовая чувствительность фазового детектора N5500A

Кроме того, когда конфигурация выполнена с использованием программируемой линии задержки, система E5500 может дополнительно реализовать метод частотного дискриминатора, который даёт хорошую чувствительность при больших частотных отстройках, но худшую - при малых, что пригодно для измерения сигналов автогенераторов с большим дрейфом.

Одной из уникальных возможностей E5500 является её способность измерять фазовый шум импульсной несущей. Сигналы с импульсной модуляцией наиболее часто используются в радиолокационных системах (РЛС). В таких системах фазовый шум местного гетеродина приёмника определяет минимальный уровень отраженного от цели сигнала, который может быть обнаружен. В этом случае фазовый шум влияет на чувствительность радиолокационного приёмника, который в свою очередь определяет эффективную дальность обнаружения РЛС. С помощью системы E5500 пользователь может точно измерить абсолютный, остаточный фазовый шум и амплитудный шум импульсно-модулированных несущих для оценки предельных характеристик системы.

Система Agilent E5500 включает следующие аппаратные средства:

- Дискретизатор для ПК от 0,01 Гц до 2 МГц
- Испытательное устройство для фазового шума N5500A
- Выбранный мал шумящий понижающий преобразователь частоты

Дополнительные возможности:

- Расширение диапазона частотных отстроек до 100 МГц
- Добавление ВЧ опорного источника
- Добавление устройств, увеличивающих возможности входных портов (включает микроволновый фазовый и амплитудный детекторы)
- Расширение диапазона несущих частот до 110 ГГц
- Добавление возможности дистанционного управления с использованием языка SCPI для работы в средах автоматизированного испытательного оборудования

Ключевые характеристики и конфигурации E5500

Диапазоны несущих частот:

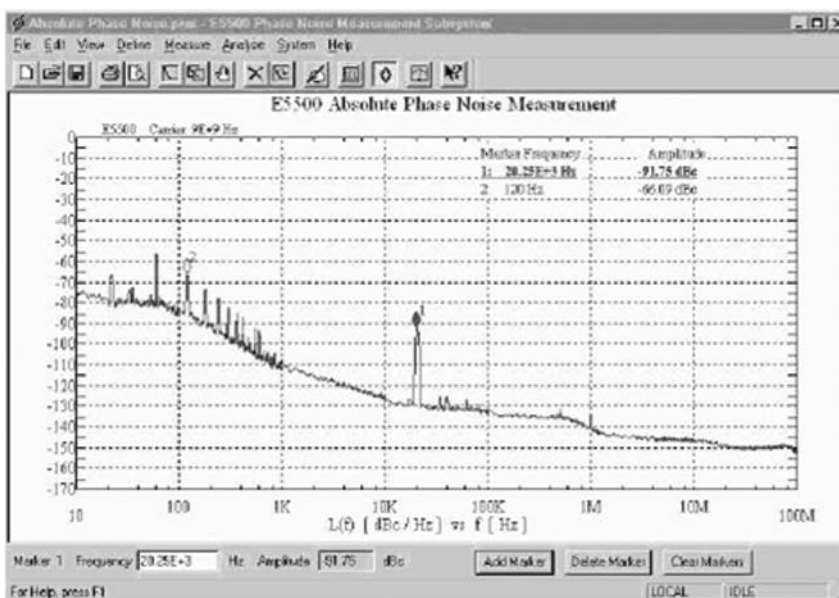
- От 50 кГц до 1,6 ГГц (N5500A, испытательное устройство фазового шума)
- От 50 кГц до 6,6 ГГц (N5501A, малозумящий понижающий преобразователь частоты на 6,6 ГГц)
- От 50 кГц до 18 ГГц (N5502A, малозумящий микроволновый понижающий преобразователь частоты на 18 ГГц)
- От 50 кГц до 26 ГГц (N5507A, малозумящий микроволновый понижающий преобразователь частоты на 26,5 ГГц)
- От 50 кГц до 110 ГГц (с внешним смесителем 11970)

Диапазоны частотных отстройек:

- От 0,01 Гц до 2 МГц
- От 0,01 Гц до 100 МГц (с одним из анализаторов спектра/сигналов MXA, PSA или ESA)

Шумовая характеристика системы

- Минус 180 дБс/Гц, тип. (при отстройке более 10 кГц)



Фазовый шум системы E5500

Более подробную информацию можно найти на сайте
<http://www.agilent.com/find/E5505A>

Метод двухканальной взаимной корреляции: анализатор источников сигналов E5052B

Анализатор источников сигналов E5052B

Анализатор источников сигналов Agilent E5052B объединяет в одном всеобъемлющем инструментальном средстве следующие виды измерений для определения характеристик источников сигналов.

- Измерение фазового шума
- Исследование переходных процессов установления частоты, фазы и мощности в системах ФАПЧ для определения времени захвата и линейности частотной модуляции в ЛЧМ-импульсе
- Измерение частоты, ВЧ мощности и величины постоянного тока в зависимости от напряжения для тестирования настройки ГУН
- Текущий контроль спектра
- Измерение амплитудного шума
- Измерение уровня шума в полосе модулирующего сигнала

К источникам сигналов, характеристики которых могут быть измерены анализатором E5052B, относятся ГУНЫ, генераторы ДР, генераторы на поверхностных акустических волнах (ПАВ), синтезаторы с ФАПЧ, ВЧ интегральные схемы, передатчики и генераторы тактовых сигналов.

Для измерений фазового шума E5052B использует метод взаимной корреляции, чтобы снизить шумовой порог прибора на всех частотных отстройках. Алгоритм взаимной корреляции существенно сокращает влияние шума встроенных опорных источников. Степень этого сокращения зависит от числа корреляций. Например, 100 циклов корреляции снижают порог фазового шума на 10 дБ; 10000 циклов корреляции повышают чувствительность измерения фазового шума на 20 дБ.



Анализатор источников сигналов E5052B с микроволновым понижающим преобразователем частоты E5053A



Результаты множественных измерений

На рисунках 10 и 11 приведены графики типичной чувствительности измерения фазового шума и чувствительности, повышенной с помощью метода взаимной корреляции, соответственно. Для сигнала с несущей частотой 1 ГГц при отстройке на 10 кГц собственный порог фазового шума анализатора E5052B - около минус 146 дБс/Гц. Используя 100 циклов взаимной корреляции можно снизить этот порог до минус 156 дБс/Гц ценой увеличения времени измерения.

Базовая модель анализатора E5052B перекрывает диапазон несущих частот от 10 МГц до 7 ГГц, который с помощью понижающего преобразователя частоты E5053A можно расширить до 26,5 ГГц и до 110 ГГц с помощью внешнего понижающего преобразователя и смесителей на гармониках серии 11970. Метод взаимной корреляции может использоваться в диапазоне частот от 10 МГц до 110 ГГц. Диапазон частотных отстроек - от 1 Гц до 100 МГц (от 10 Гц до 100 МГц с опцией E5052B-011).

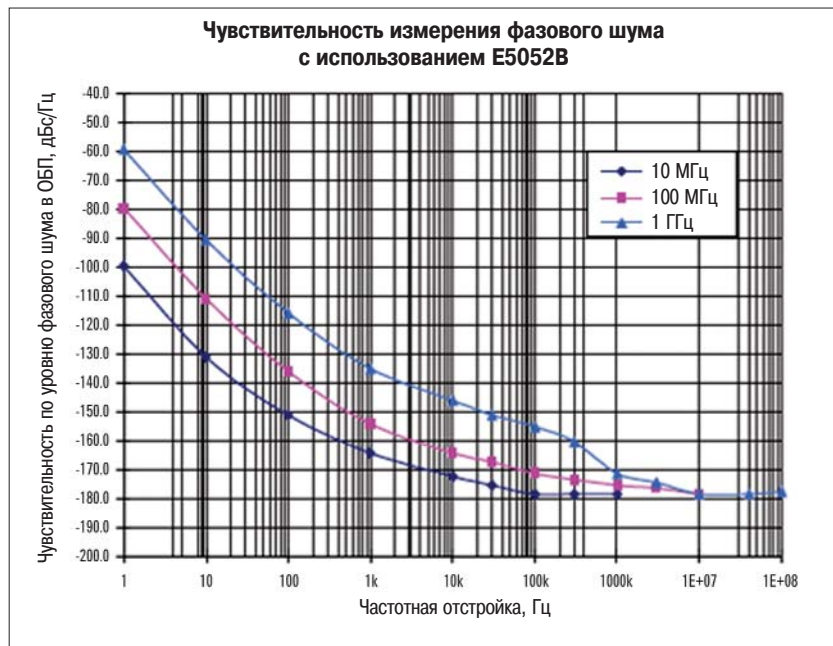


Рисунок 10 - Чувствительность анализатора E5052B при измерении фазового шума на трёх несущих частотах (стандартная конфигурация, корреляция = 1)

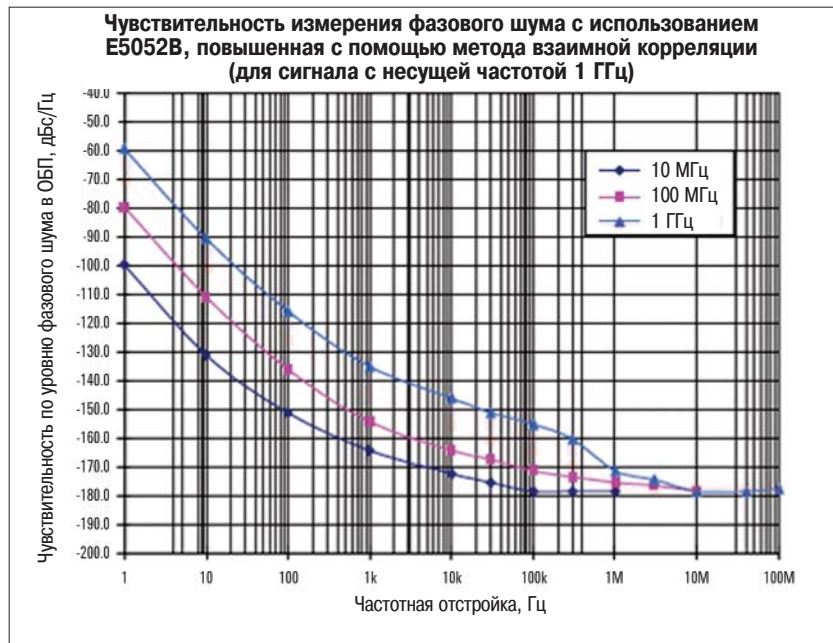


Рисунок 11 - Характеристики фазового шума анализатора E5052B на несущей частоте 1 ГГц, улучшенные с помощью 1, 10 и 100 циклов корреляции

Ключевые характеристики и конфигурации E5052B

Диапазоны несущих частот:

- От 10 МГц до 7 ГГц
- От 10 МГц до 26,5 ГГц (с преобразователем E5053A)
- От 10 МГц до 110 ГГц (с преобразователем E5053A и внешними смесителями серии 11970)

Диапазоны частотных отстроек:

- От 1 Гц до 100 МГц
- От 10 Гц до 100 МГц (с опцией E5052B-011)

Шумовая характеристика системы

- Минус 146 дБс/Гц, тип. (несущая 1 ГГц, отстройка 10 кГц, корреляция = 1)
- Минус 156 дБс/Гц, тип. (несущая 1 ГГц, отстройка 10 кГц, корреляция = 100)

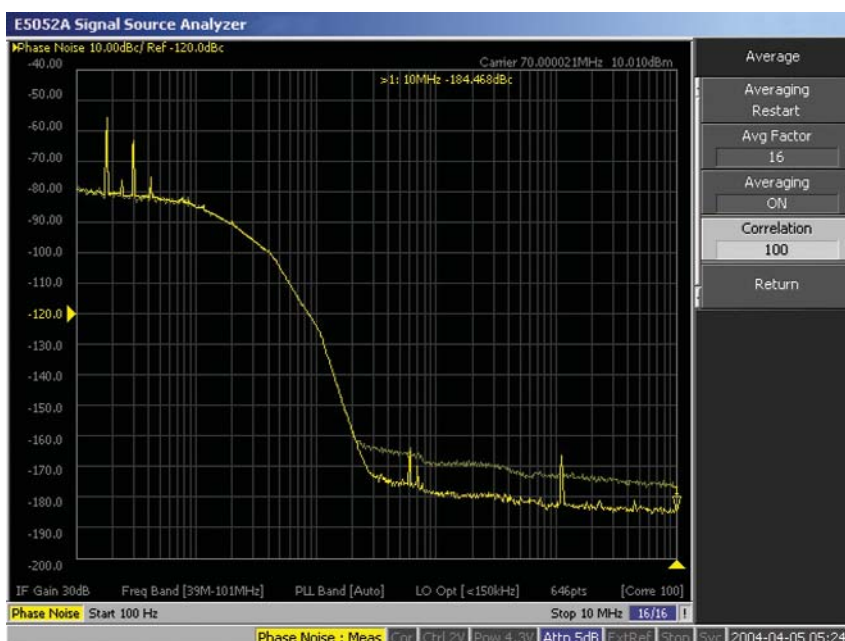


График фазового шума в логарифмическом масштабе, полученный с помощью анализатора источника сигнала E5052B

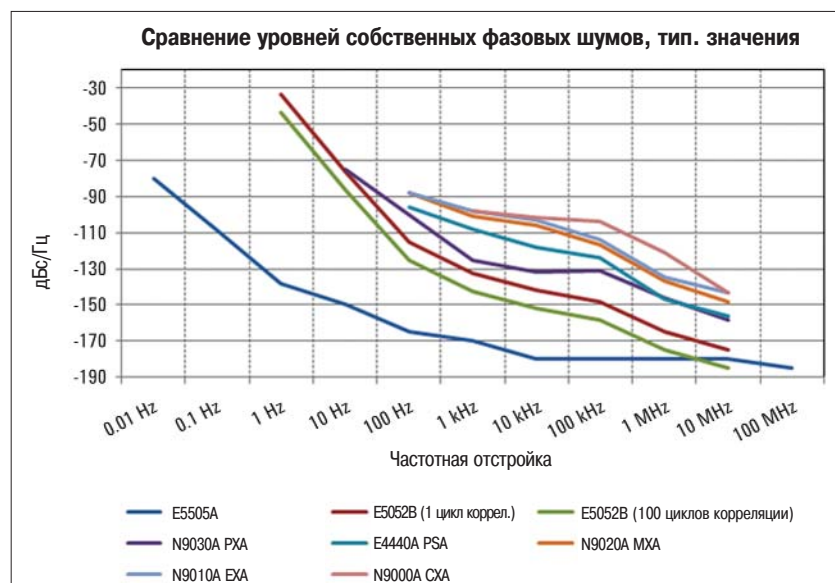
Более подробную информацию можно найти на сайте
<http://www.agilent.com/find/SSA>

Сравнение технических решений компании Agilent для измерения фазового шума

В приведённой ниже таблице дано сравнение технических решений компании Agilent для измерения фазового шума, методов измерения, на которых они основаны, их достоинств и недостатков.

Таблица 4 - Технические решения для измерения фазового шума (ФШ)

Техническое решение Agilent для измерения ФШ	Метод измерения ФШ	Преимущество	Недостатки
<ul style="list-style-type: none"> Прикладные программы N9068A/W9068A для измерения фазового шума на анализаторах сигналов серии X Опция 226 - спец. программа измерения фазового шума на анализаторах спектра серий PSA и ESA 	Прямое измерение спектра	<ul style="list-style-type: none"> Простота работы Быстрый контроль сигналов, захваченных системой ФАПЧ Прибор не предназначен специально для измерения ФШ, используется также для общего применения 	<ul style="list-style-type: none"> Трудно измерять ФШ вблизи несущей таких малошумящих источников, как кварцевые генераторы Не позволяет измерять ФШ сигналов дрейфующих источников (автогенераторы ГУН) Невозможно отделить амплитудный шум от фазового
<ul style="list-style-type: none"> Техническое решение E5500A для измерения ФШ 	Фазовый детектор (опорный источник/ФАПЧ)	<ul style="list-style-type: none"> Применим для широкого диапазона частотных отстроек С высококачественным гетеродином позволяет измерять очень малые уровни ФШ при малых отстройках от несущей Позволяет измерять ФШ как НГ, так и импульсной несущей Позволяет отделить фазовый шум от амплитудного 	<ul style="list-style-type: none"> Возможности измерения ФШ ограничиваются шумами гетеродина Требуется сложная установка и калибровка
<ul style="list-style-type: none"> Техническое решение E5500A для измерения ФШ 	Фазовый детектор (частотный дискриминатор, аналоговая линия задержки)	<ul style="list-style-type: none"> Позволяет измерять очень малые уровни ФШ при больших частотных отстройках Пригоден для измерения сигналов довольно дрейфующих источников, таких как ЖИГ-генераторы 	<ul style="list-style-type: none"> Нельзя измерять ФШ близко к несущей из-за ухудшения усиления, обусловленного дискриминатором Требуется сложная установка и калибровка Трудно сделать линию задержки, подходящую для произвольно выбранной испытательной частоты
<ul style="list-style-type: none"> Анализатор источника сигнала E5052B 	Методы ФАПЧ и гетеродинного (цифрового) дискриминатора с двухканальной взаимной корреляцией	<ul style="list-style-type: none"> Простота операций исключает необходимость в сложной установке и калибровке системы Позволяет измерять очень малые уровни ФШ в широком диапазоне частотных отстроек Взаимная корреляция повышает чувствительность измерения ФШ Позволяет отделить фазовый шум от амплитудного Сверхнизкий уровень шума встроенного источника пост. тока для испытания ГУН 	<ul style="list-style-type: none"> Более длительное время измерения при экстремально низком уровне ФШ на малых частотных отстройках



Сравнение шумовых характеристик различных технических решений на несущей частоте 1 ГГц

Выбор правильного решения для измерения фазового шума

Приведённые диаграммы помогут выбрать правильное техническое решение компании Agilent для измерения фазового шума, которое позволит удовлетворить специфические требования пользователя. При использовании этих диаграмм прежде всего следует определить особенность прикладной задачи, затем выбрать тип испытуемого устройства, установить требования к измерениям и оценить возможности бюджета финансирования (на диаграммах эти этапы обозначены различным цветом).

Хотя это очень упрощённая процедура, она может указать путь к литературе, содержащей описание продукции и приведённой в разделе "Дополнительная литература".

Требования пользователя

Прикладная задача
 Тип ИУ
 Требования к измерениям
 Бюджет финансирования

Анализ спектра/сигнала с быстрой проверкой фазового шума

- Недрейфующие источники сигнала
- ГУН с фазовой автоподстройкой
- Источники сигнала с низким ампл. шумом
- ФШ немодулированной несущей
- Част. отстройка от 100 Гц до 10 МГц
- Фиксированная частота
- ИУ с относительно высоким уровнем ФШ

Небольшой бюджет финансирования

Фазовый шум, полученный с помощью других измерений частоты, мощности и спектра

- ГУНы
- Генераторы на ПАВ
- Генераторы на ДР
- Синтезаторы на основе ФАПЧ
- Передатчики
- Генераторы тактовых сигналов
- ФШ немодулированной несущей
- Очень низкий ФШ при большой отстройке от несущей
- Част. отстройки от 1 Гц до 100 МГц
- Перех. процесс установления частоты, фазы и мощности в интервале времени
- Амплитудный шум
- Текущий контроль спектра
- Частота, ВЧ мощность, пост. ток
- Шум в полосе модулирующего сигнала

Средний бюджет финансирования

Специализир. измерения фазового шума

- ГУНы
- Генераторы на ДР
- Кварцевые генераторы
- Синтезаторы
- Усилители
- Преобразователи частоты
- ФШ немодулированной и импульсной несущих
- Очень низкий ФШ в широкой полосе отстроек
- Част. отстройки от 0,01 Гц до 100 МГц
- Абсолютный ФШ
- Остаточный ФШ
- Амплитудный шум
- Дискретные помехи низкого уровня

Высокий бюджет финансирования

Варианты для рассмотрения

Конкретное решение Agilent для измерения фазового шума



Прикладная программа N9068A/W9068A для анализаторов сигналов серии X



Анализаторы источников сигналов E5052B



Техническое решение для измерения фазового шума E5500A

Дополнительная литература

Приведённые ниже литературные источники можно загрузить с web-сайта компании Agilent путём ввода номера публикации в качестве критерия поиска.

- *N9068A/W9068A phase noise measurement application, technical overview* (Приложение для измерения фазового шума N9068A/W9068A. Технический обзор) Номер публикации 5989-5354EN
- *PSA Series phase noise measurement personality, technical overview* (Специализированная программа измерения фазового шума для анализатора серии PSA. Технический обзор) Номер публикации 5988-3698EN
- *Agilent E5500 Series phase noise measurement solutions, product overview* (Технические решения для измерения фазового шума серии E5500 компании Agilent. Обзор продукта) Номер публикации 5989-0851EN
- *E5052B signal source analyzer brochure* (Анализатор источника сигнала E5052B. Брошюра) Номер публикации 5989-6389EN

Интернет-ресурсы

- www.agilent.com/find/phasenoise
- www.agilent.com/find/N9068A
- www.agilent.com/find/W9068A
- www.agilent.com/find/PSA
- www.agilent.com/find/E5505
- www.agilent.com/find/SSA



Agilent Email Updates

www.agilent.com/find/emailupdates

По этому адресу пользователь может получить новейшую информацию по выбираемым им изделиям и вопросам их применения.



www.lxistandard.org

LXI является преемником шины GPIB. Построенная на базе стандарта локальной сети (LAN), LXI обеспечивает более высокое быстродействие и более эффективные возможности подключения. Компания Agilent является членом-учредителем консорциума LXI.

Прочь все сомнения

Без сомнения, наши ремонтные и калибровочные службы вернут Ваше оборудование с рабочими характеристиками, как у нового оборудования. Без сомнения, мы сделаем это быстро в обещанный срок. Мы поможем получить максимальную отдачу от оборудования компании Agilent в процессе всего срока его службы. Ваше оборудование будет обслуживаться персоналом, обученным в компании Agilent, с использованием новейших методик калибровки, автоматической ремонтной диагностики, неподдельных запасных частей и с использованием уникальной возможности доступа к заводским экспертам, если в этом возникнет необходимость. Это значит, что Вы всегда будете уверены в результатах измерений. Для получения информации, касающейся самостоятельного технического обслуживания данного изделия, пожалуйста, обращайтесь в представительство компании Agilent.

Компания Agilent предлагает широкий спектр дополнительных экспертных услуг по испытаниям и измерениям для повышения эффективности использования Вашего оборудования, включая помощь при первом запуске, обучение на месте, а также проектирование, системную интеграцию и руководство проектом.

Для получения дополнительных сведений об услугах по ремонту и калибровке посетите наш сайт по адресу:

www.agilent.com/find/removealldoubt

Для получения дополнительной информации по продуктам компании Agilent Technologies, предназначенным для измерений и испытаний, а также по их применению и обслуживанию, пожалуйста, обращайтесь в Российское представительство компании Agilent Technologies по адресу:

**Россия, 115054, Москва,
Космодамианская набережная,
д. 52, стр. 1
Тел: (495) 797 3963, 797-3900
Факс: (495) 797 3902, 797 3901
E-mail: tmo_russia@agilent.com**
или посетите нашу страницу в сети Internet по адресу:
www.agilent.ru

Технические характеристики и описания изделий, содержащиеся в данном документе, могут быть изменены без предварительного уведомления.

© Авторское право Agilent Technologies, Inc. 2010, 2011
Отпечатано в России в январе 2011 года
Номер публикации 5990-5729RURU

Торговые партнёры Agilent

www.agilent.com/find/channelpartners

По этому адресу пользователь может получить лучшее из двух миров: глубокие профессиональные знания в области измерительной техники и широкая номенклатура выпускаемой продукции компании Agilent в сочетании с удобствами, предоставляемыми торговыми партнёрами.

