



Серия PNA-X компании Agilent

**Анализаторы цепей
СВЧ диапазона с самыми
высокими характеристиками**

- Одно подключение, комплекс измерений
- От 10 МГц до 13,5/26,5/43,5/50 ГГц
- 2- и 4-портовые модели
- Два встроенных источника сигналов с высокими характеристиками
- Одноблочное техническое решение для измерения параметров цепей в импульсном режиме
- Внутреннее устройство суммирования сигналов и механические переключатели
- Методы калибровки, соответствующие последним достижениям
- 10,4-дюймовый дисплей с функцией сенсорного экрана



Agilent Technologies

Приглашаем Вас в мир PNA-X

Анализаторы цепей СВЧ диапазона с самыми высокими характеристиками

Анализаторы цепей PNA-X представляют собой важное достижение в части скорости, точности, производительности и многофункциональных возможностей по сравнению с традиционными анализаторами цепей СВЧ диапазона. PNA-X является также платформой или испытательной системой, а не просто анализатором цепей в чистом виде. Добавление опций к этой платформе предоставляет пользователю функциональные возможности, которые в недалёком прошлом потребовали бы объединения в систему автономных генераторов сигналов, анализатора спектра и измерителя коэффициента шума.

При использовании анализатора цепей PNA-X легко реализуется принцип "одно подключение - комплекс измерений". После калибровки и подключения к испытываемому устройству (ИУ) пользователи могут измерить практически все необходимые параметры ИУ. Например, при испытаниях усилителей можно одновременно измерить согласование по входу и выходу, коэффициент усиления, гармоники, точку компрессии на 1 дБ, коэффициент преобразования амплитудной модуляции в фазовую, уровень точки пересечения третьего порядка (TOI) и коэффициент шума. Анализаторы цепей серии PNA-X предназначены для измерений активных компонентов, таких как усилители мощности, маломощные усилители, смесители, преобразователи частоты, модули передачи/приёма и антенны.

Новые приложения/измерительные функции

- **Измерения коэффициента шума:** измерения с коррекцией согласования в источнике, обеспечивающие самую высокую точность в отрасли
- **Измерения нелинейных X-параметров:** достижение в области анализа нелинейного поведения активных устройств
- **Измерения преобразователей частоты со встроенным гетеродином:** точное измерение абсолютной фазы и ГВЗ
- **Измерения компрессии коэффициента усиления:** измерение коэффициента усиления в линейной области и в точке компрессии, входной и выходной мощности в точке компрессии и линейности ФЧХ
- **Измерения параметров цепей в импульсном режиме:** первое в мире одноблочное техническое решение для измерения параметров цепей в импульсном режиме на базе анализатора цепей с внутренними импульсными модуляторами и импульсными генераторами
- **Измерения с использованием истинных дифференциальных сигналов стимулов:** обеспечение истинных дифференциальных сигналов стимулов для измерения балансных компонентов
- **Измерения с использованием скалярной калибровки смесителя:** перенос точности измерителя мощности на измерения коэффициента усиления/потерь преобразования
- **Измерения с использованием векторной калибровки смесителя:** измерение абсолютного ГВЗ для смесителей и преобразователей частоты
- **Измерения интермодуляционных и гармонических искажений:** измерение искажений в режимах свипирования по частоте и свипирования по мощности без использования внешних компонентов

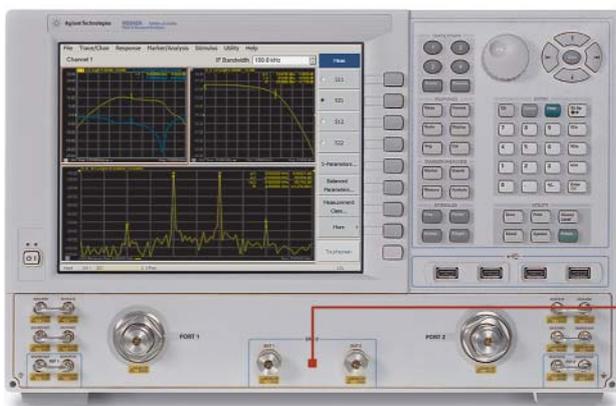
Анализатор цепей PNA-X перекрывает все существующие приложения, используемые в PNA/PNA-L, до 26,5 ГГц

Возможности калибровки, соответствующие последним достижениям

- **Калибровка QSOLT (Quick SOLT) calibration:** улучшение эффективности за счёт значительного сокращения числа калибровочных мер, требуемых для многопортовых установок
- **Расширенная калибровка частотной неравномерности:** более простая калибровка для измерения усилителей мощности

Анализатор цепей PNA-X перекрывает все методы калибровки, используемые в PNA/PNA-L, до 26,5 ГГц

Выход второго источника



Интуитивно-понятное управление позволяет быстро выполнять сложные измерения

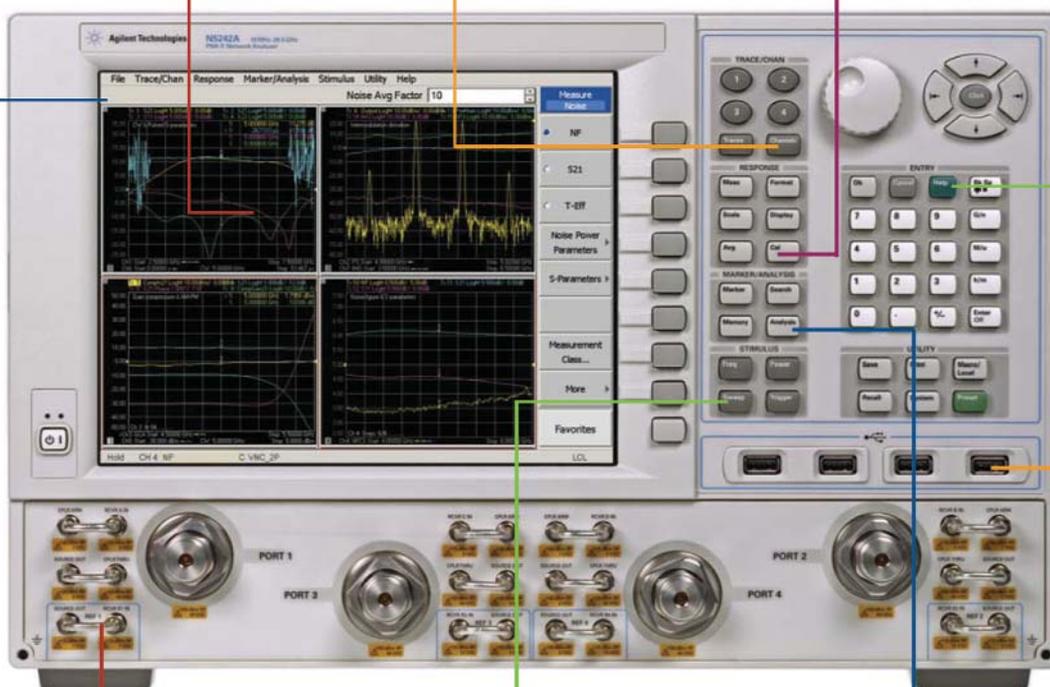
Удобный интерфейс пользователя: аппаратные клавиши, программируемые клавиши и ниспадающие меню

До 10 маркеров на график

32 измерительных канала и неограниченное число графиков

Соответствующие последним достижениям методы калибровки

Диалоговая справочная система



Конфигурируемый измерительный блок на всех моделях

Виды свипирования: линейное, логарифмическое, по мощности, НГ и сегментированное

Редактор формул и анализ во временной области

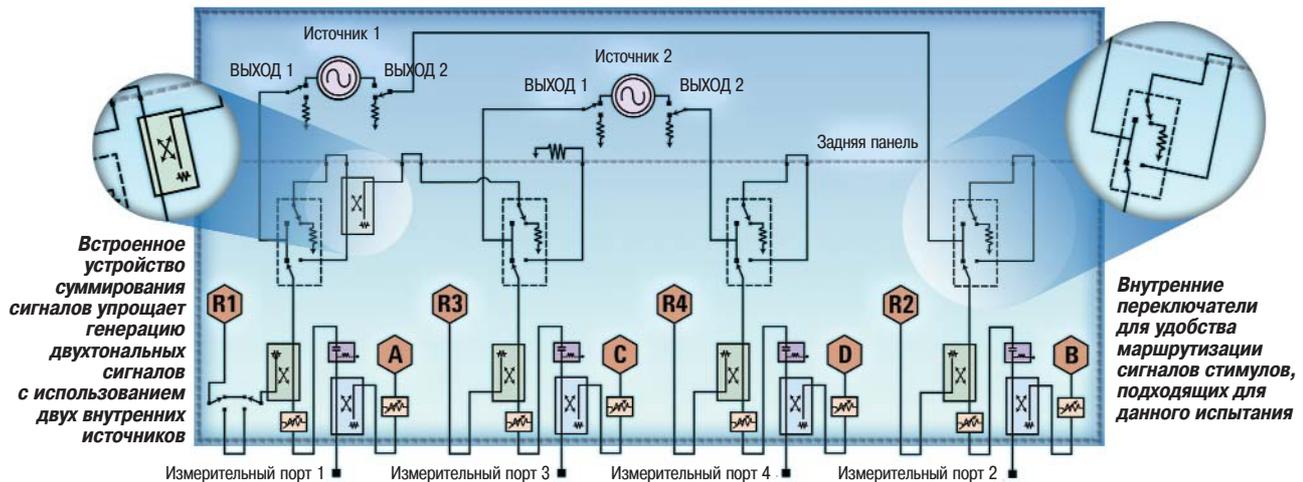
Быстрый доступ для модулей электронной калибровки (ECal) и других устройств с интерфейсом USB

Анализаторы цепей серии PNA-X оснащены 10,4-дюймовым дисплеем с высоким разрешением и функцией сенсорного экрана, который обеспечивает четкое отображение и удобный доступ ко всем данным и графикам. Улучшенный интерфейс пользователя допускает интуитивно-понятное управление и помогает быстро устанавливать сложные условия измерения.



Анализаторы цепей СВЧ диапазона с самыми высокими характеристиками

Самые высокие в отрасли характеристики и архитектура, обладающая высокой степенью интеграции и возможностями конфигурирования, превращают анализаторы цепей серии PNA-X в идеальное техническое решение для сложных задач испытаний активных устройств. Эти анализаторы цепей предоставляют инженерам наилучшие возможности испытаний компонентов.



Структурная схема анализатора цепей серии PNA-X (показана с опциями 400, 419 и 423)

Высококачественные источники сигналов

- От 10 МГц до 13,5/26,5/43,5/50 ГГц
- Второй внутренний источник для измерений интермодуляционных искажений, S_{22} в рабочем режиме и измерений с высокой скоростью свипирования сигнала гетеродина
- Выходная мощность до +22 дБм и диапазон свипирования по мощности 48 дБ
- Низкий уровень гармоник (≤ -60 дБс) для точных измерений гармонических и интермодуляционных искажений

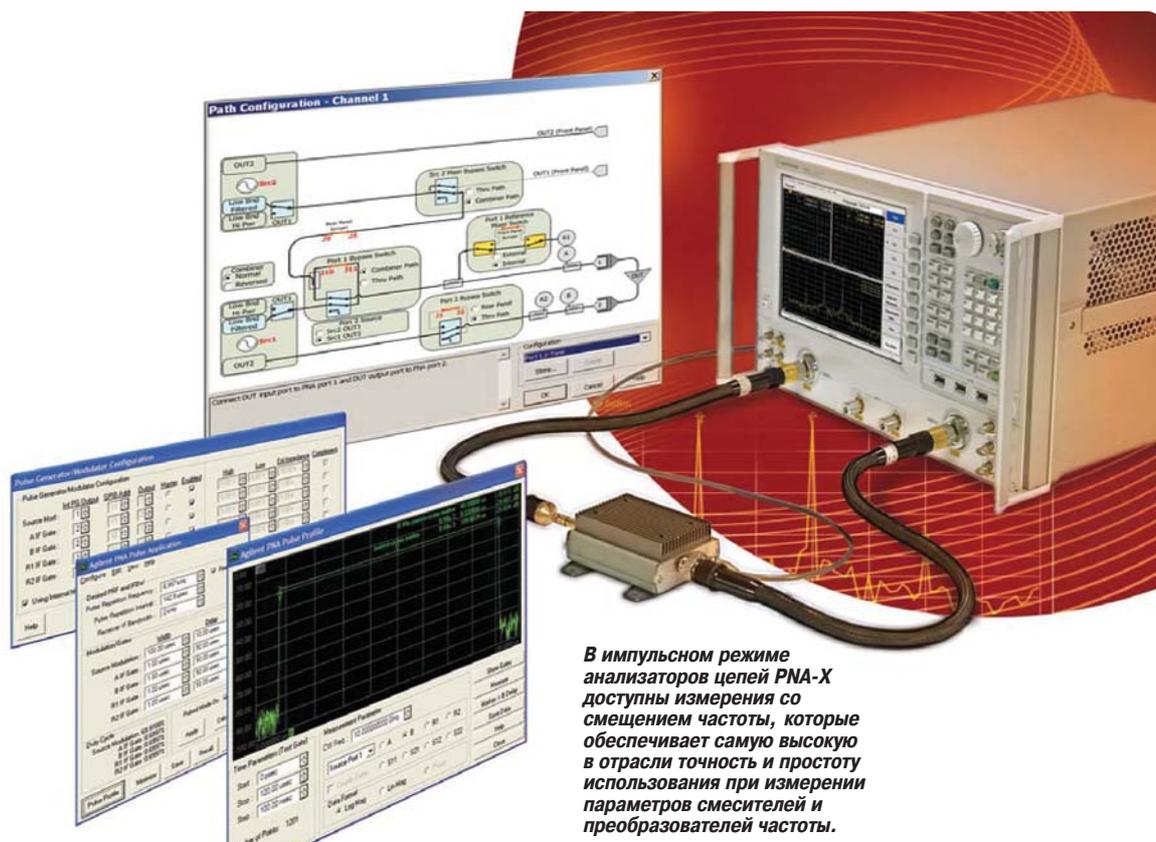
Чувствительные и линейные приёмники

- Приёмники с точками компрессии на 0,1 дБ при уровне +13 дБм для улучшения точности в динамическом режиме
- Более высокая, чем у анализаторов цепей серии PNA, чувствительность для измерения S-параметров в импульсных режимах
- Низкий уровень собственных шумов -130 дБм при полосе ПЧ 10 Гц
- В стандартной комплектации максимальная полоса ПЧ 5 МГц для измерения коротких импульсов (от 250 нс)

Исключительная гибкость

- Встроенное устройство суммирования сигналов упрощает измерение интермодуляционных искажений и S_{22} в рабочем режиме
- Встроенные импульсные модуляторы и импульсные генераторы для измерений в импульсных режимах
- Внутренние механические переключатели допускают гибкую маршрутизацию сигналов при одном подключении – комплексе измерений; внешние фильтры, предусилители и дополнительная контрольно-измерительная аппаратура (например, генератор сигналов или анализатор спектра) могут быть подключены, когда необходимо
- Возможность измерения коэффициента шума до 26,5 ГГц расширяет набор измерений, доступных при одном подключении, и обеспечивает наивысшую точность в отрасли
- Перемычки на передней панели обеспечивают прямой доступ к внутренним направленным ответвителям и приёмникам
- Атенюаторы источника и приёмника с шагом перестройки 5 дБ для оптимизации условий измерения
- Встроенные цепи подачи смещения упрощают измерение параметров усилителей
- Три набора линий запуска на задней панели позволяют упростить синхронизацию приборов в сложной системе

Первое в отрасли одноблочное техническое решение для измерений параметров цепей в импульсном режиме



В импульсном режиме анализаторов цепей PNA-X доступны измерения со смещением частоты, которые обеспечивает самую высокую в отрасли точность и простоту использования при измерении параметров смесителей и преобразователей частоты.

Свойства технических решений PNA-X при измерении параметров цепей в импульсном режиме

- Встроенные двунаправленные импульсные модуляторы и 4-канальный импульсный генератор
- Полоса ПЧ 5 МГц для измерения коротких импульсов (≥ 250 нс) в режиме широкополосного детектирования и временное разрешение 133 нс при измерениях в точках, которые с постоянным временным интервалом распределены по импульсу (Pulse profile)
- В режиме узкополосного детектирования обеспечиваются сигналы стимулов с минимальной длительностью ≥ 33 нс (20 нс, тип. значение) и временное разрешение 33 нс (20 нс, тип. значение) при измерениях в точках, которые с постоянным временным интервалом распределены по импульсу (Pulse profile)
- Интегрированное техническое решение для измерений с усреднением на выбранном участке в пределах длительности импульса (Point-in-pulse), в точках, которые с постоянным временным интервалом распределены по импульсу (Pulse profile), с усреднением по всей длительности импульса (Average Pulse) в режимах широкополосного и узкополосного детектирования. Измерения на последовательности импульсов (Pulse-to-pulse) доступны в режиме широкополосного детектирования
- Существенное увеличение динамического диапазона в режиме узкополосного детектирования по сравнению с анализаторами цепей серии PNA за счёт объединения кварцевых фильтров, аппаратного стробирования и патентованных методов, разработанных компанией Agilent: обнуления спектра и программного стробирования
- Бесплатно распространяемая прикладная программа для режима широкополосного детектирования упрощает установку условий измерения параметров цепей в импульсном режиме, значительно увеличивая эффективность испытаний
- PNA-X может быть синхронизирован с внешними импульсными модуляторами и импульсными генераторами при решении прикладных задач, в которых требуется сложная временная синхронизация
- Возможность измерения параметров цепей в импульсном режиме доступна для использования в системах антенных измерений дальнего поля
- Возможность измерения параметров цепей в импульсном режиме доступна для использования в системах миллиметрового диапазона на базе анализаторов цепей серии PNA-X
- Полная 2-портовая калибровка и расширенная калибровка частотной неравномерности доступны в режиме измерения параметров цепей в импульсном режиме

Технические проблемы измерения параметров цепей в импульсном режиме

В связи с быстрым развитием радиолокационных технологий и применений возрастает потребность во всё более коротких импульсных ВЧ сигналах.

При использовании широкополосного детектирования импульсов (обеспечивающего самые быстрые измерения) наблюдается следующая зависимость: чем короче импульс, тем шире должна быть требуемая полоса ПЧ. Поэтому минимальная длительность импульса, которая может быть измерена анализатором цепей, ограничена его полосой ПЧ. Традиционные анализаторы цепей, полоса ПЧ которых не превышает десятков или сотен кГц, уже не соответствуют потребностям промышленности. В отличие от них, PNA-X за счёт расширения полосы ПЧ до 5 МГц способен измерять S-параметры в импульсных режимах при широкополосном детектировании коротких импульсов (длительность импульса ≥ 250 нс). Полосы ПЧ, превышающие 5 МГц, не имеют практической ценности, поскольку с увеличением полосы ПЧ возрастает уровень собственных шумов приёмника, что приводит к ухудшению отношения сигнал-шум и погрешности измерения.

При узкополосном детектировании используется узкополосный фильтр ПЧ для удаления нежелательных спектральных составляющих импульсного сигнала. При этом остаётся только центральная составляющая спектра (более детальное обсуждение можно найти в заметках по применению Application Note 1408-12). При выборе этого метода на длительность импульсов уже не накладывается ограничений, но динамический диапазон измерения с уменьшением коэффициента заполнения импульсов в значительной степени сужается. Без сложной дополнительной обработки сигнала сужение динамического диапазона в зависимости от коэффициента заполнения определяется следующим выражением:

$$\text{Сужение динамического диапазона (дБ)} = -20 \times \text{Log}(\text{коэффициент заполнения})$$

Таким образом, при каждом уменьшении коэффициента заполнения в 10 раз динамический диапазон сужается на 20 дБ. Хотя некоторого улучшения динамического диапазона можно достичь за счёт ещё большего сужения полосы ПЧ, в результате замедляется скорость и снижается эффективность измерений. С учётом этих проблем в PNA-X для улучшения точности и скорости измерений использовано несколько инновационных и патентованных методов.

Инновационные и патентованные методы для узкополосного детектирования

Патентованный метод: спектральное обнуление

Большинство методов узкополосного детектирования используют максимально узкие фильтры ПЧ. Для подавления нежелательных спектральных составляющих импульсного сигнала полоса фильтра обычно устанавливается между 0,1% и 1% от частоты повторения импульсов (ЧПИ). Подавление составляет от 70 до 80 дБ. Однако фильтры с очень узкой полосой значительно замедляют скорость измерений. Для снижения влияния этих ограничивающих факторов анализатор цепей PNA-X применяет патентованный метод обнуления спектра (см. рисунок 1).

На рисунке 1 кривая синего цвета представляет АЧХ фильтра ПЧ с полосой 500 Гц, а красные линии представляют спектр импульсного сигнала с ЧПИ, равной 1,7 кГц. Красные пунктирные линии соответствуют нежелательным спектральным составляющим импульсного сигнала, а красная сплошная линия - требуемой центральной линии спектра. При условии правильного выбора полосы фильтра анализатора цепей PNA-X полосы обнуления фильтра ПЧ совпадают с нежелательными спектральными составляющими, оставляя только нужную центральную составляющую. В примере, показанном на рисунке 1, анализатор цепей PNA-X использует фактически каждую третью полосу обнуления фильтра для отфильтровывания нежелательных спектральных линий импульсного сигнала с подавлением более чем на 120 дБ.

При использовании метода спектрального обнуления, рассмотренного в данном примере, полоса ПЧ составляет 29,4% от ЧПИ. Для традиционного метода узкополосного детектирования полоса ПЧ должна была бы составить 1% (или даже меньше) от ЧПИ, то есть меньше 17 Гц, что привело бы к очень медленным измерениям. Таким образом анализатор цепей PNA-X за счёт патентованного метода спектрального обнуления обеспечивает более высокую скорость и улучшенную точность измерения.

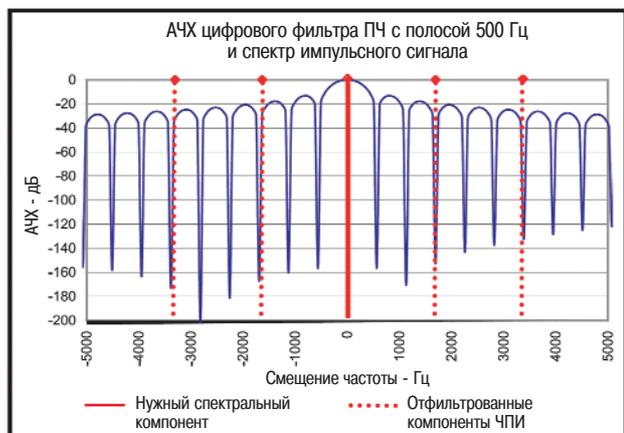
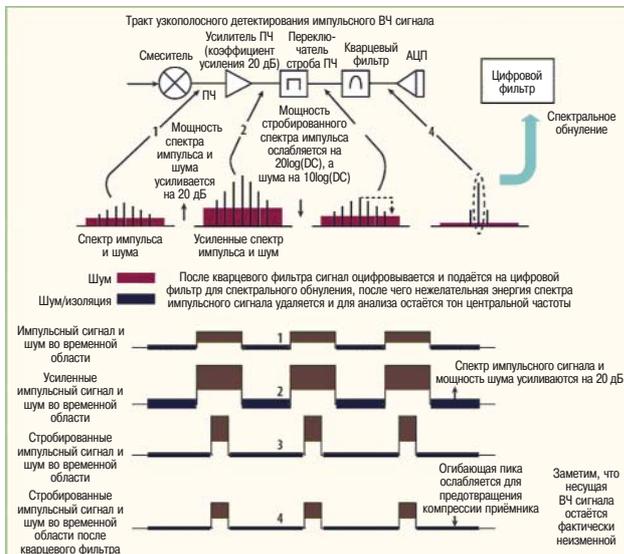


Рисунок 1 - Спектральное обнуление

Технические решения для измерения параметров цепей в импульсном режиме

ПРОДОЛЖЕНИЕ



Новое техническое решение: уникальный метод обработки узкополосных сигналов

Один из недостатков традиционного узкополосного детектирования заключается в том, что его использование обусловлено зависимостью от коэффициента заполнения сигналов стимулов. При каждом уменьшении коэффициента заполнения в 10 раз динамический диапазон сужается на 20 дБ. Например, при коэффициенте заполнения 0,001% соответствующее сужение динамического диапазона равно $100 \text{ дБ} = -20 \times \log(0,001\%)$. Техническое решение компании Agilent, направленное на преодоление этого ограничения, заключается в использовании уникального метода обработки узкополосных сигналов в анализаторах цепей серии PNA-X (см. рисунок 2).

Рисунок 2 - Уникальный метод обработки узкополосных сигналов

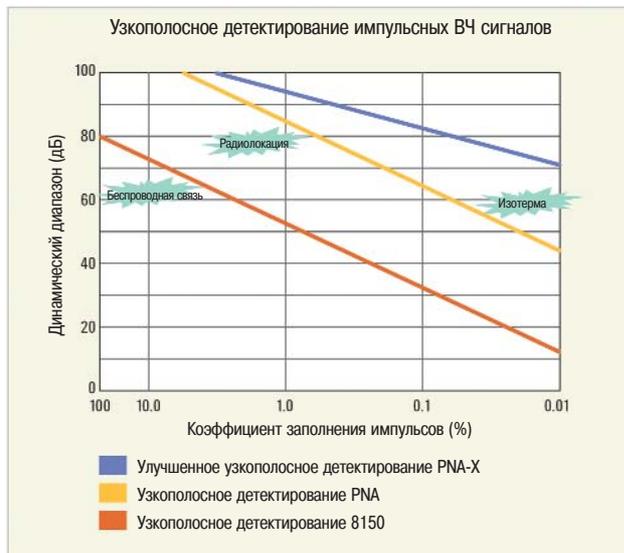


Рисунок 3 - Сравнение характеристик узкополосного детектирования

На рисунке 3 показано визуальное сравнение характеристик PNA-X и других традиционных технических решений. Улучшение зависимости динамического диапазона от коэффициента заполнения для PNA-X особенно очевидно при сравнении с более старыми техническими решениями, которые использовались в анализаторах цепей серий 8510 или PNA.

Технические решения для измерения параметров цепей в импульсном режиме

ПРОДОЛЖЕНИЕ

Патентованный метод: метод программного стробирования приёмника

Прогресс методов стробирования приёмника стал возможен как результат нового уникального технического решения компании Agilent – аппаратного стробирования, впервые использованного в анализаторах PNA-X (см. рисунок 4). Аппаратное стробирование необходимо для проведения измерений с усреднением на выбранном участке в пределах длительности импульса (Point-in-pulse), но оно не способно исключить шум и перекрёстные помехи за пределами временного селектора.

Кроме того, в анализаторе цепей PNA-X используется патентованный метод программного стробирования, разработанный компанией Agilent. После аппаратного стробирования сигналы ПЧ оцифровываются и подвергаются программному стробированию, как показано на рисунке 5. В результате программного стробирования снижается уровень шума и сигналов перекрёстных помех за рамками аппаратного временного селектора, обеспечивая таким образом приближение к идеальным условиям по уровню шума и изоляции. За счёт использования данного метода существенно увеличивается чувствительность измерений.



Рисунок 4 - Метод аппаратного стробирования приёмника

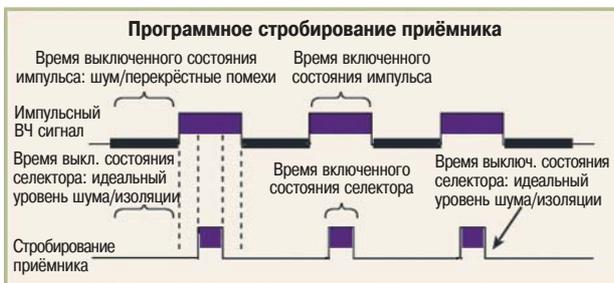


Рисунок 5 - Метод программного стробирования приёмника

Измерение параметров цепей в импульсном режиме: сравнение PNA-X и PNA

В то время как анализаторы цепей серии PNA остаются испытанным промышленным стандартом при решении проблем измерения параметров цепей в импульсном режиме, анализатор цепей PNA-X переносит эти измерения на более высокий уровень, объединяя преимущества методов аппаратного и программного стробирования. На рисунке 6 показано сравнение PNA-X и PNA в условиях реального измерения, когда коэффициент заполнения импульсов равен 0,001%. В сравнении с PNA, уровень собственных шумов анализатора цепей PNA-X уменьшается на 20 дБ за счёт более совершенных аппаратных средств тракта ПЧ. Кроме того, он дополнительно уменьшается ещё на 20 дБ за счёт программного стробирования. Таким образом, общее улучшение составляет 40 дБ. Измеренный динамический диапазон PNA-X даже при коэффициенте заполнения импульсов 0,001% равен 60 дБ.



Рисунок 6 - Сравнение PNA-X и PNA при измерении параметров цепей в импульсном режиме

Технические решения для измерения смесителей и преобразователей частоты с новейшими методами калибровки



Свойства технических решений PNA-X при измерении смесителей/преобразователей частоты

- Второй внутренний источник исключает необходимость использования внешнего синтезатора для генерации сигналов гетеродинов
- Значительное увеличение скорости измерений с использованием свипируемой частоты гетеродина/фиксированной ПЧ (до 35 раз быстрее, чем с внешним источником)
- Измерения абсолютного группового времени запаздывания и фазы
- Измерения потерь/усиления преобразования
- Измерения согласования по входу, согласования по выходу и согласования с гетеродином
- Измерения интермодуляционных искажений для устройств с преобразованием частоты
- Калибровка мощности сигнала гетеродина
- Выходная мощность внутреннего источника до +20 дБм
- Самое лучшее в отрасли техническое решение для измерения абсолютного группового времени запаздывания устройств с преобразованием частоты со встроенным гетеродином
- Новейшие патентованные методы калибровки
 - Векторная калибровка смесителя (VMC) для наиболее точных измерений абсолютного группового времени запаздывания
 - Скалярная калибровка смесителя (SMC) для измерения потерь/усиления преобразования с калибровкой по измерителю мощности
 - Оба метода предполагают коррекцию ошибок рассогласования на входе и выходе при измерениях параметров передачи, что значительно уменьшает неравномерность частотной характеристики и улучшает точность измерения

Технические решения для измерения смесителей и преобразователей частоты с новейшими методами калибровки

ПРОДОЛЖЕНИЕ

Технические проблемы измерения устройств с преобразованием частоты

Смесители и устройства с преобразованием частоты являются основой радиолокационных, спутниковых систем и систем беспроводной связи. В связи с быстрой разработкой разнообразных форматов и сложных видов модуляции сигналов требования к неравномерности АЧХ и линейности ФЧХ таких устройств возрастают. Двумя наиболее существенными факторами являются внутриполосная неравномерность частотных характеристик потерь преобразования и неравномерность характеристики группового времени запаздывания.

Измерение характеристик устройств с преобразованием частоты в отрасли производства ВЧ устройств связано с проблемами, особенно это касается измерения группового времени запаздывания. Ниже эти технические проблемы описаны более подробно.

1. Как уменьшить неравномерность частотной характеристики при измерении потерь преобразования, которая связана с ошибками, возникающими из-за рассогласования измерительных портов и испытуемого устройства? Традиционный метод заключается в измерении потерь преобразования посредством использования функции калибровки мощности источника и приёмника анализатора цепей. Поскольку данный метод не корректирует ошибки, связанные с рассогласованием портов, для улучшения согласования к измерительным портам добавляются аттенюаторы.

2. Как измерить абсолютное групповое время запаздывания устройств с преобразованием частоты? Для этого обычно используется один из двух известных методов: метод трёх смесителей или метод модуляции. Каждый из этих методов имеет свои ограничения. При использовании метода трёх смесителей ошибку рассогласования между двумя смесителями устранить невозможно, что, в свою очередь, влияет на точность измерения. Кроме того, требуется фильтр для исключения нежелательных частот смешения между двумя смесителями, поэтому влияние фильтра должно быть устранено. В дополнение к этому, один из трёх смесителей должен быть взаимным. Одной из проблем, связанных с использованием метода модуляции, является то, что в этом случае погрешность измерения ограничена обычно значениями от 5 до 10 нс.

3. Гетеродин большинства приёмников, используемых в спутниковых и радиолокационных системах, является внутренним и не может подключаться к внешнему тактовому сигналу. Частота гетеродинов в этих устройствах зависит от времени и температуры, что часто приводит к непригодным измерениям группового времени запаздывания, поскольку частота гетеродина медленно изменяется в процессе измерения.

Технические решения PNA-X для измерения устройств с преобразованием частоты

Скалярная калибровка смесителей

Скалярная калибровка смесителей (SMC) компании Agilent объединяет 2-портовую калибровку и калибровку мощности для решения первой из упомянутых выше технических проблем. Сначала производится калибровка мощности источника по измерителю мощности, чтобы обеспечить точный уровень мощности, выходящий из измерительного кабеля, подключенного к анализатору цепей. Откалиброванный источник используется затем для калибровки измерительных приёмников анализатора. После этого выполняется 2-портовая калибровка для измерения других систематических погрешностей, которые влияют на измерения параметров отражения и передачи. В частности, за счёт этого во время измерения потерь/усиления преобразования устраняются ошибки рассогласования, что приводит к уменьшению неравномерности характеристики.

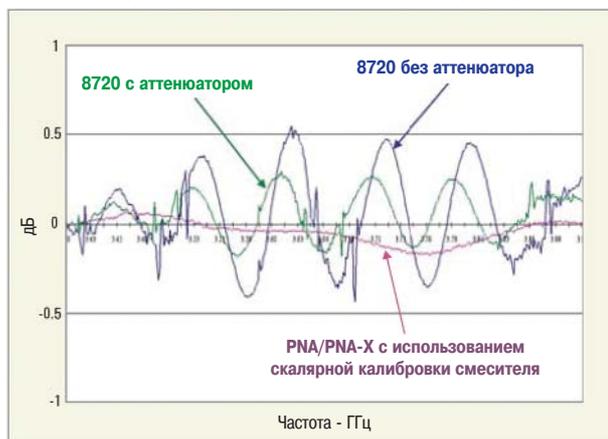


Рисунок 7 - Сравнение результатов измерения потерь преобразования

Конфигурация измерительной установки для скалярной калибровки смесителя показана на рисунке 8 (страница 11). Использование преобразователя мощности серии U2000 с шиной USB компании Agilent для калибровки мощности исключает необходимость во внешнем измерителе мощности.

На рисунке 7 (выше) показано сравнение результатов измерения потерь преобразования с использованием скалярной калибровки смесителя и традиционных методов. Для уменьшения ошибок, связанных с рассогласованием измерительных портов и испытуемого устройства, традиционные методы предполагают использование аттенюатора, но неравномерность характеристики остаётся при этом большой. Анализатор цепей PNA-X решает эту проблему за счёт использования коррекции ошибок, связанных с рассогласованием портов, которая обеспечивается скалярной калибровкой смесителя.

Технические решения для измерения смесителей и преобразователей частоты с новейшими методами калибровки

ПРОДОЛЖЕНИЕ

Необходимость опорного и калибровочного смесителей

Векторная калибровка смесителя (VMC)

Для измерения группового времени запаздывания (ГВЗ) требуется измерить фазу S_{21} . Поскольку S_{21} является отношением сигналов двух приёмников ($V/R1$), необходимо обеспечить, чтобы частоты измерительного приёмника V и опорного приёмника $R1$ были одними и теми же. Если они работают на разных частотах, то результатом будет белый шум. При измерении устройств с преобразованием частоты опорный приёмник $R1$ работает на входной частоте, а измерительный приёмник V - на выходной. Следовательно, частота входного сигнала, посланного на приёмник $R1$, должна быть преобразована к значению выходной частоты, чтобы частоты сигналов на входе приёмников $R1$ и V были одинаковыми. Поэтому чтобы обеспечить подачу на опорный приёмник $R1$ сигнала с соответствующей частотой, требуется опорный смеситель. Опорный смеситель поставляется пользователем. Схема измерительной установки показана на рисунке 9.

В этом случае 2-портовые калибровки используются, чтобы измерить 1-портовые коэффициенты погрешностей, связанные с каждым портом (на соответствующих входных и выходных частотах), а также согласование в нагрузке для порта 2. Для определения частотной неравномерности (собственного поля) при измерении параметров передачи в качестве меры перемены с известными характеристиками вводится калибровочный смеситель (также поставляемый пользователем). Характеристики калибровочного смесителя вместе с фильтром, который используется для выбора требуемого продукта преобразования с суммарной или разностной частотой, определяются посредством выполнения трёх измерений параметров отражения с использованием в качестве нагрузки мер холостого хода (XX), короткозамкнутой нагрузки (КЗ) и согласованной нагрузки (СН).

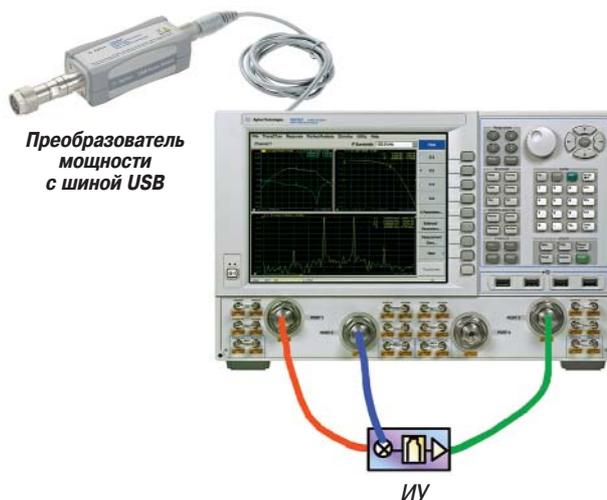


Рисунок 8 - Конфигурация измерительной установки для скалярной калибровки смесителя

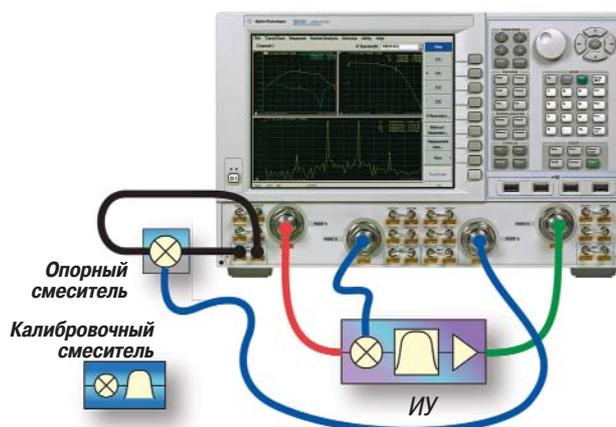


Рисунок 9 - Конфигурация измерительной установки для векторной калибровки смесителя

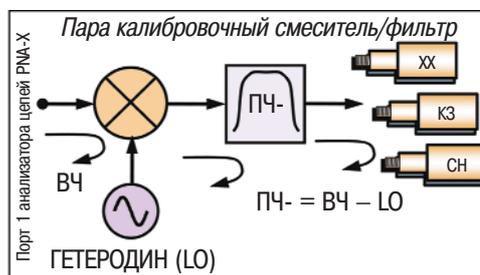


Рисунок 10 - Характеристики калибровочного смесителя определяются посредством выполнения трёх измерений параметров отражения с использованием в качестве нагрузки мер холостого хода (XX), короткозамкнутой нагрузки (КЗ) и согласованной нагрузки (СН).

Технические решения для измерения смесителей и преобразователей частоты с новейшими методами калибровки

ПРОДОЛЖЕНИЕ

Векторная калибровка смесителей (VMC)

В то время как многие инженеры полагают, что векторная калибровка смесителей является сложной и трудной для понимания, в действительности процесс её выполнения является достаточно простым и требует только трёх шагов.

Шаг 1: выполнить 2-портовую калибровку на портах 1 и 2. Данные собираются как на входной, так и выходной частотах.

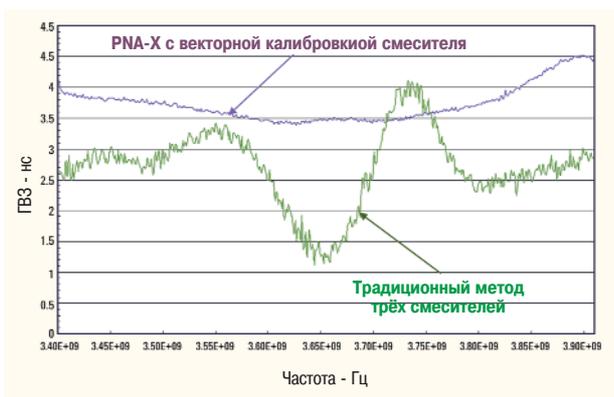
Шаг 2: определить характеристики пары калибровочный смеситель/фильтр, как показано на рисунке 10.

Шаг 3: использовать калибровочный смеситель/фильтр как меру перемены для определения частотной характеристики (собственного поля) при измерении параметров передачи всей измерительной системы

Измерение с использованием векторной калибровки смесителей

После калибровки пользователь просто подключается к испытываемому устройству (ИУ) для проведения измерения с использованием векторной калибровки смесителя. Измерения с использованием векторной калибровки смесителя можно также использовать для измерения параметров более сложных компонентов, таких как многоканальные смесители и преобразователи частоты, а также I/Q модуляторы, содержащие смесители.

На рисунке 11 показаны результаты измерения, сравнивающие метод измерения с использованием векторной калибровки смесителя с традиционным методом трёх смесителей. Нетрудно заметить, что при измерении с использованием векторной калибровки смесителя неравномерность частотной характеристики и уровень зашумленности графика намного меньше.



Измерение интермодуляционных искажений преобразователей частоты

Приложение для измерения интермодуляционных искажений (опция 087) компании Agilent значительно облегчает установку условий и калибровку измерений интермодуляционных искажений преобразователей частоты в режиме свипирования. Данное приложение управляет двумя внутренними источниками анализатора цепей PNA-X и внешним генератором, который может использоваться в качестве второго источника сигнала стимула, либо в качестве источника сигнала гетеродина для испытываемого устройства. Более полное описание этого приложения приведено на странице 20.

Преобразователи частоты со встроенным гетеродином

Преобразователи частоты со встроенным гетеродином содержат внутренний гетеродин, который невозможно синхронизировать с внешним опорным генератором, либо заменить внешним сигналом. Такие устройства с преобразованием частоты широко используются в спутниковых и больших радиолокационных системах. На рисунке 12 показан пример такого устройства.

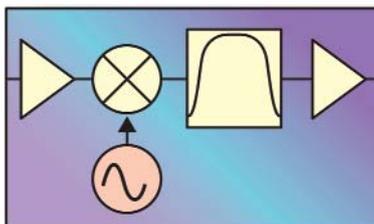


Рисунок 12 - Преобразователь частоты со встроенным гетеродином

Технические решения для измерения смесителей и преобразователей частоты с новейшими методами калибровки

ПРОДОЛЖЕНИЕ

Проблема измерения ГВЗ преобразователей частоты со встроенным гетеродином

При измерении преобразователя частоты со встроенным гетеродином действительная рабочая частота гетеродина для анализатора цепей неизвестна. Даже если номинальная частота гетеродина известна, всегда имеется некоторое отклонение, которое может быть незначительным и составлять единицы герц, либо достаточно большим и достигать нескольких килогерц. Плюс к этому, частота гетеродина изменяется с течением времени и в зависимости от температуры. При измерении входные ВЧ сигналы обеспечиваются внутренним источником анализатора цепей, поэтому их частота известна достаточно точно. Поскольку частота гетеродина неизвестна, анализатор цепей настраивается на частоту, которая смещена относительно действительного выходного сигнала ПЧ. Это делает трудным, либо невозможным измерение группового времени запаздывания (ГВЗ). Измерения ГВЗ преобразователей частоты со встроенным гетеродином являются важным этапом при оценке спутниковых и радиолокационных систем.

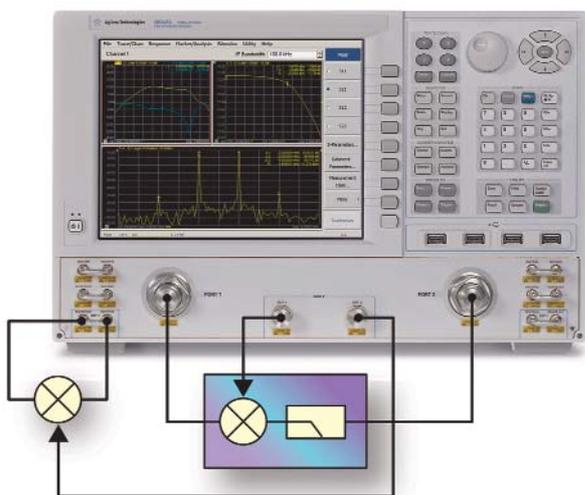


Рисунок 13 - Калибровка преобразователя частоты со встроенным гетеродином

Решение для измерения ГВЗ преобразователей частоты со встроенным гетеродином

Для решения этой сложной измерительной задачи компания Agilent представило новое техническое решение, заказываемое в виде опции 084, которое основано на методе измерения с использованием векторной калибровки смесителя.

Схема подключения для измерения преобразователя частоты со встроенным гетеродином показана на рисунке 14. Первый шаг заключается в измерении фактического значения частоты сигнала ПЧ. Используя результат этого измерения и зная частоту входного ВЧ сигнала, можно вычислить частоту гетеродина. При реализации этого шага требуется два цикла свипирования анализатора цепей. Первый цикл свипирования является широкополосным, во время которого выполняется приблизительное измерение частоты встроенного гетеродина в выбранном диапазоне частот (см. рисунок 15). В этом примере номинальное значение частоты равно 5 ГГц, а максимальное отклонение частоты гетеродина в соответствии с техническими характеристиками не должно превышать ± 500 кГц. Таким образом центральная частота приёмника настраивается на 5 ГГц, а диапазон частот - на 1 МГц. Поскольку для данного измерения используется 200 точек, разрешение по частоте равно $1 \text{ МГц} / 200 = 5 \text{ кГц}$. Однако для измерения ГВЗ анализатору цепей требуется более точное определение частоты гетеродина. Второй цикл свипирования обеспечивает анализатору необходимую точность. В этом цикле производятся измерения фазы относительно времени, как показано на рисунке 16. После этого можно определить девиацию частоты: $\Delta F = -\Delta\Phi / (360 \times \Delta T)$.

В результате широкополосного и прецизионного циклов свипирования рабочая частота гетеродина может быть определена достаточно точно для проведения достоверных измерений ГВЗ.

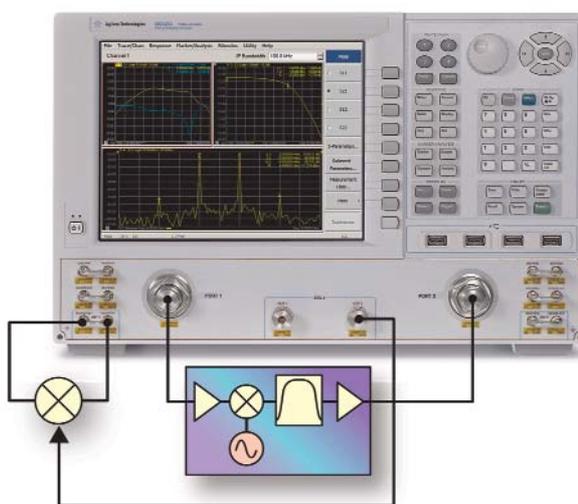


Рисунок 14 - Измерение характеристик преобразователя частоты со встроенным гетеродином

Технические решения для измерения смесителей и преобразователей частоты с новейшими методами калибровки

ПРОДОЛЖЕНИЕ

Калибровка и измерение преобразователей частоты со встроенным гетеродином

Методику векторной калибровки смесителя компании Agilent можно также применить для калибровки преобразователя частоты со встроенным гетеродином. Пример измерительной установки для калибровки показан на рисунке 13.

Перед каждым измерением выполняются предварительные циклы свипирования (широкополосный и прецизионный) для определения частоты встроенного гетеродина. Частота гетеродина опорного смесителя настраивается для согласования с действительной частотой гетеродина испытуемого устройства. В этом случае сигналы опорного и измерительного приёмников имеют практически идентичные частоты, что и необходимо при измерении ГВЗ.

Точность этого метода можно продемонстрировать, если сравнить результаты измерения преобразователя частоты с гетеродином, который в одном случае синхронизирован с общим источником опорного сигнала, а в другом - нет, как показано на рисунке 17. Здесь на графике красного цвета показан результат измерения для случая, когда источник сигнала гетеродина и PNA-X используют общий опорный сигнал 10 МГц. На графике жёлтого цвета показан результат для случая, когда источник сигнала гетеродина полностью независим от PNA-X и использует метод измерения частоты встроенного гетеродина, который описан выше. Поскольку результаты практически идентичны, ясно, что данное техническое решение способно эффективно решать проблему измерения абсолютного ГВЗ преобразователей частоты со встроенным гетеродином.

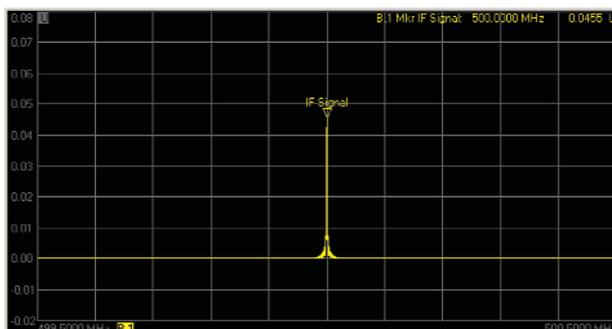


Рисунок 15 - Результаты широкополосного цикла свипирования

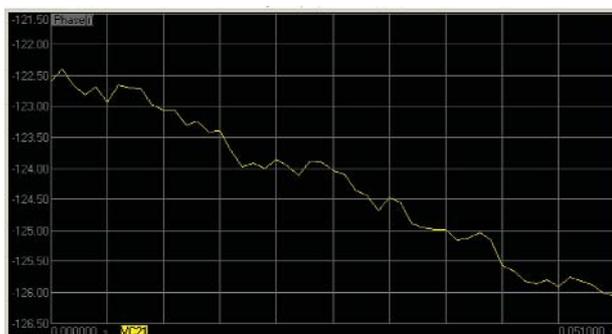


Рисунок 16 - Результаты прецизионного цикла свипирования

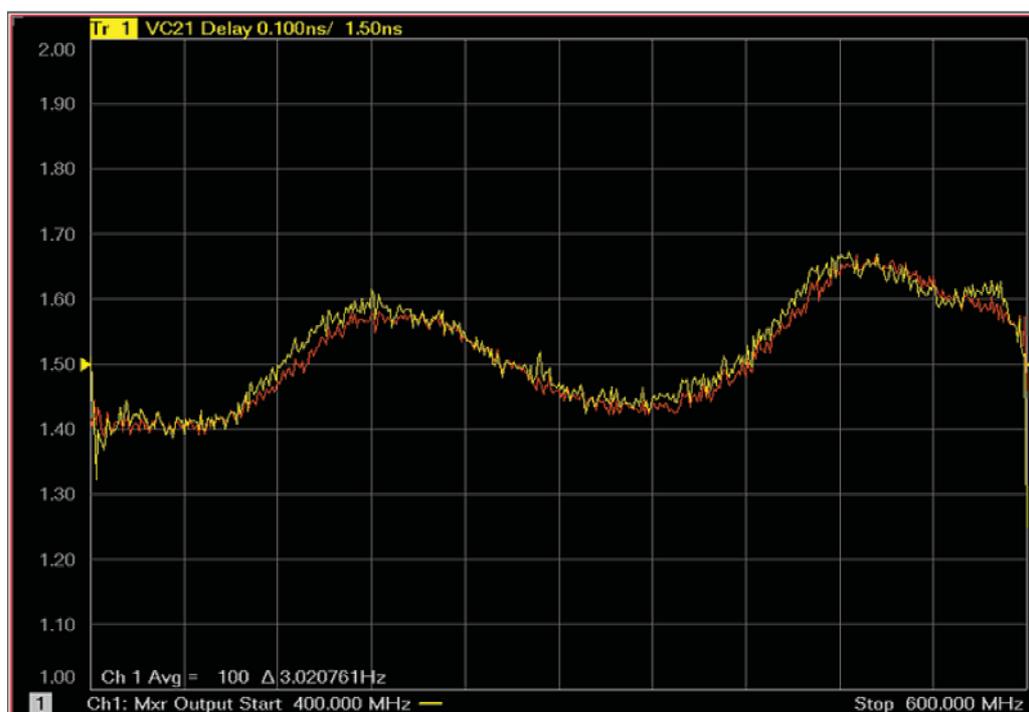
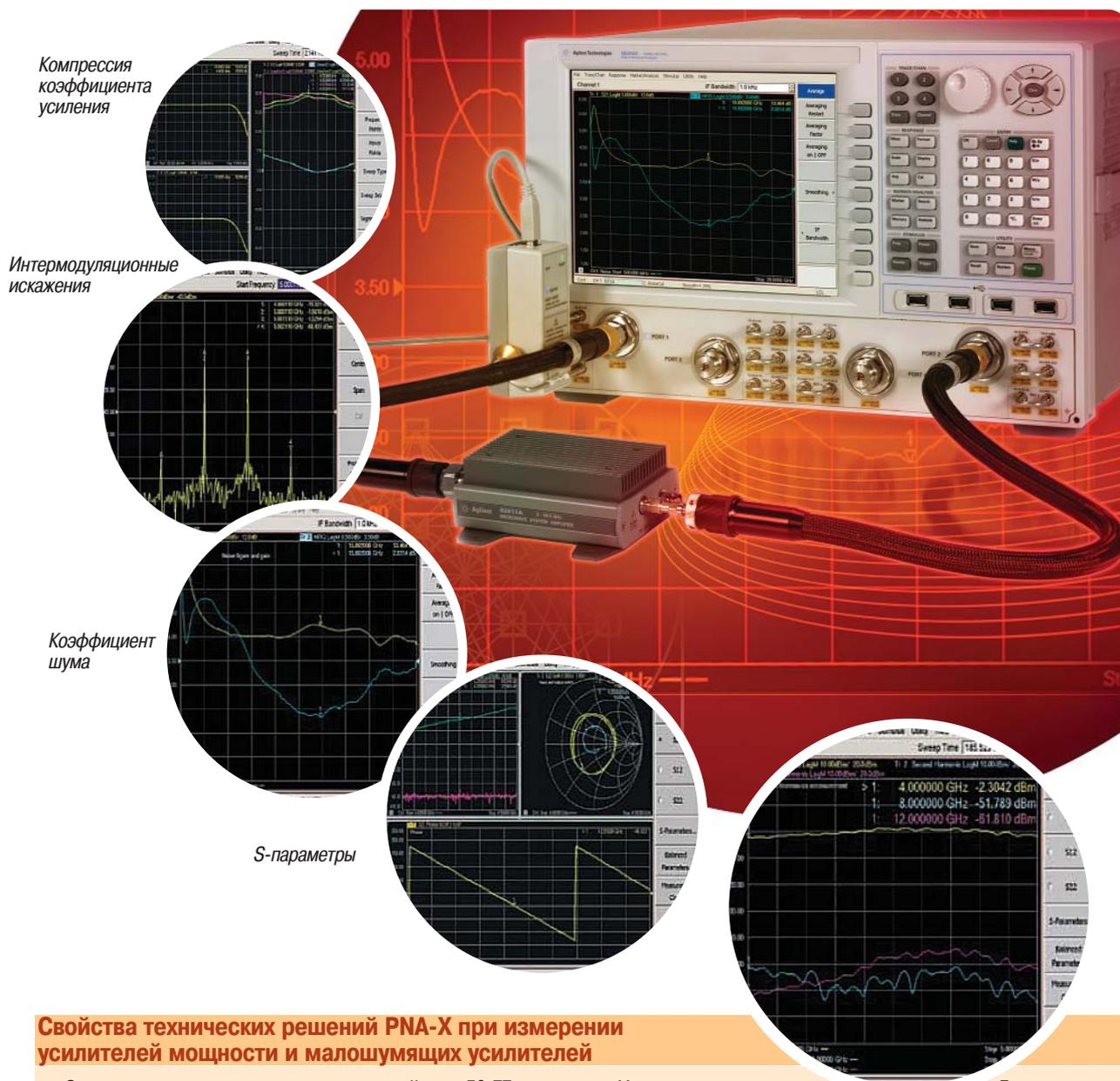


Рисунок 17 - Сравнение результатов измерения абсолютного ГВЗ для случаев, когда источник сигнала гетеродина либо синхронизирован с общим опорным сигналом, либо нет. Результаты практически идентичны.

Первое в отрасли комплексное одноблочное техническое решение для испытания усилителей



Свойства технических решений PNA-X при измерении усилителей мощности и малошумящих усилителей

- Одно подключение, комплекс измерений - до 50 ГГц
- Измерение коэффициента шума с помощью метода холодного источника, использующего улучшенную коррекцию ошибок согласования в источнике для обеспечения высокой точности измерения. Поддерживает измерения усилителей с высоким коэффициентом усиления (> 30 дБ)
- Двумерные режимы свипирования при измерении зависимости компрессии коэффициента усиления от частоты
- Измерение интермодуляционных искажений в режимах свипирования по частоте и свипирования по мощности
- Измерение гармонических искажений в режиме свипирования
- Измерение КПД добавленной мощности
- Измерение S_{22} в рабочем режиме
- Одноблочное техническое решение для измерения S-параметров в импульсном режиме
- Измерения с использованием истинных дифференциальных сигналов стимулов
- Расширенная калибровка частотной неравномерности для измерения усилителей мощности
- Максимальная выходная мощность $\geq +20$ дБм
- Максимальный диапазон свипирования по мощности ≥ 40 дБ
- Два источника сигналов с наилучшим уровнем гармоник (≤ -60 дБс)
- Высокое значение точки компрессии на 0,1 дБ ($> +13$ дБм)
- Расширение возможностей за счёт подключения векторных генераторов сигналов и анализаторов к ВЧ точкам доступа на задней панели для измерения EVM, ACPR, CCDF и других параметров

Одноблочное техническое решение для испытания усилителей

ПРОДОЛЖЕНИЕ

Измерение коэффициента шума с использованием нового промышленного стандарта!

Технические проблемы измерения коэффициента шума

Маломощные усилители (МШУ) являются основными компонентами входных каскадов приёмников ВЧ и СВЧ диапазона. Они используются для усиления слабых сигналов приёмных антенн, снижая до минимума вносимый шум. Чувствительность приёмника зависит от качества МШУ (характеризуемого коэффициентом усиления и коэффициентом шума). При сопоставлении конструкции передатчика и приёмника с целью оптимизации массо-габаритных показателей, стоимости и рабочих характеристик системы высокочувствительные приёмники могут быть использованы с целью снижения выходной мощности передатчика. Это, в свою очередь, позволяет выбрать более компактные и менее мощные усилители. Поскольку коэффициент шума МШУ обычно имеет небольшую величину, основной проблемой является точность измерения.

Усилители на лампе бегущей волны (ЛБВ) являются наиболее распространённым видом усилителей с высокой выходной мощностью, которые широко используются в радиолокационных и спутниковых системах. Коэффициент шума таких усилителей обычно выше 30 дБ. Используя традиционные методы, которые ограничены коэффициентом избыточного шума (ENR) источника шума, с помощью современных измерительных приборов достаточно сложно измерить значения коэффициента шума, превышающие 30 дБ.



Методы измерения коэффициента шума

В настоящее время для измерения коэффициента шума используются два основных метода. Самым распространённым является метод Y-фактора или метод горячего/холодного источника (см. рисунок 18А). В его основе заложено использование источника шума, который помещается на входе усилителя испытываемого устройства (ИУ). Выход ИУ подключается к приёмнику для измерения шумов. Источник шума можно включать и выключать для создания “горячего” и “холодного” состояний. Выключенное состояние источника шума представляет импеданс “холодного” источника, что эквивалентно нагрузке при комнатной температуре. Включенное состояние представляет генерируемый избыточный шум, уровень которого выше уровня шума при комнатной температуре, и который эквивалентен нагрузке при повышенной температуре. В результате измерения мощности шума на выходе усилителя испытываемого устройства при этих двух состояниях можно вычислить коэффициент шума.

Метод Y-фактора рассматривается как стандартный при измерении коэффициента шума. В настоящее время он используется в измерителях коэффициента шума серии NFA компании Agilent, а также в технических решениях для измерения коэффициента шума на базе анализаторов спектра.

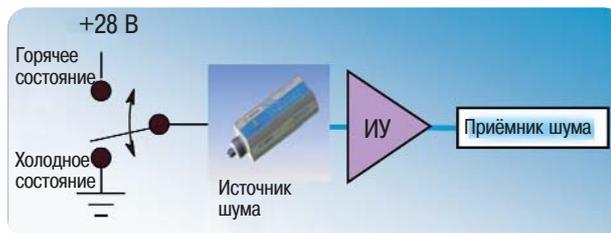
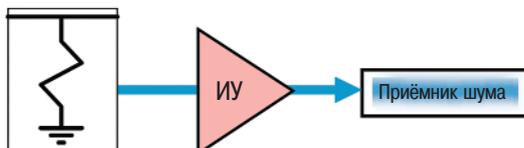


Рисунок 18А - Метод Y-фактора

Второй метод измерения коэффициента шума называется методом холодного источника. В этом случае не требуется подключать источник шума на входе усилителя для создания горячего или холодного состояний. Вместо этого в данном методе используется одно согласованное подключение к входу при комнатной температуре, как показано на рисунке 18В. Метод холодного источника требует независимого измерения коэффициента усиления испытываемого устройства (ИУ).

Этот метод лучше всего подходит для использования с анализаторами цепей, поскольку он позволяет очень точно измерять коэффициент усиления за счёт использования векторной коррекции ошибок. Преимуществом метода холодного источника является то, что он, как и анализатор цепей PNA-X, является техническим решением, обеспечивающим комплекс измерений при одном подключении.



Импеданс источника

Рисунок 18В - Метод холодного источника

Одноблочное техническое решение для испытания усилителей

ПРОДОЛЖЕНИЕ

Проблемы использования метода Y-фактора

Точное измерение коэффициента шума с использованием Y-фактора является сложным по двум причинам. Во-первых подключение к усилителю испытываемого устройства может быть связано с трудностями. Во-вторых, если источник шума не подключается непосредственно к входу усилителя испытываемого устройства, результирующее ухудшение точности измерения является значительным.

Существует несколько ситуаций, когда невозможно подключить источник шума непосредственно к входу усилителя:

- **Модули передачи/приёма** (для РЛС с фазированной антенной решёткой), в которых необходимо подключение к микрополосковым линиям, требуют устройств подключения при измерениях с использованием векторных анализаторов цепей
- **При зондовых измерениях на пластинах** интегральных схем СВЧ диапазона требуются пробники, обеспечивающие переход с коаксиальных трактов в копланарные (рисунок 19)
- **Автоматизированные испытательные системы**, в которых между измерительным оборудованием и усилителем испытываемого устройства используется коммутационная матрица (рисунок 20)

Дополнительные кабели, коммутаторы, устройства подключения и/или пробники приводят к ухудшению эффективного согласования в источнике измерительной системы. Это ухудшение является причиной двух типов погрешностей при измерении коэффициента шума. Одна из них является классической погрешностью рассогласования, которая возникает по причине неидеального согласования в источнике и неидеального согласования на входе усилителя. Результат такого рассогласования проявляется в виде классической картины колебаний на частотной характеристике, полученной в результате измерения, когда диапазон частот достаточно широк для отображения одного или большего числа циклов. Часто эти колебания оказываются невидимыми, если диапазон частот измерения слишком узкий. Однако и в этом случае погрешность в результатах измерения сохраняется.

Другой тип погрешности измерения коэффициента шума, вносимой из-за неполного согласования в источнике системы, обусловлен шумом, выходящим из входа усилителя испытываемого устройства. Этот шум отражается от места согласования в источнике и снова поступает на вход усилителя. Это приводит к тому, что коэффициент шума усилителя меняется в зависимости от фазы отражённой мощности шума и взаимосвязи между различными генераторами шума внутри усилителя. Таким образом, измеренное значение коэффициента шума изменяется как функция импеданса источника измерительной системы. Такое поведение можно характеризовать в терминах параметров шума МШУ. Изменение импеданса системы вблизи значения 50 Ом будет приводить также к изменению измеренного значения коэффициента шума усилителя испытываемого устройства, вызывая погрешность измерения. Этот эффект также приводит к колебаниям на частотной характеристике, полученной в результате измерений, которые неотличимы от колебаний, вызванных рассогласованием.

Техническое решение для измерения коэффициента шума на базе PNA-X

Анализатор цепей PNA-X исключает необходимость в источнике шума за счёт использования метода холодного источника. Проблемы погрешностей измерения, связанные с использованием метода Y-фактора, преодолеваются с помощью двух методов. Во-первых, для компенсации эффектов рассогласования, связанных с неполным согласованием в источнике и неполным согласованием в нагрузке, а также погрешностей, связанных с неравномерностью частотной характеристики измерительной системы, используется векторная коррекция ошибок. Во-вторых, погрешности, вносимые при измерении коэффициента шума преодолеваются за счёт использования стандартного модуля электронной калибровки (ECal) компании Agilent в качестве тюнера с изменяемым импедансом для изменения согласования в источнике измерительной системы в каждой требуемой частотной точке измерения. При каждом значении импеданса источника проводится соответствующее измерение мощности шума с усилителем испытываемого устройства, установленном на своём месте. Ни одно из значений импеданса источника, представленных для усилителя испытываемого устройства, не равно в точности значению 50 Ом, но из набора измерений импеданса и мощности шума можно точно вычислить коэффициент шума при импедансе 50 Ом. Таким образом, эффекты, связанные с коммутаторами, кабелями, устройствами подключения или пробниками, могут быть полностью удалены из результатов измерения. За счёт этого обеспечивается наивысшая точность измерения коэффициента шума по сравнению с любой измерительной системой, представленной на рынке в настоящее время.

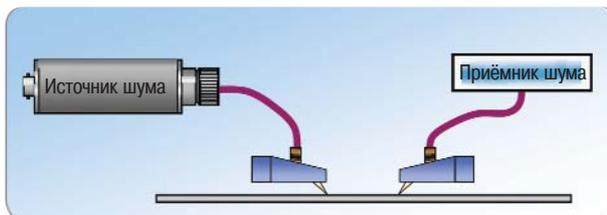


Рисунок 19 - Зондовое измерение компонентов на пластинах

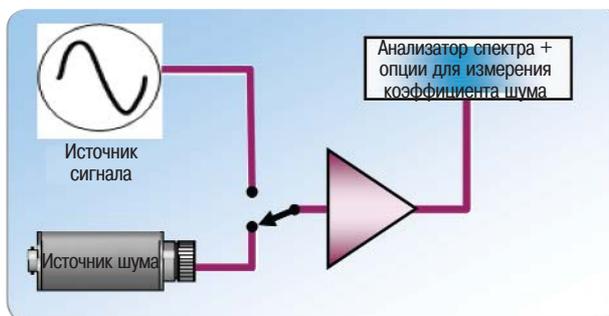


Рисунок 20 - Автоматизированная испытательная система

Одноблочное техническое решение для испытания усилителей

ПРОДОЛЖЕНИЕ

Техническое решение для измерения коэффициента шума на базе PNA-X (продолжение)

На рисунке 21 показана структурная схема 2-портового анализатора цепей PNA-X с опцией для измерения коэффициента шума. Модуль ECal используется в качестве тюнера импеданса и подключен к порту 1 через ВЧ переключки передней панели. Источник шума используется только во время процесса калибровки, но не во время измерения характеристик усилителя.

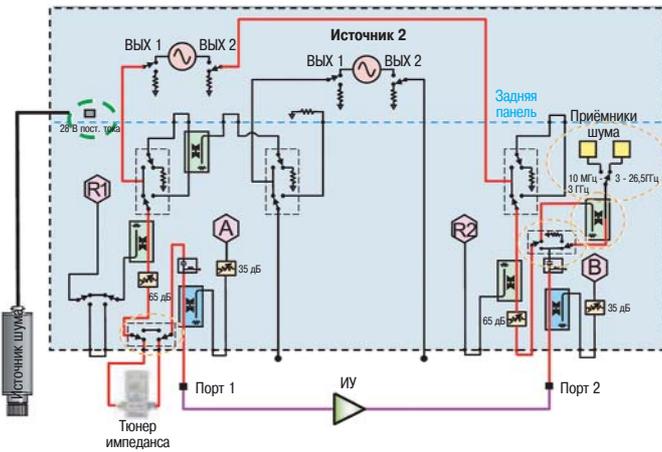


Рисунок 21 - Техническое решение для измерения коэффициента шума на базе PNA-X (до 26,5 ГГц)

Сравнение погрешностей измерения коэффициента шума

На рисунке 22 показано сравнение погрешностей при измерении коэффициента шума усилителя на пластине при использовании метода Y-фактора и метода PNA-X. Для метода Y-фактора погрешность вычисляется для двух отличающихся случаев. В первом случае источник шума подключается к испытываемому устройству (ИУ) через пробник. Во втором случае между источником шума и пробником помещается электрическая цепь, воспроизводящая коммутаторы и кабели автоматизированной испытательной системы (АИС).

В примере с PNA-X включены пробник и электрическая цепь АИС. При использовании технического решения для измерения коэффициента шума на базе PNA-X погрешность получается приблизительно равной 0,3 дБ.

При использовании технического решения на базе метода Y-фактора погрешность измерения равна приблизительно 0,75 дБ без электрической цепи АИС. При объединении пробников и электрической цепи АИС погрешность ухудшается и получается приблизительно равной 1,1 дБ. В дополнение к тому, что анализатор PNA-X улучшает точность измерения, он также обеспечивает увеличение скорости измерения коэффициента шума от 4 до 10 раз по сравнению с измерителем коэффициента шума.

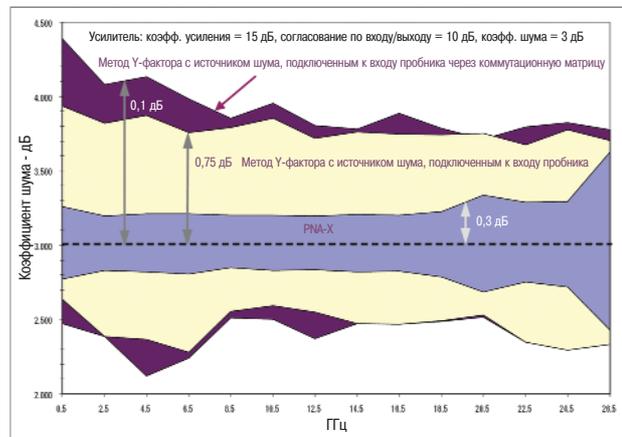


Рисунок 22 - Сравнение погрешностей измерения коэффициента шума

Одноблочное техническое решение для испытания усилителей

ПРОДОЛЖЕНИЕ

Двумерные измерения компрессии коэффициента усиления

Самое комплексное в отрасли приложение для измерения компрессии коэффициента усиления

Требования промышленности, касающиеся измерения компрессии коэффициента усиления

Самым распространённым способом измерения компрессии усилителя является определение точки компрессии на 1 дБ (рисунки 23). Эта точка определяется как уровень входной (или выходной) мощности, который приводит к снижению коэффициента усиления усилителя на 1 дБ. Это измерение проводится с использованием анализатора цепей путём свипирования по мощности при фиксированном значении частоты. Свипирование по мощности обычно повторяется на нескольких различных частотах в режиме НГ. Такой подход обеспечивает значительно более высокую скорость измерения, чем при использовании генератора сигналов в режиме пошагового изменения выходной мощности. Но при этом на векторном анализаторе цепей невозможно сразу отобразить график зависимости компрессии коэффициента усиления от частоты, и большая часть данных, полученных в процессе свипирования по мощности, не используется.

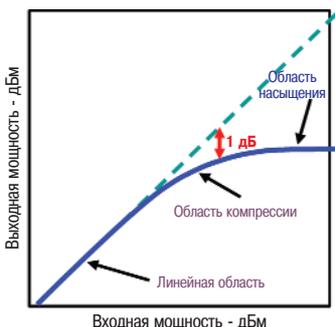


Рисунок 23 - Принцип измерения компрессии усиления

Быстрые и точные измерения компрессии коэффициента усиления

Для удовлетворения требований промышленности компания Agilent предлагает приложение для измерения компрессии коэффициента усиления (опция 086), предназначенное для измерения компрессии коэффициента усиления в режиме свипирования по частоте. Анализатор цепей автоматически выполняет свипирование по мощности в каждой частотной точке и отображает график зависимости компрессии коэффициента усиления от частоты. Пользователь может выбрать один из трёх режимов свипирования (см. рисунок 24). Режим интеллектуального свипирования (Smart Sweep) использует адаптивное свипирование по мощности, которое значительно увеличивает скорость измерения. Два других метода представляют собой истинные двумерные методы свипирования: свипирование по частоте при каждом значении уровня мощности и свипирование по мощности при каждом значении частоты. На рисунке 25 показаны результаты измерения компрессии коэффициента усиления в режимах свипирования.

Выбор двумерных режимов свипирования

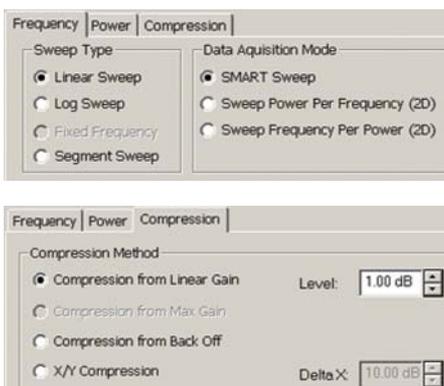


Рисунок 24 - Диалоговое окно настройки приложения для измерения компрессии коэффициента (опция 086)

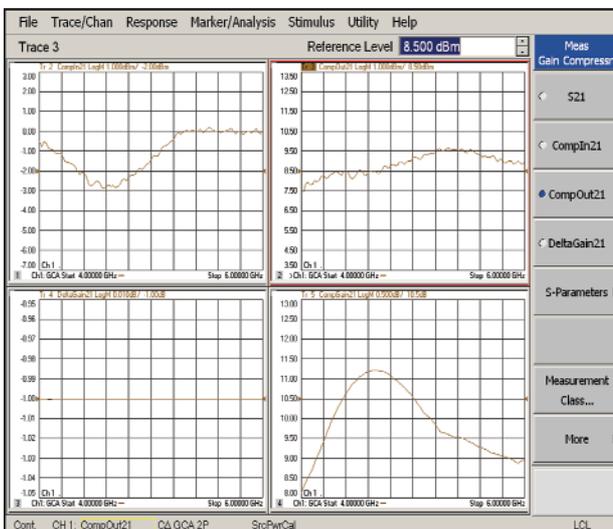


Рисунок 25 - Результаты измерения компрессии коэффициента усиления в режимах свипирования



Однoblочное техническое решение для испытания усилителей

ПРОДОЛЖЕНИЕ

Измерение интермодуляционных и гармонических искажений

Сви́пирование по частоте и сви́пирование по мощности

Проблемы измерения интермодуляционных и гармонических искажений традиционными анализаторами цепей

При использовании традиционных анализаторов цепей для измерения интермодуляционных и гармонических искажений результаты содержат три составляющих. Первая определяется уровнем гармоник источника, вторая - характеристиками испытуемого устройства (ИУ), третья - компрессией коэффициента усиления приёмника. Однако при измерении требуется только вторая составляющая. Первая составляющая приводит к серьёзным погрешностям измерения, поскольку уровень гармоник традиционных анализаторов цепей примерно равен -20 дБс. Точка компрессии на $0,1$ дБ традиционных анализаторов цепей примерно соответствует уровню -5 дБм. Таким образом, искажения, связанные с компрессией коэффициента усиления приёмника, могут быть легко внесены в ИУ. Другой проблемой традиционного подхода является то, что внешнее устройство суммирования должно поставляться пользователем. Кроме того, при создании АИС потребуются внешние коммутаторы.

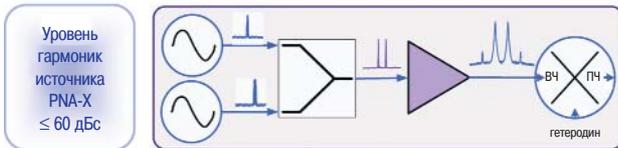


Рисунок 26 - Измерение интермодуляционных искажений

Технические решения и результаты измерений

Для решения указанных выше проблем конструкция анализатора цепей PNA-X обеспечивает наивысшие рабочие характеристики. Уровень гармоник двух внутренних источников находится ниже значения -60 дБс, а точка компрессии на $0,1$ дБ соответствует уровню $+12$ дБм. Анализатор цепей PNA-X имеет встроенное переключаемое устройство суммирования. На рисунке 27 показана структурная схема PNA-X для измерения интермодуляционных искажений. Результаты интермодуляционных искажений измеряются приёмником В. Эта схема позволяет проводить измерения с использованием либо одного из двух, либо обоих источников.

Приложение для измерения интермодуляционных искажений компании Agilent (опция 087) позволяет легко устанавливать условия и калибровать измерения интермодуляционных искажений. Оно управляет вторым внутренним источником и устройством суммирования PNA-X. Пользователь может задать сви́пирование либо центральной частоты двух сигналов стимулов, либо разности частот этих двух сигналов относительно центральной частоты, либо уровня мощности одного или обоих сигналов. Анализатор может измерять продукты интермодуляционных искажений 2-го, 3-го, 5-го, 7-го или 9-го порядка и отображать соответствующие точки пересечения. В дополнение к этому, режим отображения спектра

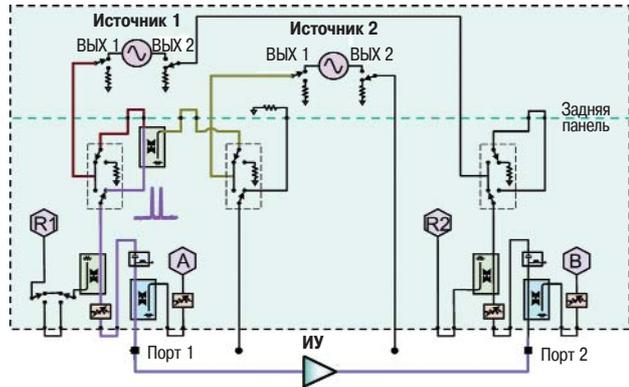


Рисунок 27 - Структурная схема PNA-X при измерении интермодуляционных искажений

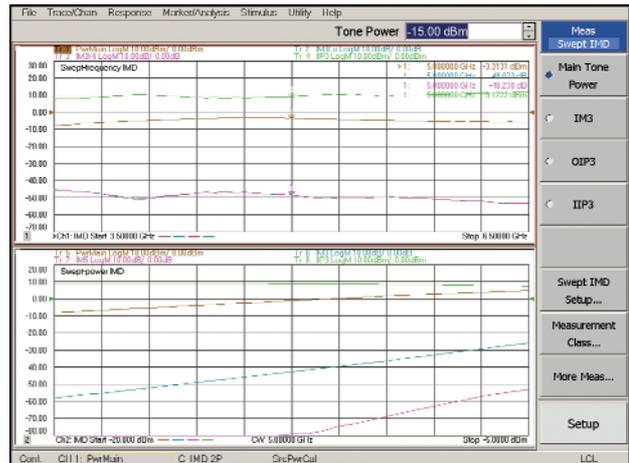


Рисунок 28А - Результаты измерения интермодуляционных искажений в режимах сви́пирования по частоте и сви́пирования по мощности с использованием анализатора цепей PNA-X

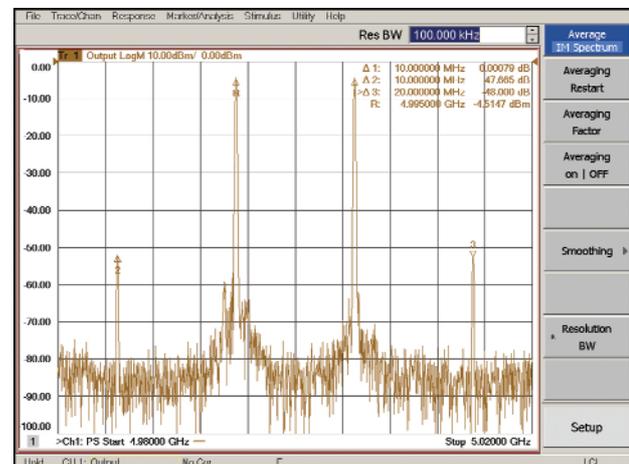


Рисунок 28В - Режим отображения спектра интермодуляционных искажений анализатора цепей PNA-X, формирующий отображение сигналов, как в анализаторе спектра

интермодуляционных искажений (IM spectrum mode) формирует отображение, как в анализаторе спектра, при проведении измерений для целей аттестации или поиска неисправностей. На рисунке 28А показаны действительные результаты измерения интермодуляционных искажений в режимах сви́пирования по частоте и сви́пирования по мощности. На рисунке 28В показаны сигналы стимулов и продукты интермодуляционных искажений с использованием режима отображения спектра интермодуляционных искажений, доступного в опции 087.

Одноблочное техническое решение для испытания усилителей

ПРОДОЛЖЕНИЕ

Измерения с использованием истинных дифференциальных сигналов стимулов

Измерение характеристик балансных компонентов в нелинейной области

Традиционный подход и проблемы измерения характеристик балансных компонентов

Во многих прикладных задачах, связанных с использованием устройств ВЧ и СВЧ диапазона, широко используются балансные компоненты благодаря их высокой устойчивости к электромагнитным помехам и возможности обработки сигналов низкого уровня. Дифференциальные S-параметры имеют большое значение при определении характеристик таких устройств. Традиционный подход к измерению характеристик балансных компонентов, работающих в нелинейной области, заключается в использовании несимметричного сигнала стимула и математическом вычислении балансных (дифференциальных) характеристик с использованием полученных результатов измерения. Несмотря на то, что данный подход хорошо работает при использовании с линейными устройствами, такими как фильтры, он не подходит для активных компонентов, работающих в их нелинейной области. Такие устройства требуют истинных дифференциальных входных сигналов.

Часто в схемах генерации дифференциальных сигналов разработчики используют внешние согласующие трансформаторы. Однако качество таких сигналов может страдать по причине неидеальных характеристик трансформаторов. Кроме того, возникают сложности при калибровке измерительной системы, когда трансформатор установлен на своём месте.

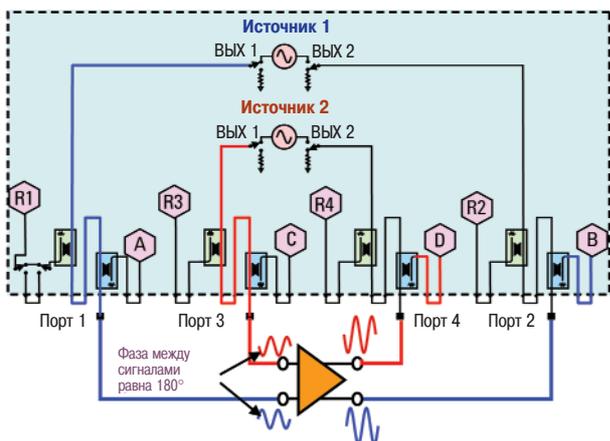


Рисунок 29 - Измерения с использованием истинных дифференциальных сигналов

Сравнение результатов измерений

Для 4-портовых анализаторов цепей PNA-X компания Agilent предлагает встроенное приложение для создания сигналов стимулов в истинном режиме (опция 460), которое решает проблемы, указанные ранее. Принцип измерения показан на рисунке 29. Анализатор цепей PNA-X обеспечивает очень точные результаты измерения за счёт того, что амплитуда и фаза двух источников сигналов настраиваются в каждой частотной точке для обеспечения истинных дифференциальных сигналов даже при работе с плохо согласованными устройствами. На рисунке 30 показаны результаты измерения с использованием несимметричных (с последующим вычислением дифференциальных характеристик) и истинных дифференциальных сигналов стимулов. Нетрудно заметить расхождение результатов этих двух методов измерения по мере того, как устройство входит в область насыщения. Только истинные дифференциальные сигналы стимулов способны дать правильный ответ, когда испытания проходят при больших уровнях сигналов, как в данном примере.

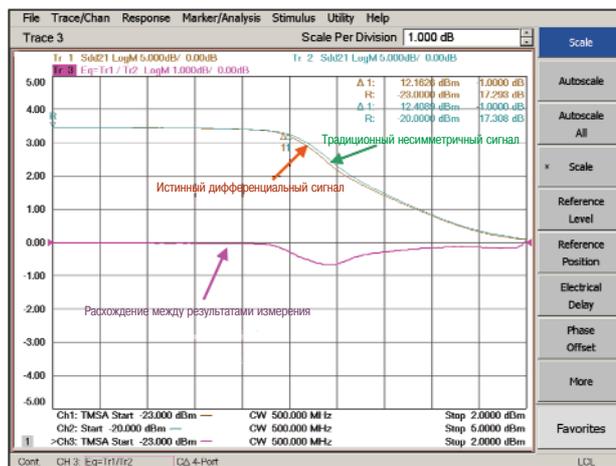


Рисунок 30 - Сравнение результатов измерения при использовании несимметричных и истинных дифференциальных сигналов стимулов в режиме свипирования по мощности

Одноблочное техническое решение для испытания усилителей

ПРОДОЛЖЕНИЕ

Измерение КПД добавленной мощности

Расчёт эффективности ВЧ усилителей мощности путём измерения КПД добавленной мощности

Основные понятия измерения КПД добавленной мощности

КПД добавленной мощности (PAE) показывает, насколько эффективно усилитель преобразует мощность постоянного тока в выходную ВЧ мощность. В идеальном случае вся мощность постоянного тока, поступающая на усилитель, должна преобразовываться в выходную ВЧ мощность. Однако в реальности некоторая часть мощности постоянного тока теряется в форме нагрева. КПД добавленной мощности является ключевым фактором при оценке рабочих характеристик ВЧ усилителя и определяется как:

$$PAE = \frac{Power_{RF_OUT} - Power_{RF_IN}}{Power_{DC}} * 100\%$$

Разработчикам усилителей необходимо измерять КПД добавленной мощности своих устройств с целью определения входных уровней мощности, которые обеспечивают наилучший баланс между низкими уровнями искажений и высокой эффективностью. Часто это компромиссное решение является зависящим от частоты.

Техническое решение для измерения КПД добавленной мощности

Измерение входной и выходной ВЧ мощности усилителя является стандартным измерением для анализатора цепей. Для вычисления КПД добавленной мощности анализатору цепей также требуется измерить напряжение питания и ток усилителя. Анализатор цепей PNA-X компании Agilent имеет два входа напряжения постоянного тока, состояния которых можно отобразить на экране прибора. С помощью простой резистивной цепи и простого математического выражений можно измерить значения напряжения и тока. На рисунке 31 показана конфигурация измерительной установки. Мощность от источника питания постоянного тока подаётся к усилителю через резистор с известным значением, который играет роль датчика тока. На рисунке 32 показано выражение, используемое для вычисления КПД добавленной мощности на основе результатов измерения ВЧ мощности и мощности постоянного тока. Зависимость данных измерения и вычисленного значения КПД добавленной мощности от частоты показаны на рисунке 33.

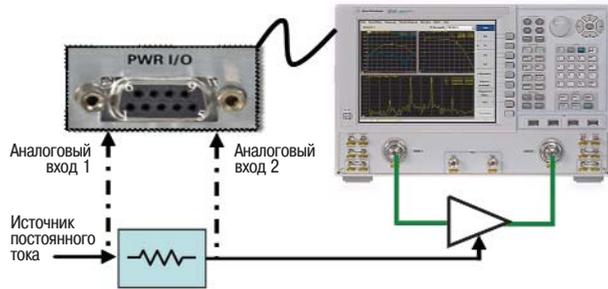


Рисунок 31 - Конфигурация установки для измерения КПД добавленной мощности

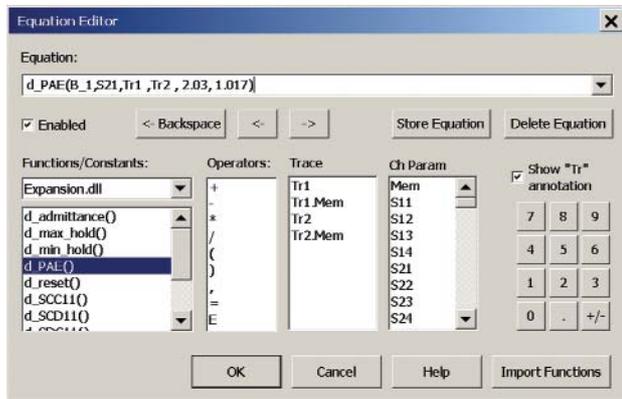


Рисунок 29 - Вычисление КПД добавленной мощности с использованием редактора формул (Equation Editor)

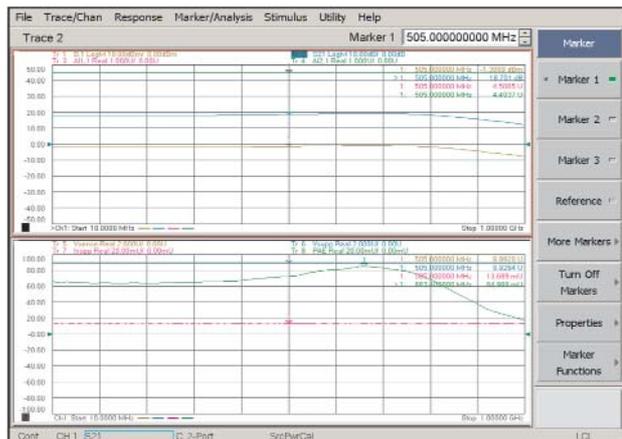


Рисунок 33 - Результаты измерения КПД добавленной мощности

Одноблочное техническое решение для испытания усилителей

ПРОДОЛЖЕНИЕ

Гибкость архитектуры PNA-X

Расширение возможностей с помощью внешних векторных генераторов сигналов и анализаторов

Комплексные технические решения для измерения усилителей систем беспроводной связи

Для усилителей систем беспроводной связи измерения S-параметров, компрессии коэффициента усиления, коэффициента шума и интермодуляционных искажений являются необходимыми, но не всегда достаточными. Для ВЧ сигналов с цифровой модуляцией часто требуются и другие виды измерений, такие как измерение значения вектора ошибки (EVM) и коэффициента утечки мощности в соседний канал (ACPR). Анализатор цепей не может обеспечить формирование сигналов стимулов с цифровой модуляцией, а приёмники анализатора цепей не могут демодулировать такие сигналы. Однако гибкая архитектура измерительных блоков анализаторов цепей PNA-X позволяет подключать внешние векторные генераторы сигналов и анализаторы с целью расширения набора измерений ВЧ сигналов, доступных при одном подключении к испытываемому устройству (ИУ). На рисунке 34 генератор сигналов серии MXG и анализатор спектра серии MXA показаны подсоединёнными к задней панели PNA-X. Их можно включать для измерения параметров, требующих цифровой модуляции или демодуляции.

Используя механические переключатели, которыми снабжён анализатор цепей PNA-X, как показано на рисунке 35, пользователь может легко переключаться между внутренними функциями PNA-X при измерении S-параметров, компрессии коэффициента усиления, коэффициента шума и искажений, а затем включить векторный генератор сигналов и анализатор спектра для измерения EVM и ACPR. Такой подход позволяет создать АИС, которая включает несколько приборов, без использования внешней коммутационной матрицы. За счёт этого упрощается архитектура АИС и увеличивается производительность испытаний.

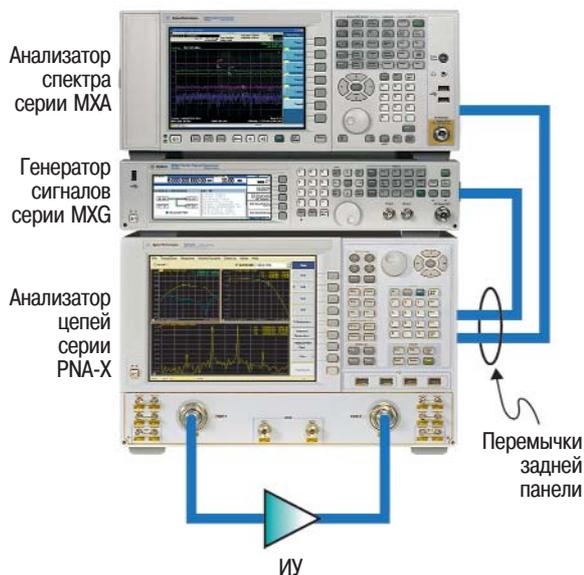


Рисунок 34 - Расширение набора измерений при одном подключении к ИУ за счёт добавления внешних векторных генераторов сигналов и анализаторов

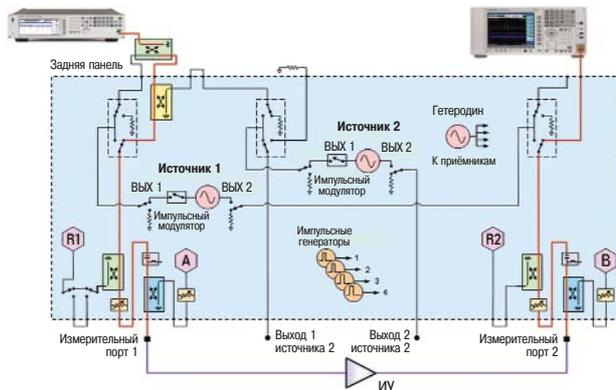


Рисунок 35 - Структурная схема, показывающая подключение генератора сигналов и анализатора спектра для расширения набора измерений ВЧ сигналов

Одноблочное техническое решение для испытания усилителей

ПРОДОЛЖЕНИЕ

Нелинейный векторный анализ цепей (NVNA)

Достижение в области анализа параметров нелинейных устройств

Нелинейный векторный анализ цепей (NVNA) на базе анализатора PNA-X компании Agilent обеспечивает качественное изменение в технологии, предоставляя существенно большие возможности, чем линейные S-параметры, и позволяя эффективно и точно анализировать и разрабатывать активные устройства с учётом реальных условий их функционирования. Нелинейный векторный анализ цепей, разработанный компанией Agilent, предусматривает три опции для помощи пользователю в решении самых трудных проблем разработки:

- Определение характеристик нелинейных компонентов
- X-параметры
- Нелинейные измерения в области огибающей импульса

Определение характеристик нелинейных компонентов дает чёткое понимание нелинейного поведения испытываемого устройства. Теперь можно быстро и легко измерить и наблюдать калиброванные, после векторной коррекции, отображения падающих, отраженных и передаваемых сигналов к испытываемому устройству и от него. Отображаемые данные могут быть представлены в частотной, временной или мощностной областях для более полного анализа и более глубокого понимания поведения устройств. Каждая область обеспечивает своё собственное представление о том, что именно вносит вклад в текущее состояние функционирования испытываемого устройства, для оптимизации его конструкции.

X-параметры позволяют распространить возможности линейных S-параметров в нелинейную область работы и получить точное отображение поведения как одиночного нелинейного устройства, так и последовательно включенных нелинейных устройств. X-параметры определяются в результате простого набора физических измерений характеристик испытываемого устройства, предоставляющих как амплитуду, так и фазу основной частоты и гармонических составляющих. Они могут каскадироваться при моделировании и представлять точное поведение системы в несогласованных средах. Исследователи и разработчики могут теперь измерять согласование, коэффициент усиления, групповое время запаздывания и другие параметры для компонентов, полностью переведённых в режим компрессии. X-параметры при совместном использовании со средствами разработки и моделирования системы ADS компании Agilent позволяют минимизировать число итераций при разработке, ускорять процесс моделирования и создавать детерминированные модели нелинейного поведения активных компонентов.

Нелинейные измерения в области огибающей импульса позволяют получить более глубокое понимание эффектов памяти, зависящих от времени, в активных нелинейных устройствах, которые вызваны, например, саморазогревом или воздействием цепей смещения. Они и позволяют получить калиброванные, после векторной коррекции, измерения амплитуды и фазы основной частоты и гармонических составляющих огибающей импульса испытываемого устройства во временной области.

Более подробная информация приведена в брошюре по NVNA, номер публикации 5989-8575EN

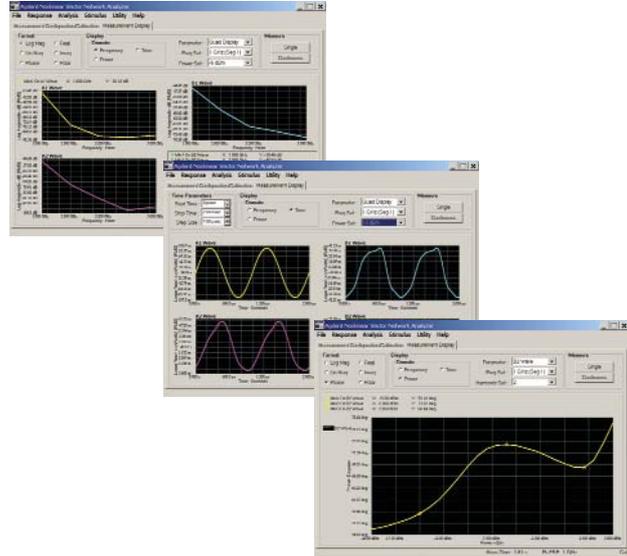
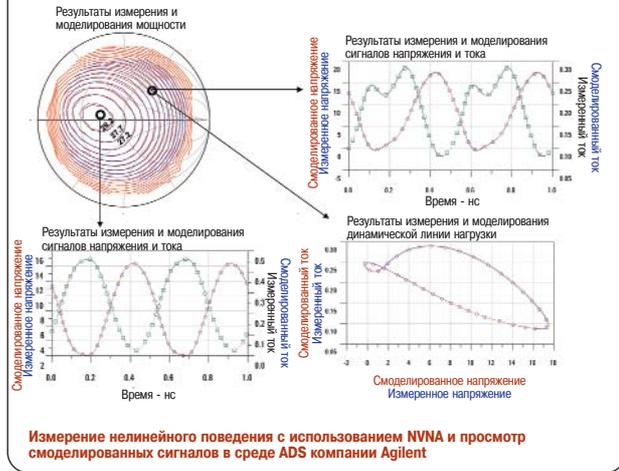


Рисунок 36 - Простое перемещение между областями

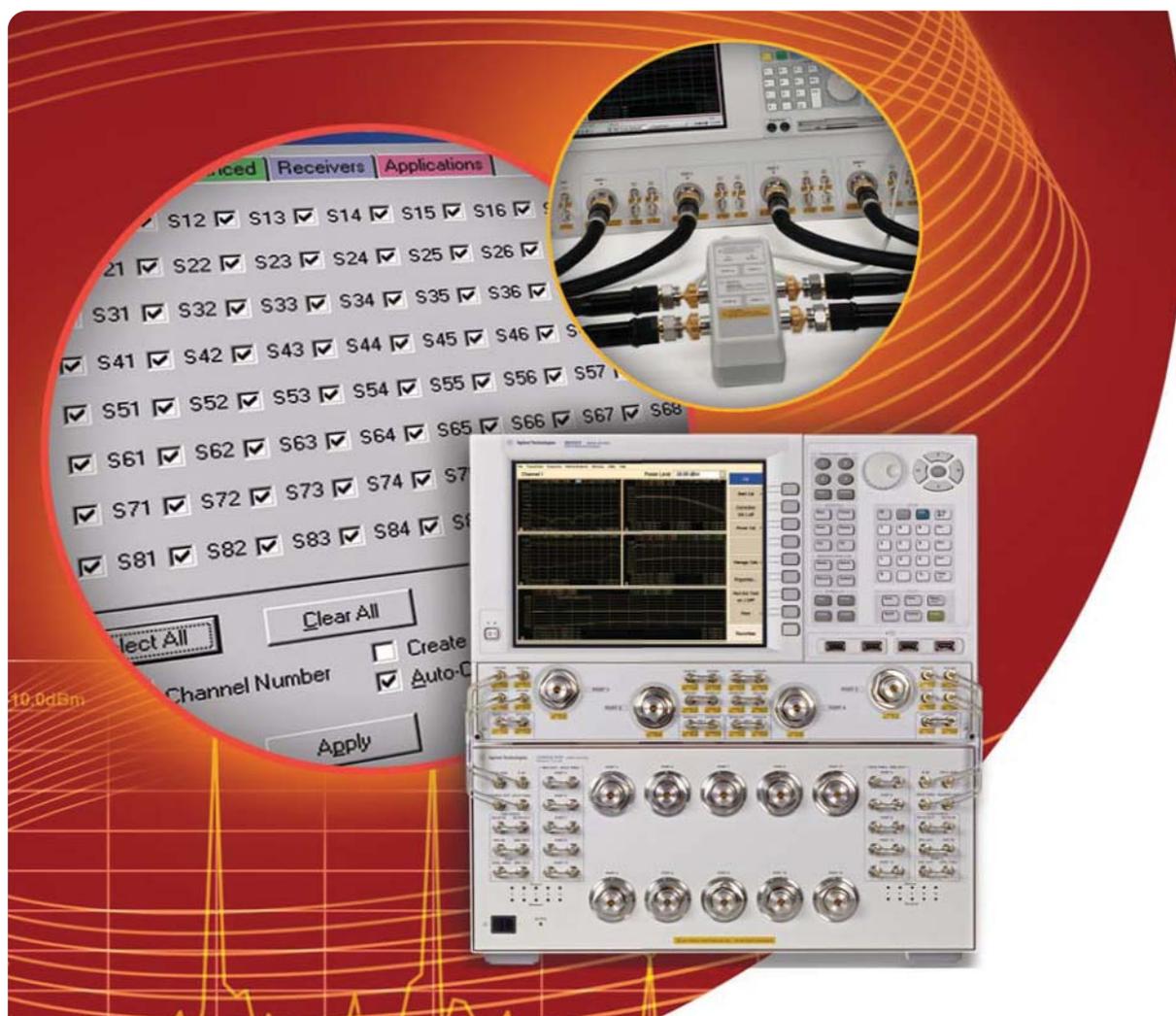
X-параметры предоставляют результаты измерения изолиний и сигналов при любых условиях согласования нагрузки, включая каскадное включение



Измерение нелинейного поведения с использованием NVNA и просмотр смоделированных сигналов в среде ADS компании Agilent

Рисунок 37 - Сравнение результатов, полученных при фактических измерениях, с результатами, полученными при моделировании в среде ADS с использованием X-параметров, показывает удивительную взаимосвязь

Легко перенастраиваемые многопортовые измерения



Свойства технических решений PNA-X для многопортовых измерений

- Настраиваемые многопортовые измерительные блоки позволяют увеличить число измерительных портов системы с 4 до величины, требуемой для испытуемого устройства
- Калибровка Quick-SOLT резко сокращает число калибровочных мер, необходимых для полной калибровки системы, значительно ускоряя процесс калибровки
- N-портовая калибровка обеспечивает наивысший уровень точности измерения
- Управление внешними измерительными блоками интегрировано в программное обеспечение PNA-X для создания эффективно интегрированной среды
- 32 независимых измерительных канала для быстрых и легко перенастраиваемых измерений

Расширения для миллиметрового диапазона

Решения на базе PNA-X для измерения полосовых систем миллиметрового диапазона До 500 ГГц

2- и 4-портовые полосовые измерительные системы миллиметрового диапазона на базе анализатора цепей PNA-X обладают исключительным динамическим диапазоном вплоть до 500 ГГц, не требуя дополнительных внешних синтезаторов. Измерение параметров цепей в импульсном режиме в миллиметровом диапазоне может быть легко реализовано путём добавления встроенных импульсных генераторов и модуляторов без какого-либо внешнего дополнительного оборудования. Создание экономичного по стоимости технического решения в большинстве случаев заключается в приобретении только модулей для требуемых полос рабочих частот. Имеется широкий выбор модулей расширения диапазона частот в область миллиметровых длин волн от 50 до 500 ГГц для удовлетворения конкретных потребностей:

N5260AW15, от 50 до 75 ГГц

N5260AW12, от 60 до 90 ГГц

N5260AW10, от 75 до 110 ГГц

N5260AW08, от 90 до 140 ГГц

N5260AW06, от 110 до 170 ГГц

N5260AW05, от 140 до 220 ГГц

N5260AW03, от 220 до 325 ГГц

N5260AS02, от 325 до 500 ГГц

Для 2-портовых систем необходим 2-портовый контроллер N5261A. Для 4-портовых систем необходим 4-портовый контроллер N5262A.



Рисунок 39 - 4-портовая система миллиметрового диапазона на базе анализатора цепей PNA-X

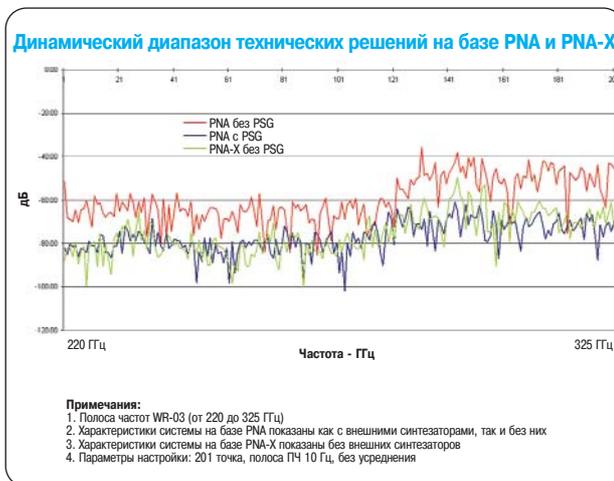
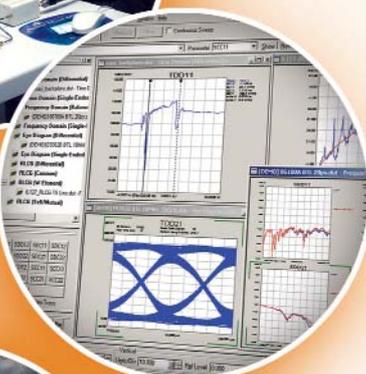


Рисунок 38 - PNA-X обеспечивает превосходный динамический диапазон до 325 ГГц, не требуя использования внешних ВЧ генераторов сигналов и источников сигнала гетеродина

Анализаторы цепей PNA-X упрощают измерения при решении сложных прикладных задач



Разработка и моделирование



Измерительные системы физического уровня



Антенные измерения



Измерения параметров материалов



Зондовые измерения компонентов на пластинах

Разработка и моделирование ВЧ устройств

- Драйверы анализаторов цепей PNA-X включены в САПР Advanced Design System (ADS) компании Agilent для обеспечения простоты подключения
- Простая процедура загрузки S-параметров в ADS для моделирования
- Моделирование устройств с использованием PNA-X и IC-CAP

Измерительные системы физического уровня

- Измерение характеристик отражения/передачи во временной области (TDR/TDT), измерения в частотной области и анализ глазковых диаграмм
- Полное определение параметров в несимметричном, дифференциальном и синфазном режимах и характеристик, учитывающих преобразование режимов
- Измерения с N-портовой коррекцией ошибок
- Извлечение параметров RLCG для создания точной модели линии передачи

Антенные измерения с новым измерительным приёмником N5264A

- Высококчувствительные приёмники с уровнем собственного шума, равным -145 дБм
- Прямой доступ к ПЧ для использования с внешними смесителями
- Высокая скорость измерения - 400000 точек в секунду
- Буфер данных объемом 500000000 точек
- Прямое и обратное свипирование при сканировании в ближней зоне
- Простая процедура замены приёмника 8530A, снятого с производства, включая эмуляцию кода

Измерения параметров материалов

- Измерение диэлектрических и магнитных свойств
- Множество форматов данных
- Множество методов, доступных для удовлетворения потребностей исследования свойств материалов

Зондовые измерения компонентов на пластинах

- Семейство методов TRL калибровки для обеспечения точных измерений
- Одноблочный 4-портовый анализатор цепей для измерения дифференциальных сигналов
- Точное управление уровнем мощности и методы исключения влияния устройств подключения на результаты измерения
- Совместимость с другим программным обеспечением калибровки зондовых измерений на пластинах для создания комплексных технических решений

Измерительный приёмник на базе PNA-X

Быстрые измерения параметров антенн с использованием измерительного приёмника N5264A

Измерительный приёмник на базе PNA-X устанавливает новый промышленный стандарт для измерения параметров антенн, обеспечивая скорость сбора данных на 30% выше, чем любой другой антенный приёмник на рынке. Антенный приёмник PNA-X совместим с генераторами сигналов серий MXG и PSG, а также с существующими устройствами распределения сигналов и преобразователями частоты, такими как устройство распределения сигналов гетеродина/ПЧ 85309A и смесители 85320A/B. Данный приёмник при использовании с генератором серии MXG может полностью заменить приёмник 8530A и синтезированные свип-генераторы серии 8360 для существующих антенных полигонов и обычно приводит к увеличению быстродействия системы в 10 раз. В дополнение к этому, встроенная программа эмуляции кодов 8510/8530A обеспечивает простую процедуру замены для существующих антенных полигонов, использующих 8530A.

Данный специализированный приёмник является идеальным техническим решением для инженеров, занимающихся испытаниями антенн для целей радиолокации или спутниковой связи в аэрокосмической отрасли или сфере беспроводных коммуникаций, где для исследования параметров сложных антенных решёток требуется работать с большими объёмами данных. Это решение поддерживается основными интеграторами антенных систем, такими как Orbit/FR-Satimo, Nearfield Systems Inc. и System Planning Corporation.

Основные технические характеристики

- Пять входов ПЧ, доступных для одновременных измерений с использованием внешних смесителей
- Скорость сбора данных - 400000 точек в секунду одновременно по пяти каналам приёмника
- Высокочувствительные приёмники с уровнем собственных шумов, равным -145 дБм, обеспечивают динамический диапазон приёмника на 20 дБ больше, чем существующие антенные приёмники (134 дБ при полосе ПЧ 10 Гц)
- В режиме Fast-CW включается буфер данных FIFO объёмом 500 миллионов точек (опция 118)
- Встроенный источник сигнала гетеродина 26,5 ГГц с выходной мощностью +10 дБм (опция 108)
- Встроенная программа эмуляции кодов 8510/8530A для простой замены выполняемых функций
- Интерфейсные порты: LAN, два GPIB, порт управления ввода-вывода с уровнями TTL

Более подробная информация приведена в брошюре "Испытания антенн. Руководство по выбору", номер публикации 5968-6759RU.

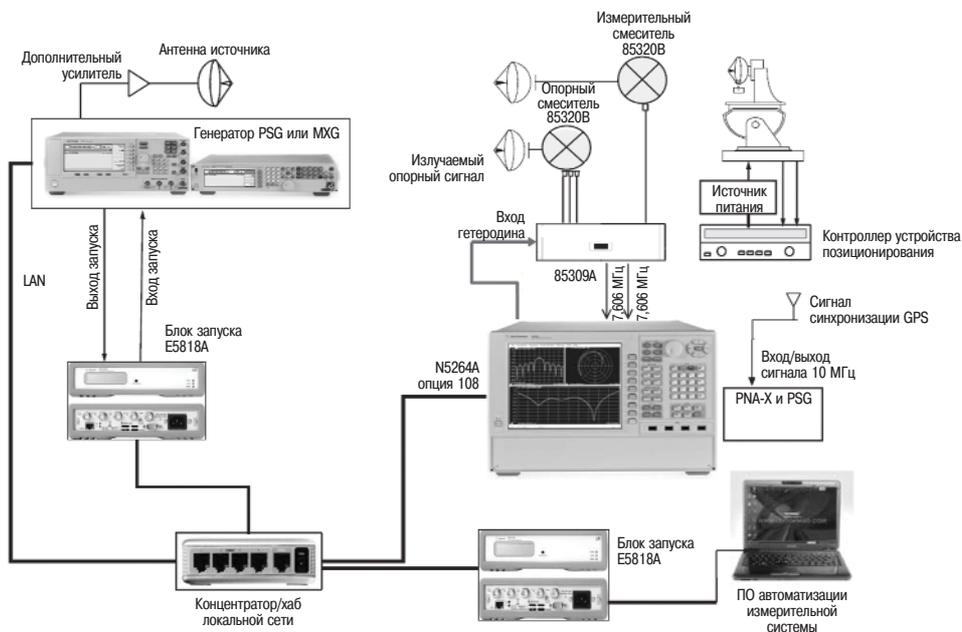


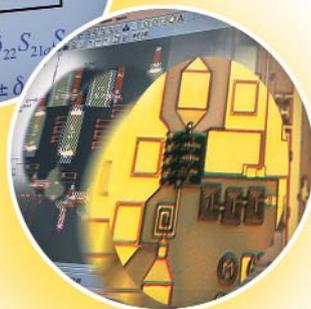
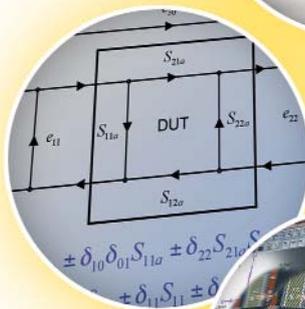
Рисунок 40 - Типовая конфигурация для измерения параметров антенн в дальней зоне с использованием измерительного приёмника на базе анализатора цепей PNA-X компании Agilent

Возможности калибровки, соответствующие последним достижениям

Калибровка анализаторов цепей является крайне необходимой для достижения высокой точности измерений. Но ее проведение может быть затруднено, особенно в случае некоаксиальных устройств, таких как устройства подключения (держатели), пластины или волноводы. Кроме того, более распространенные многопортовые устройства требуют более сложных методов и процедур калибровки. От средств калибровки всегда требовалось, чтобы они обеспечивали высокую точность измерений и были простыми в использовании. Современные методы и средства калибровки компании Agilent помогают решить эти проблемы; они более просты в использовании и улучшают точность измерений.

Методы калибровки, используемые в PNA-X, и их свойства

- **Модули электронной калибровки (ECal) с улучшенными характеристиками**
 - Диапазон частот: от 300 кГц до 67 ГГц
 - 2- и 4-портовые модели
 - 9 типов соединителей; модули с одинаковыми или смешанными типами соединителей
 - Функция User-characterizations обеспечивает другие комбинации соединителей, включая волноводы
- **Невстраиваемые устройства**
 - Калибровка по неизвестной перемычке
 - Калибровка с устранением влияния перехода
- **Многопортовая калибровка**
 - QSOLT (быстрая калибровка с использованием мер КЗ, XX, СН и перемычки)
 - N-портовая калибровка (6-, 8-, 12-портовая и т. д.)
- **Использование моделей из базы данных и математических методов при калибровке для достижения наивысшей точности**
- **Измерения в устройстве подключения**
 - TRL или LRM калибровка
 - Функция автоматического удлинения портов для компенсации потерь/задержки
 - Встраивание/исключение электрических цепей
- **Новейшие методы калибровки при измерении параметров смесителей**
 - Скалярная калибровка смесителей – метод калибровки, использующий измеритель мощности, с полной коррекцией ошибок рассогласования для измерения модуля потерь или усиления преобразования
 - Векторная калибровка смесителей – метод калибровки с полной коррекцией ошибок рассогласования для измерения абсолютного группового времени запаздывания преобразователей частоты
- **Новейшие методы калибровки при измерении параметров усилителей**
 - Расширенная калибровка частотной неравномерности для измерения усилителей мощности
 - Исключение влияния аттенюаторов
 - Быстрый метод калибровки мощности источника
 - Уникальный метод калибровки при измерении коэффициента шума устраняет эффекты, вызванные неполным согласованием источника



Возможности калибровки, соответствующие последним достижениям

ПРОДОЛЖЕНИЕ

Калибровка по неизвестной перемычке

Процедура калибровки и требования к мере неизвестной перемычки

Как показано на рисунке 41, меры нагрузки холостого хода (XX), короткозамкнутой нагрузки (КЗ) и согласованной нагрузки (СН) подключаются к портам 1 и 2. Затем к портам 1 и 2 подсоединяется неизвестная перемычка с ненулевой длиной.

В качестве меры неизвестной перемычки можно использовать переход/соединитель или даже испытуемое устройство (ИУ). Требования к мере неизвестной перемычки: она должна быть взаимной ($S_{21}=S_{12}$), иметь известную фазочастотную характеристику с точностью до $1/4$ длины волны и вносимые потери не более 40 дБ.

Условия применения калибровки по неизвестной перемычке

Калибровка по неизвестной перемычке может быть использована в следующих ситуациях с целью улучшения точности измерения и простоты использования.

- Если испытуемое устройство является нестраиваемым. Примерами могут служить испытываемые устройства, в которых используются соединители либо разного типа, либо с одинаковой полярностью. В таких случаях невозможно использовать перемычку с нулевой длиной.
- Если при измерении испытываемого устройства, имеющего большие физические размеры, требуются кабели измерительных портов большой длины. Перемещение таких кабелей может привести к погрешностям измерения, как показано на рисунке 42. Перемещение кабеля сводится до минимума, если мера неизвестной перемычки совпадает по длине с испытываемым устройством.
- Если два порта испытываемого устройства не находятся на одной линии, то перемещение кабеля измерительного порта может привести к погрешностям измерения. Перемещение кабеля сводится до минимума, если мера неизвестной перемычки по форме совпадает с испытываемым устройством.

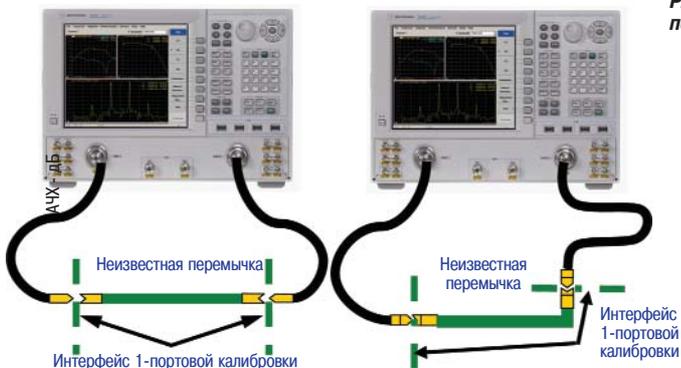


Рисунок 41 - Калибровка по неизвестной перемычке

Погрешность характеристики при калибровке по неизвестной перемычке

В качестве традиционного метода калибровки нестраиваемых устройств часто используется метод калибровки с устранением влияния перехода. На рисунке 43 показано сравнение методов калибровки по неизвестной перемычке и калибровки с устранением влияния перехода. Из этого рисунка ясно, что метод калибровки по неизвестной перемычке является более точным.

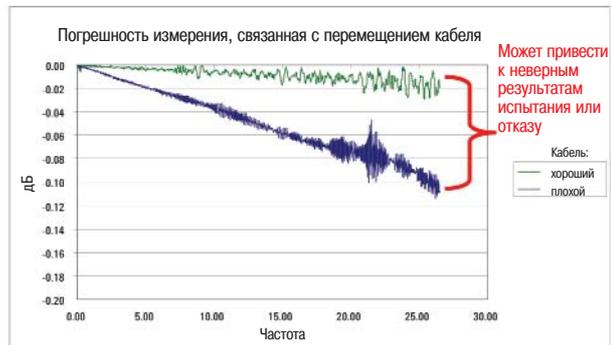


Рисунок 42 - Влияние перемещения кабеля на точность измерения после калибровки

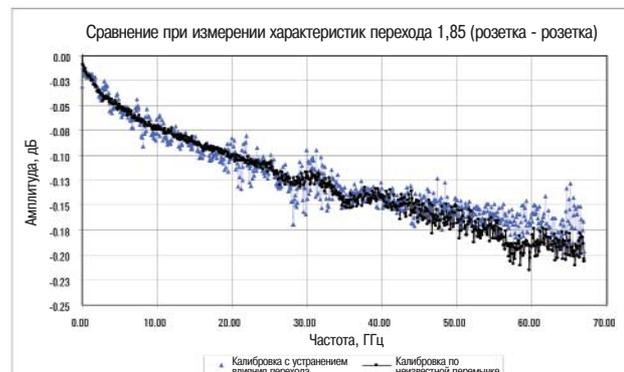


Рисунок 43 - Сравнение точности методов калибровки по неизвестной перемычке и калибровки с устранением влияния перехода

Возможности калибровки, соответствующие последним достижениям

ПРОДОЛЖЕНИЕ

Метод калибровки QSOLT (быстрая калибровка с использованием мер КЗ, XX, СН и перемычки)

Традиционный метод калибровки SOLT (КЗ, XX, СН, перемычка) в случае его использования для многопортовой калибровки занимает очень много времени. Например, 4-портовая калибровка требует 15 шагов, 8-портовая - 31 шага.

С целью уменьшения времени калибровки компания Agilent ввела в употребление метод калибровки Quick SOLT (быстрая SOLT). При использовании метода калибровки QSOLT меры XX, КЗ и СН подключаются только к одному из портов, подлежащих калибровке. После этого между этим портом и другими портами, подлежащими калибровке подключается мера перемычки.

При использовании данного метода, предложенного компанией Agilent, 8-портовая калибровка будет включать только 10 шагов, как показано на рисунке 44.

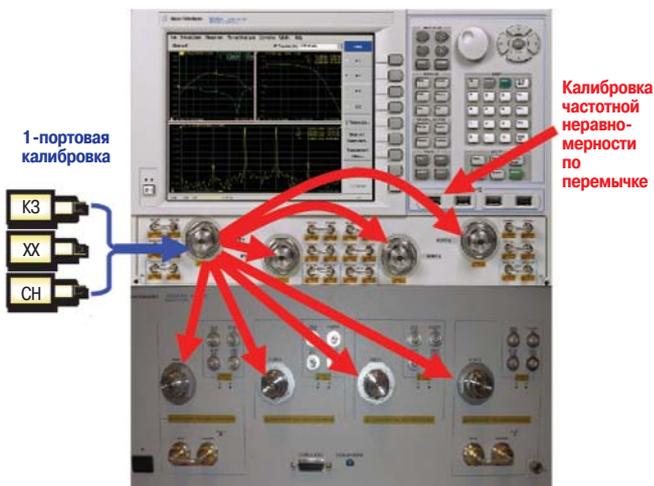


Рисунок 44 - Процесс проведения калибровки QSOLT

Модули электронной калибровки (ECal) с улучшенными характеристиками

Для упрощения процедуры калибровки и улучшения эффективности испытаний компания Agilent предлагает широкий выбор модулей электронной калибровки (ECal), как показано на рисунке 45A. Доступны модели с диапазоном частот от 300 кГц до 67 ГГц в 2- или 4-портовых вариантах исполнения. Доступны также модули ECal с разными типами соединителей, как показано на рисунке 45B.

Кроме того, можно запомнить до пяти наборов параметров, заданных пользователем, в случае нестандартных компоновок соединителей. Например, на рисунке 45C показан модуль ECal с соединителями 1,85 мм (розетка - вилка), который сконфигурирован для калибровки волноводов.



Рисунок 45:

- A. Разнообразие модулей ECal
- B. Модуль ECal с соединителями разного типа
- C. Использование функции User Characterization для создания специализированного модуля ECal с требуемыми соединителями

Возможности калибровки, соответствующие последним достижениям

ПРОДОЛЖЕНИЕ

Расширенная калибровка частотной неравномерности

Для некоторых устройств, таких как усилители мощности, традиционно используется простая калибровка частотной неравномерности, но такой подход не даёт требуемой точности. С другой стороны, более точная 2-портовая калибровка не является достаточно эффективной. Компания Agilent предложила метод расширенной калибровки частотной неравномерности, который является более эффективным и более точным по сравнению с простой калибровкой частотной неравномерности. Как показано на рисунке 46, этот метод исключает пять погрешностей при измерении в прямом направлении. По сравнению с простой калибровкой частотной неравномерности, метод расширенной калибровки частотной неравномерности улучшает как точность согласования по входу, так и точность измерения потерь/усиления в прямом направлении.

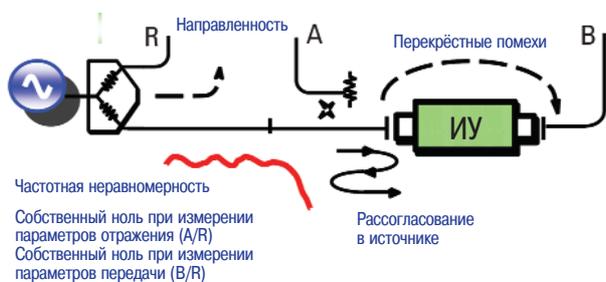


Рисунок 46 - Модель погрешностей расширенной калибровки частотной неравномерности

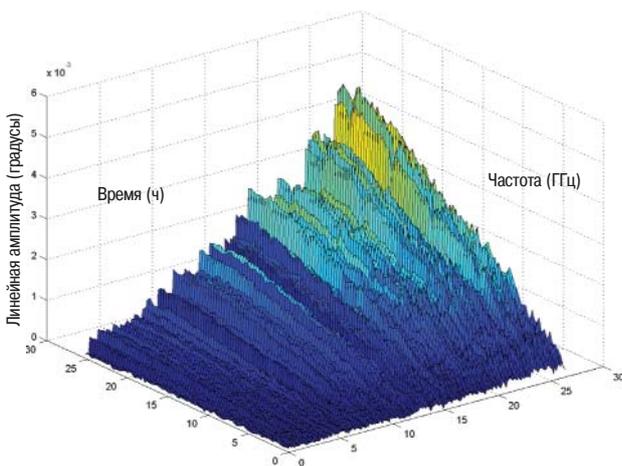


Рисунок 47 - PNA-X по истечении 24 часов: зависимость дрейфа амплитуды S_{11} от времени ^{1,2}

1. Графики созданы с использованием данных испытаний анализаторов цепей PNA-X в производственных условиях. Ожидается, что в контролируемых лабораторных условиях характеристики нестабильности PNA-X должны быть лучше.
2. Нестабильность определяется в результате измерения отношения сигналов на порте.

Высокий уровень стабильности характеристик анализаторов цепей PNA-X

Анализаторы цепей серии PNA известны благодаря в высшей степени высокому уровню стабильности, которая играет важную роль в получении точных результатов измерения. Более стабильные характеристики аппаратных средств приводят к тому, что результаты калибровки сохраняются очень стабильными при изменении температуры окружающей среды и с течением времени. Поэтому их не требуется часто обновлять. Также в значительной степени улучшается эффективность и точность измерений.

Таблица 1 - Диапазоны частот PNA-X и типовые значения нестабильности амплитуды и фазы

	Нестабильность амплитуды (дБ/°C)	Нестабильность фазы (градус/°C)
от 10 до 50 МГц	0,01	0,29
от 50 до 500 МГц	0,01	0,06
от 500 МГц до 3,2 ГГц	0,01	0,07
от 3,2 до 10 ГГц	0,02	0,13
от 10 до 16 ГГц	0,02	0,13
от 16 до 20 ГГц	0,03	0,40
от 20 до 24 ГГц	0,03	0,54
от 24 до 26,5 ГГц	0,04	0,56

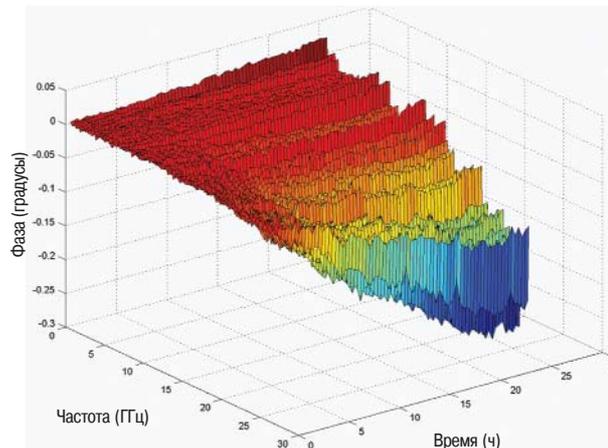
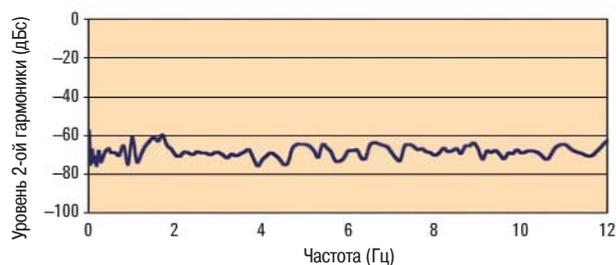


Рисунок 48 - PNA-X по истечении 24 часов: зависимость дрейфа фазы S_{11} от времени ^{1,2}

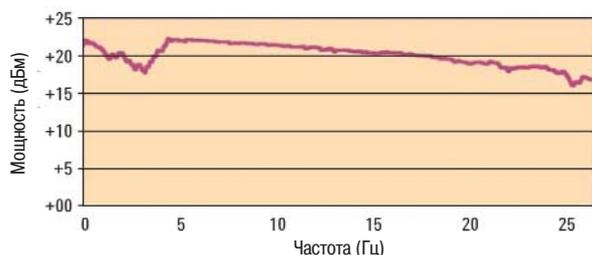
Основные технические характеристики

Таблица 2 - Гарантированные характеристики PNA-X

Параметр	Конфигурация: PNA-X N5242A, опция 200/400
Диапазон частот	от 10 МГц до 26,5 ГГц
Число портов	2 или 4
Динамический диапазон	127 дБ
Уровень собственных шумов	-134 дБм (при непосредственном подключении к приёмнику, от 1 до 2 ГГц, тип. значение)
Макс. выходная мощность	+20 дБм (от 50 до 500 МГц, тип. значение)
Точка компрессии усиления на 0,1 дБ приёмника	+13 дБм на входе
Зашумленность графиков	0,005 дБ СКЗ, полоса ПЧ 100 кГц, -5 дБм
Диапазон свипирования по мощности	48 дБ (порт 1 и 3, от 50 до 500 МГц, тип. значение)
Макс. значение полосы ПЧ	5 МГц
Скорость измерения	4,5 мкс на точку
Размер экрана дисплея	26,4 см
Функция сенсорного экрана	Да



Зависимость уровня гармоник источника анализатора цепей PNA-X от частоты (тип. значения)



Зависимость выходной мощности анализатора цепей PNA-X от частоты (тип. значения)

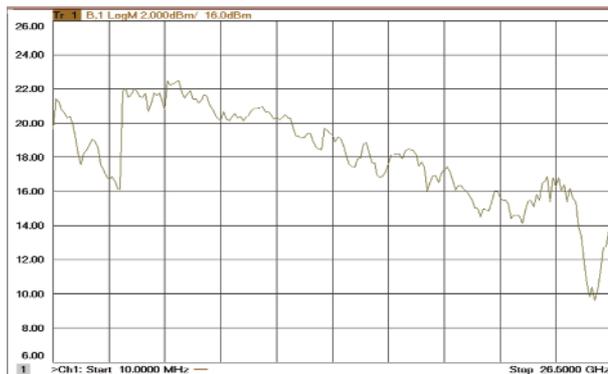


Рисунок 49 - Зависимость выходной мощности источника полностью сконфигурированного анализатора цепей PNA-X от частоты (тип. значения)

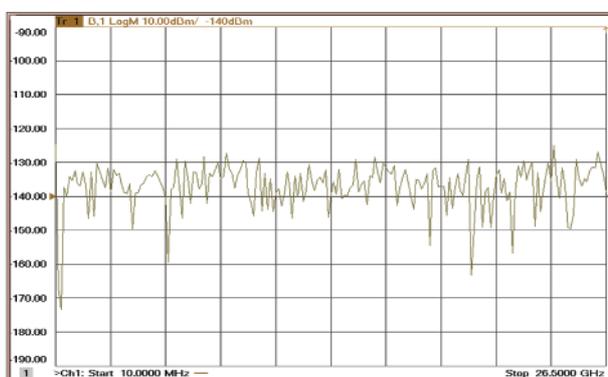


Рисунок 50 - Зависимость уровня собственных шумов анализатора цепей PNA-X с непосредственным подключением к приёмнику от частоты (тип. значения)

PNA-X - законченное техническое решение



Защита конфиденциальных данных

Наилучшим способом обеспечения защиты конфиденциальных данных является извлечение из прибора накопителя на жестких магнитных дисках (НЖМД). В стандартную комплектацию анализаторов цепей серии PNA включен съемный НЖМД. Это позволяет извлекать его из прибора и сохранять в безопасности в защищенной зоне. Кроме того, в PNA-X можно запретить отображение на экране информации, относящейся к частотным параметрам, а также запретить запоминание файлов.

Защита инвестиций в программное обеспечение

Компания Agilent предусмотрела защиту инвестиций пользователя в программное обеспечение анализаторов цепей серий 8753, 8720 и 8510 за счёт полной эмуляции кода в PNA-X.

Форум по анализаторам цепей

Рекомендуется посетить дискуссионный форум по анализаторам цепей по адресу: forums.tm.agilent.com. На этом форуме можно изучить опыт коллег по решению наиболее сложных проблем измерений.



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.agilent.com/find/open

Концепция Agilent Open упрощает процесс установления соединений и программирования испытательных систем, оказывая инженерам дополнительную помощь на этапах разработки, испытаний и производства электронных изделий. Компания Agilent предлагает возможность прозрачного подключения большого числа системно совместимых измерительных приборов, открытую стандартную среду разработки программного обеспечения, стандартные интерфейсы ввода-вывода, используемые в ПК, и техническую поддержку по всему миру. В совокупности все это еще больше облегчает разработку испытательных систем.

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 с применением своих контрольно-измерительных средств для повышения эффективности использования Вашего оборудования, включая помощь в 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

www.agilent.com
www.agilent.com/find/pna-x

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, 113054, 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. 2009

Отпечатано в России в июле 2009 года

Номер публикации 5989-8041RU



Agilent Technologies