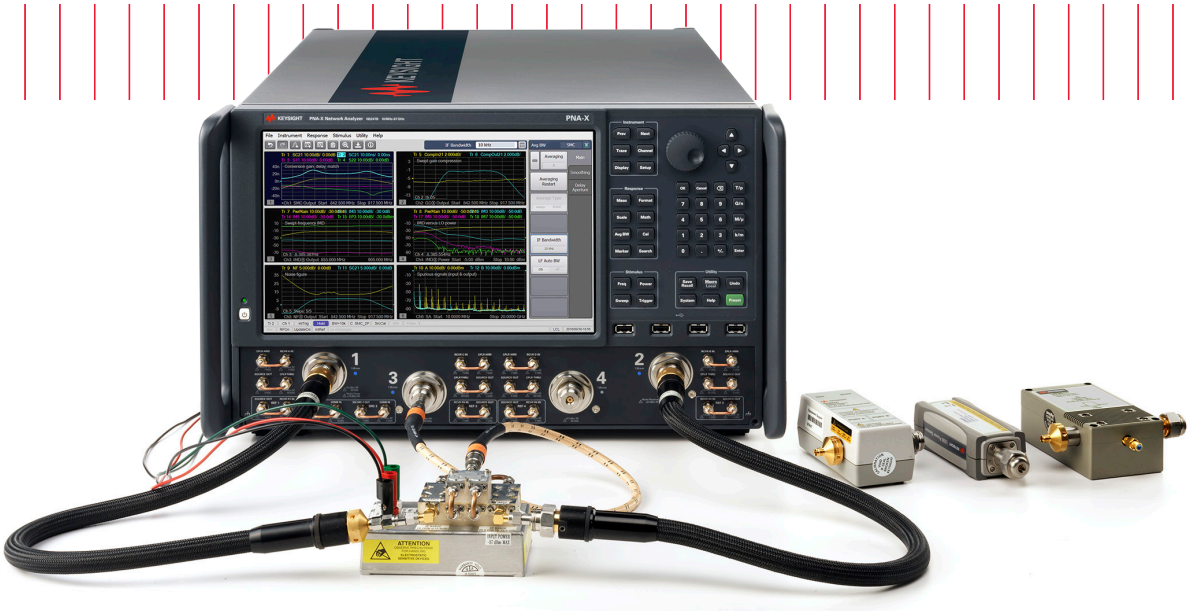
Keysight Technologies
СВЧ-анализатор цепей N524xB серии PNA-X



KEYSIGHT TECHNOLOGIES

Наиболее совершенное решение для измерений параметров ВЧ-устройств в отрасли

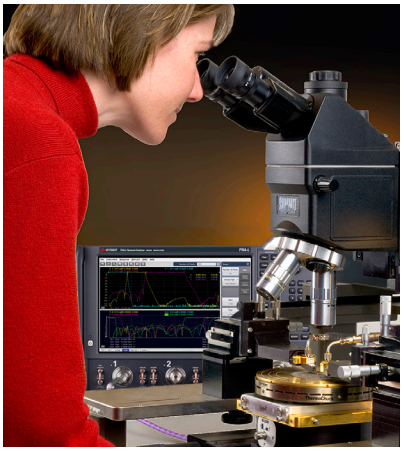
Добейтесь абсолютного превосходства

Выберите лидера в области анализа цепей

Векторные анализаторы цепей (ВАЦ) серии PNA-X стали кульминацией 40-летней истории технического лидерства и инноваций компании Keysight в области анализа цепей во всем диапазоне радиочастот (РЧ). PNA-X больше, чем просто векторные анализаторы цепей - это самая высокоинтегрированная и гибкая аппаратная платформа для измерений параметров активных устройств диапазона сверхвысоких частот (СВЧ), таких как усилители, смесители и преобразователи частот.

Сочетание двух встроенных источников сигналов, сумматоров, приемников, адаптированных для измерений как S-параметров, так и шумовых параметров, импульсных модуляторов и генераторов, а также гибкой схемы коммутации и РЧ-входов для подачи сигналов с внешних вспомогательных устройств, формирует мощное аппаратное ядро для выполнения измерений широкого спектра параметров линейных и нелинейных устройств в ходе всего одной серии подключений к испытуемому устройству (ИУ).

При измерении параметров активных устройств, в зависимости от стоящих задач, требуется оптимальное сочетание быстродействия и производительности. На этапе исследований и разработок ВАЦ семейства PNA обеспечивают высокий уровень точности и достоверности результатов измерений, который поможет вам глубже понять суть протекающих внутри устройств процессов и устранить все изъяны в их конструкции. На производстве ВАЦ семейства PNA обеспечат высокую производительность и повторяемость результатов измерений, что позволит превратить результаты ваших разработок в конкурентоспособную продукцию. Каждый ВАЦ компании Keysight - это воплощение нашего опыта в области измерений параметров линейных и нелинейных устройств. Выберите PNA-X и добейтесь абсолютного превосходства при проведении измерений и испытании устройств.



Широчайшие возможности измерительных приложений для анализаторов цепей серии PNA-X могут быть применены для измерений параметров устройств на подложках.

Широчайший спектр измерительных приложений

Измерительные приложения для ВАЦ серии PNA-X обеспечивают быстроту, точность и простоту проведения стандартных измерений параметров ВЧ-устройств с использованием стандартизованных коаксиальных типов трактов, измерительных приспособлений и оборудования для измерений на подложках. Измерительные приложения включают:

- Измерения S-параметров (в непрерывном и импульсном режимах)
- Измерения коэффициента шума (КШ)
- Измерения компрессии коэффициента усиления
- Измерения интермодуляционных и гармонических искажений
- Измерения коэффициента усиления/потерь преобразования
- Измерения с использованием истинных дифференциальных сигналов стимулов
- Опеределение параметров нелинейных компонентов и X-параметров*
- Измерения параметров антенн

Векторный анализ цепей до нанодиапазона

ВАЦ серии PNA-X совместимы со следующими измерительными решениями компании Keysight:

- **Программное обеспечение для систем тестирования на физическом уровне (PLTS),** позволяющее выполнять калибровку, измерения и анализ параметров линейных пассивных средств межсоединений, таких как кабели, соединители, объединительные платы и печатные платы
- **Оборудование и принадлежности для исследования свойств материалов,** помогающие определить, как материалы взаимодействуют с электромагнитными полями, посредством вычисления диэлектрической и магнитной проницаемости
- **Отмеченный наградами сканирующий СВЧ-микроскоп** для создания мощной и уникальной комбинации, предназначенной для топографических измерений калиброванных ёмкостей и плотности легирующих примесей при нанометровых размерах.

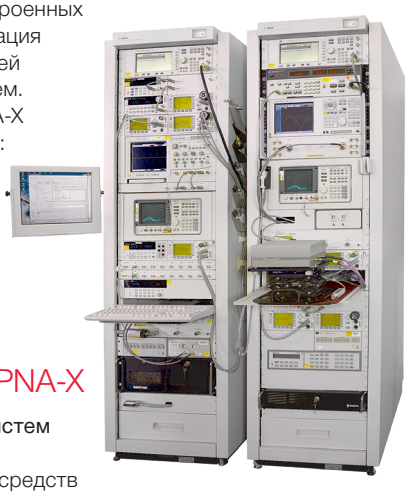
Нужный диапазон частот для решения ваших задач

** Некоторые опции позволяют расширить диапазон частот вниз до 900 Гц

Постройте оптимальную измерительную систему с нужным диапазоном частот, не переплачивая за избыточный функционал.

Комплекс измерений с помощью одного прибора

Один измерительный прибор вместо целой стойки с оборудованием

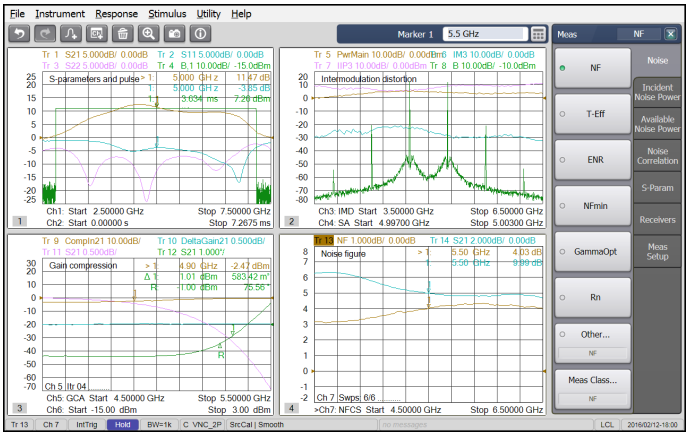


Высокая степень интеграции и универсальность встроенных аппаратных средств, а также изменяемая конфигурация измерительных трактов позволяют анализатору цепей серии PNA-X заменить целую стойку с оборудованием. По своим функциональным возможностям один PNA-X может заменить следующие измерительные приборы:

- анализатор цепей
- анализатор спектра
- два источника сигналов
- измеритель/анализатор коэффициента шума
- измерители мощности
- коммутационную матрицу
- цифровой вольтметр

Преимущества решений на основе PNA-X

- **Более простая архитектура измерительных систем позволяет**
  снизить стоимость программных и аппаратных средств
  ускорить разработку и запуск производства
  сократить время простоя и снизить стоимость технического обслуживания
  сократить размеры и потребляемую мощность
- **Уменьшение времени выполнения измерений позволяет**
  повысить производительность измерительной системы
- **Более высокая точность позволяет**
  снизить процент брака и улучшить характеристики выпускаемой продукции
- **Гибкость аппаратной платформы обеспечивает**
  готовность к решению перспективных измерительных задач

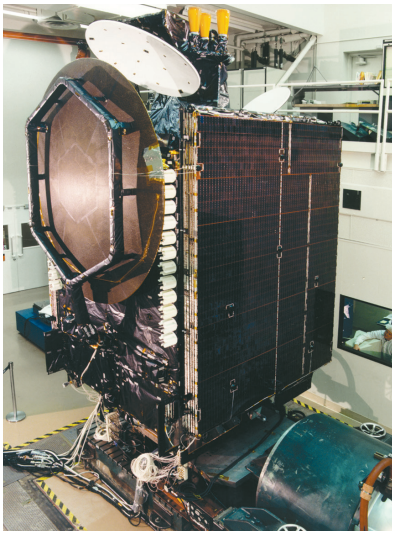


За одну серию подключений к усилителю или преобразователю частот анализатор цепей серии PNA-X способен выполнить измерения S-параметров, интермодуляционных искажений, зависимости компрессии коэффициента усиления и фазы от частоты, КШ и других параметров в режиме НГ (непрерывная генерация гармонических сигналов) и импульсных режимах.

Практические результаты – примеры применения PNA-X

"Мы сделали выбор в пользу векторных анализаторов цепей серии PNA-X компании Keysight потому, что это позволило исключить излишние переподключения кабелей между измерениями и выполнять больше видов измерений, чем может обеспечить любой другой анализатор цепей. Ранее для измерений S-параметров, векторного анализа сигналов и измерений коэффициента шума мы использовали отдельные измерительные приборы, теперь же мы можем выполнять все виды измерений с помощью одного прибора - PNA-X".

Руководитель отдела испытаний



Пример 1

Поставщик компонентов для аэрокосмической промышленности сократил время измерений при испытаниях продукции на 95%

Задачи

Заказчик производит более 4600 типов устройств ВЧ-диапазона, причём в любой момент времени в производстве находится обычно около 1000 устройств. Перечень этих устройств включает фильтры, умножители частоты, усилители и коммутаторы, имеющие диапазон рабочих частот от 10 МГц до 60 ГГц. Заказчику требовалось упростить измерительную систему, используемую для контрольных испытаний одного из многопортовых устройств, в связи с чем он намеревался разработать автоматизированную испытательную систему (АИС). При этом были поставлены следующие ключевые задачи:

- уйти от использования сложных и дорогих измерительных систем, состоящих из нескольких стоек с измерительным оборудованием и километров измерительных кабелей;
- исключить многократные переподключения и повторные калибровки, требующие активного вмешательства оператора и увеличивающие время простоя;
- кардинально уменьшить объем повторных измерений с целью уменьшения непроизводительных потерь времени.

Достигнутые результаты

Возможности ВАЦ серии PNA-X, позволяющие выполнять больше видов измерений, чем может обеспечить любой другой измерительный прибор, доступный на рынке, позволили:

- ускорить процесс измерений:сокращение времени измерений с 4 часов до 24 минут на одну отметку температурной шкалы по сравнению с предшествующей АИС привело к общему сокращению времени измерений на 95%;
- уменьшить число применяемых измерительных приборов:девять стоек с измерительным оборудованием были заменены тремя 12-портовыми ВАЦ серии PNA-X;
- увеличить производительность труда операторов:для контроля четырех испытательных стендов требовался всего один оператор, а не по одному оператору на каждый стенд;
- сократить количество повторных измерений и переподключений кабелей.

Пример 2

Разработчик и производитель спутникового оборудования сократил время испытаний продукции с трех часов до трех минут

Задачи

Компания проводила специальные стендовые испытания и намеревалась модернизировать свои средства испытаний, чтобы повысить их производительность и пропускную способность. Предшествующие измерительные системы для контроля параметров бортовой аппаратуры спутников состояли из большого количества стоек с оборудованием, и их использование было связано с большими накладными расходами. Компания тратила много времени и усилий на написание программ и техническое обслуживание этих средств испытаний.

Достигнутые результаты

Изначально компания закупила четыре PNA-X (модели с диапазонами рабочих частот до 26,5 и 50 ГГц). Они были настолько впечатлены полученными показателями производительности и пропускной способности, что заказали еще восемь ВАЦ. В одном испытании степень улучшения превысила все ожидания: измерения АЧХ, ранее занимавшие 20 минут, теперь выполнялись менее чем за минуту. Заменив свои измерительные установки на ВАЦ серии PNA-X, компания эффективно модернизировала и упростила процесс испытаний, что позволило достичь следующих результатов:

- ускорение испытаний: время проведения полного набора испытаний сократилось с трех часов до трех минут;
- сокращение числа измерительных приборов:измерительная установка для контроля параметров бортового оборудования, состоящая из двух стоек с измерительными приборами, была заменена одним четырехпортовым ВАЦ серии PNA-X;
- уменьшение размеров испытательного стенда:замена позволила существенно уменьшить занимаемое испытательным стендом место и энергопотребление.

Пример 3

Производитель систем беспроводной связи сократил время испытаний единицы продукции с 30 до 10 минут

Задачи

Компания-производитель занималась разработкой новой системы широкополосной беспроводной связи, и для контроля качества продукции ей требовалась более быстродействующая измерительная система. Имеющаяся в наличии измерительная система состояла из двух генераторов сигналов, анализатора спектра и измерителей мощности. По предварительной оценке при использовании этой системы для контроля качества одной единицы новой продукции потребовалось бы затратить 30 минут, в то время как была поставлена цель достичь показателя в 15 минут. Помимо более высокого быстродействия измерительной системы, компании требовалось повысить качество измерений КШ и нелинейных искажений, причем все виды измерений, как для трактов преобразования частоты вверх, так и вниз, должны были выполняться за одно подключение.

Достигнутые результаты

Замена существующей измерительной системы из нескольких измерительных приборов на один четырехпортовый ВАЦ серии PNA-X с диапазоном рабочих частот до 50 ГГц позволила компании получить следующие результаты:

- **ускорение испытаний**: время проведения полного набора испытаний сократилось с трех часов до трех минут;
- **сокращение времени простоя и затрат на техническое обслуживание**: уменьшение количества используемых измерительных приборов позволило сократить время подготовки к работе, а также свело к минимуму проблемы, связанные с многочисленными отказами оборудования, что в результате привело к снижению стоимости технического обслуживания и ежегодной поверки/калибровки средств измерений;
- **снижение себестоимости оборудования**: стоимость 4-портового анализатора цепей серии PNA-X была значительно ниже стоимости старой измерительной системы, состоящей из нескольких измерительных приборов.

Пример 4

Компании, занимающейся обеспечением безопасности, удалось ускорить процесс испытаний и повысить точность измерений

Задачи

Компании потребовалось обновить свои устаревшие измерительные системы на основе ВАЦ и громоздких коммутационных матриц. Для выполнения измерений ряда различных параметров техническим специалистам постоянно приходилось отключать и подключать ИУ к различным измерительным приборам. Такой подход был медленным, затратным и обуславливал высокую погрешность измерений, поскольку требовал постоянного вмешательства оператора и применения дополнительных аппаратных средств. Компания искала техническое решение, которое было бы простым в установке и использовании, сократило время и стоимость испытаний, минимизировало погрешности измерений и занимало меньше места.

Достигнутые результаты

Вместо того, чтобы просто заменить устаревшие измерительные приборы на более новые, совместимые по коду, от того же поставщика, компания сделала выбор в пользу ВАЦ серии PNA-X. Такое решение было принято даже несмотря на то, что требовало значительной переработки старого программного обеспечения. Компания добилась значительной экономии времени, в сравнении с ранее использовавшимся измерительным оборудованием, и получила следующие результаты:

- **простота установки и использования**: технические специалисты теперь могут с легкостью подключаться к ИУ и выполнять все требуемые измерения за одно подключение, без использования дополнительного оборудования;
- **более быстрые и точные измерения**: используя всего один измерительные прибор, технические специалисты могут выполнять все необходимые виды измерений за более короткое время и с более высокой точностью;
- **уменьшение размера измерительной системы**: использование 4-портового ВАЦ серии PNA-X позволило уменьшить начальные капиталовложения, количество задействованных измерительных приборов, занимаемую площадь и потребление мощности, что привело к общему снижению расходов.

"Мы выбрали PNA-X за его уникальные возможности выполнять множество различных видов измерений за одно подключение. Кроме того, PNA-X - единственное техническое решение, которое нам удалось найти, способное обеспечить выполнение измерений параметров устройств в нелинейном режиме с высокой точностью за счет использования программной опции NVNA. Мы были поражены тем, насколько много времени мы смогли сэкономить в процессе проведения разработок, ведь теперь мы могли быстро и с высокой точностью измерять параметры устройств в нелинейном режиме, даже при крайне высоких уровнях мощности".

Руководитель отдела испытаний

Интуитивно-понятный интерфейс пользователя для быстрого управления функциями ВАЦ

Гибкий, современный интерфейс пользователя: клавиши передней панели, панель программируемых клавиш с закладками, раскрывающиеся меню, настраиваемая панель инструментов, контекстные меню, вызываемые правой клавишей мыши, возможность перетаскивания объектов на экране и сенсорный дисплей с диагональю 12,1 дюйма

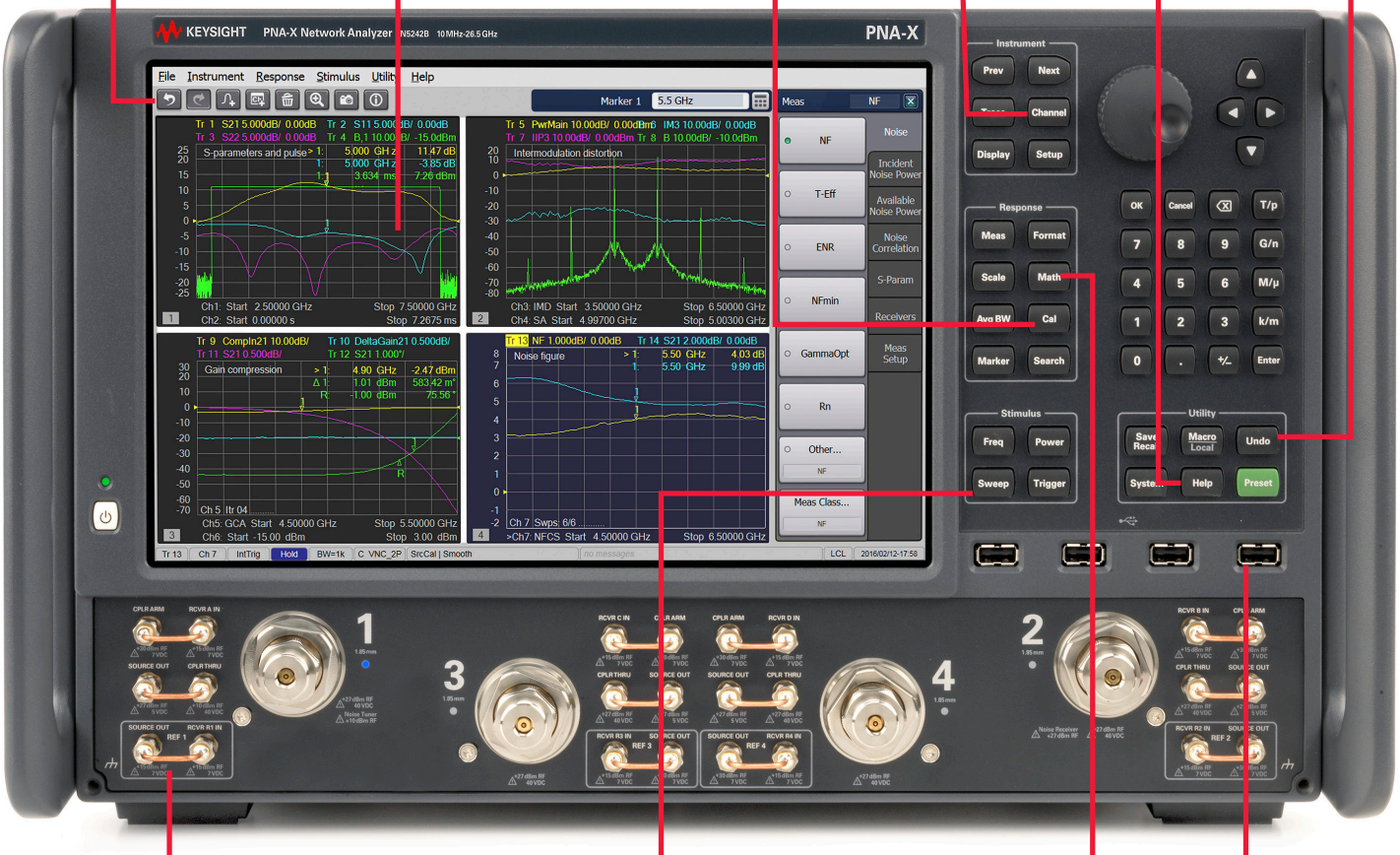
До 15 маркеров на график

Передовые методы калибровки

200 измерительных каналов и неограниченное число графиков

Контекстно-зависимая встроенная справочная система

Клавиша Undo/Redo для отмены или повтора предыдущих операций



Конфигурируемый измерительный блок, доступный для всех моделей

Виды свипирования: частота (линейное, логарифмическое, сегментированное) уровень мощности, НГ (непрерывная генерация на одной частоте), фаза

Редактор формул и анализ во временной области

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

Аппаратные средства для обеспечения исключительной гибкости

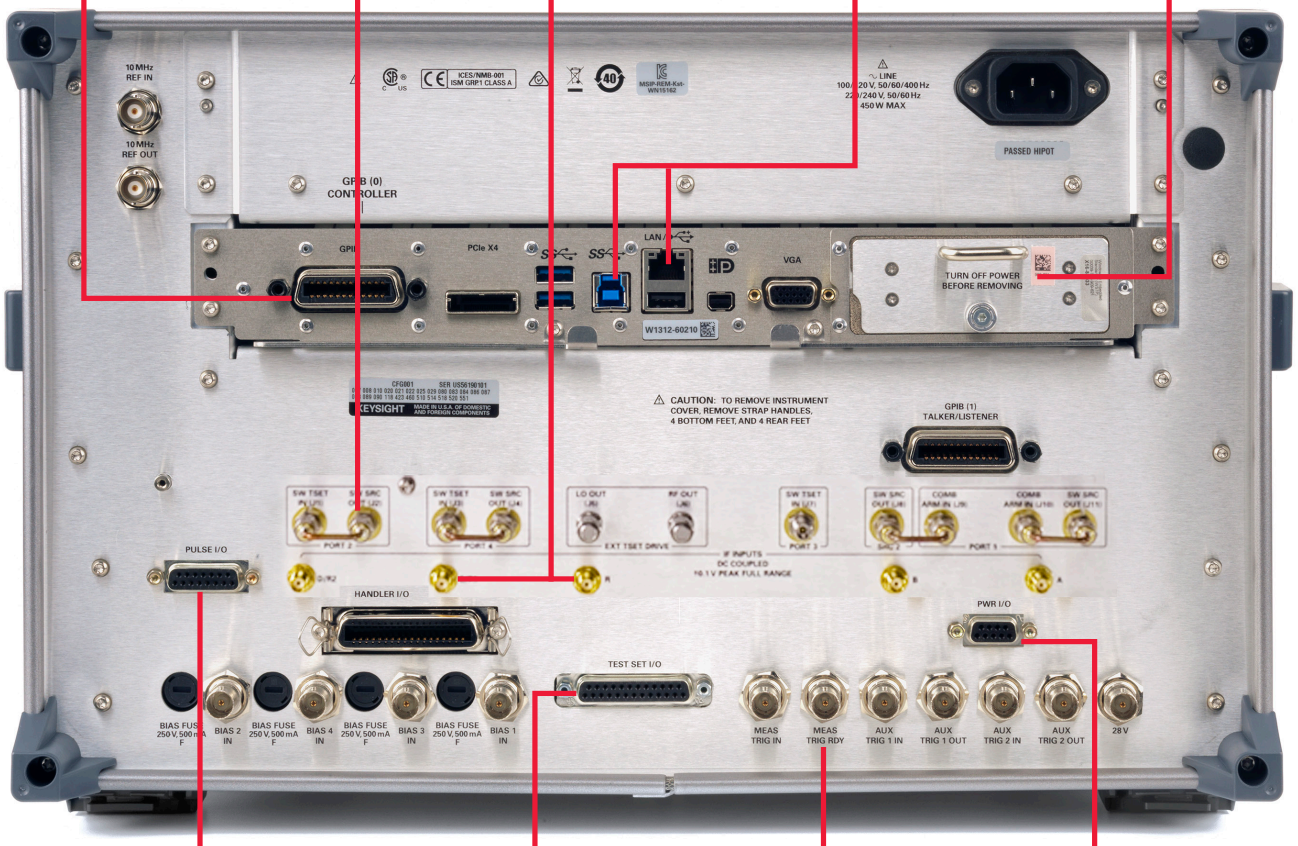
Второй интерфейс GPIB для управления источниками сигналов, измерителями мощности или другими приборами

ВЧ-перемычки для подключения устройств формирования сигналов или других измерительных приборов

Прямой доступ к тракту ПЧ для использования внешних смесителей на антенных полигонах

Интерфейсы LAN и USB для подключения периферийных устройств или удаленного управления, в качестве альтернативы интерфейсу GPIB

Съемный жесткий диск для защиты конфиденциальных данных



Соединитель Pulse I/O для управления внешними модуляторами или синхронизации внутренних импульсных генераторов

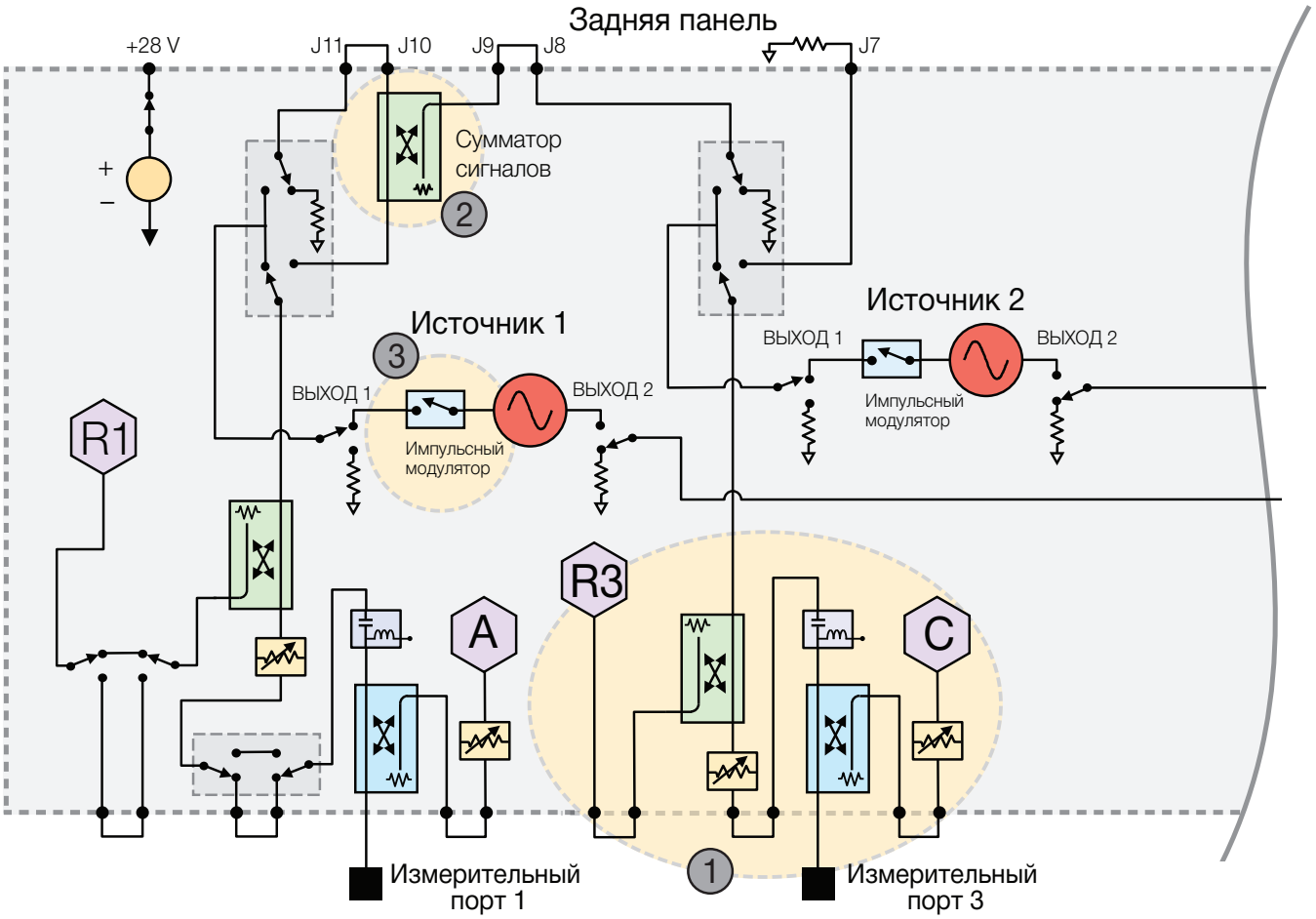
Соединитель Test Set I/O для управления внешними многопортовыми измерительными блоками или модулями миллиметрового диапазона

Гибкая система запуска для управления измерениями и синхронизации внешних источников сигналов и прочих измерительных приборов

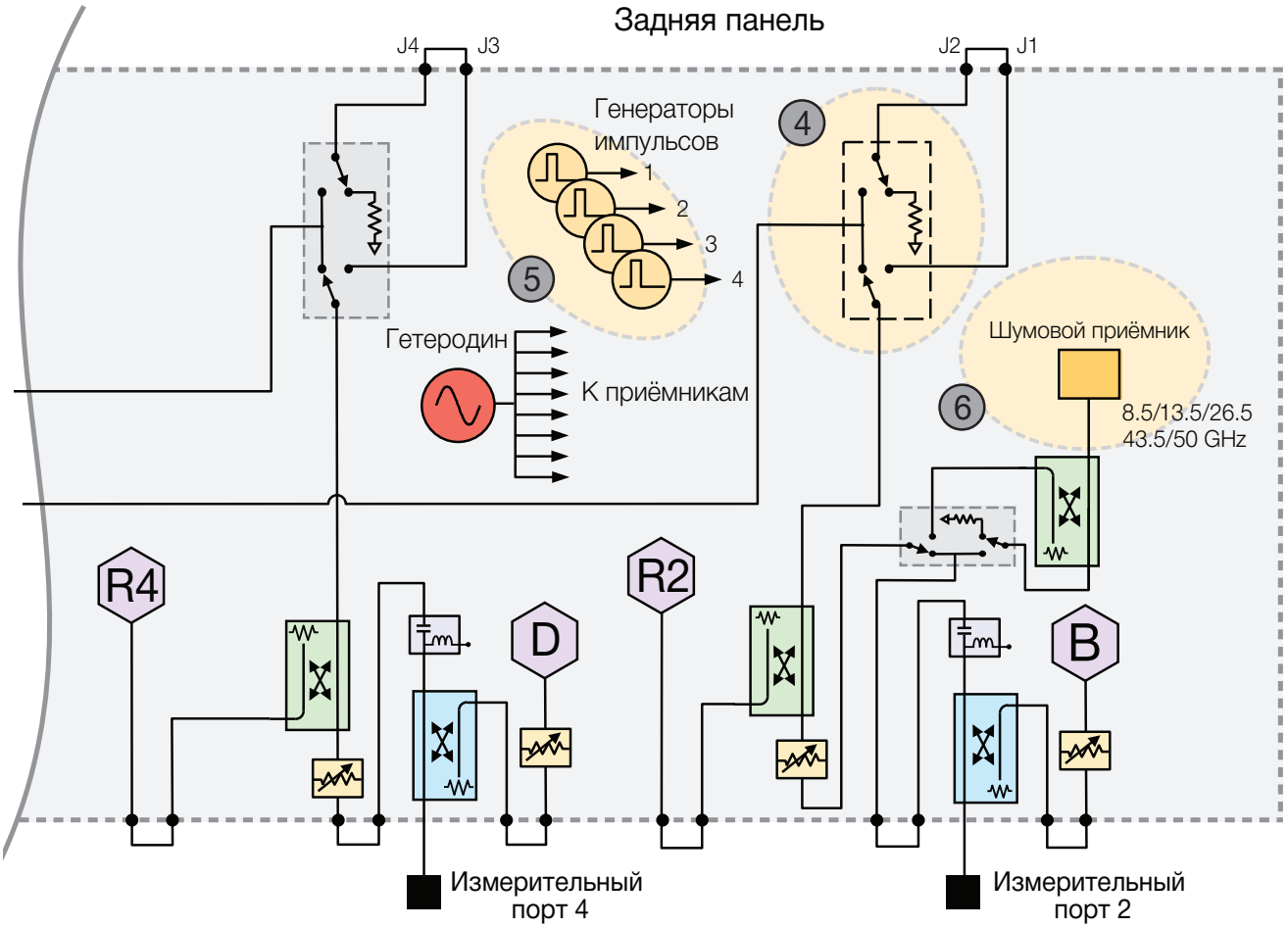
Соединитель Power I/O обеспечивает аналоговые входы и выходы для измерения КПД добавленной мощности и других измерений

Гибкая архитектура

1. В тракт каждого измерительного порта для достижения максимальной точности и гибкости включены опорные и измерительные приемники с соответствующими направленными ответвителями, аттенюаторы источников сигналов и приемников, а также тройники для подачи постоянного напряжения смещения.
2. Встроенные сумматоры сигналов значительно упрощают схему подключений и настройку оборудования для проведения измерений интермодуляционных искажений и X-параметров.
3. Внутренние импульсные модуляторы позволяют проводить измерения импульсных ВЧ-сигналов во всем диапазоне рабочих частот измерительного прибора, исключая необходимость применения дорогих и громоздких внешних импульсных модуляторов.



4. Переключаемые перемычки на задней панели обеспечивают возможность включения в схему измерений устройств формирования и обработки сигналов или подключения к ИУ дополнительного измерительного оборудования без переподключения измерительных кабелей.
5. Настройка импульсной синхронизации для импульсных модуляторов и внутренних затворов ПЧ упрощается благодаря использованию встроенных импульсных генераторов.
6. Встроенные высокочувствительные приемники наряду с передовыми алгоритмами калибровки и измерений обеспечивают самые точные в отрасли измерения КШ.



Инновационные измерительные приложения

Простые, быстрые и точные измерения параметров импульных ВЧ-сигналов

(S93025/026A, опции 021, 022)

В 1990-х в качестве отраслевого стандарта анализаторов цепей с режимом измерений параметров импульсных ВЧ-сигналов выступал ВАЦ HP 8510.

Серия настольных анализаторов цепей PNA заменила стоечную систему 8510.

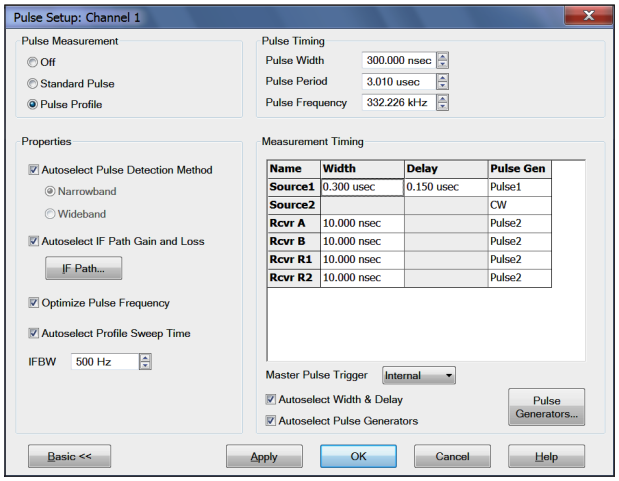
Проблемы измерений параметров импульсных ВЧ-сигналов

- Генераторы импульсов и модуляторы, необходимые для измерений параметров импульсных ВЧ-сигналов, значительно усложняют измерительную систему.
- Для импульсных сигналов малой длительности:
  - максимальная полоса ПЧ ВАЦ, как правило, слишком мала для широкополосного детектирования;
  - узкополосное детектирование слишком медленное, а результат измерений имеет слишком большую шумовую составляющую при измерениях параметров импульсов с малым коэффициентом заполнения.

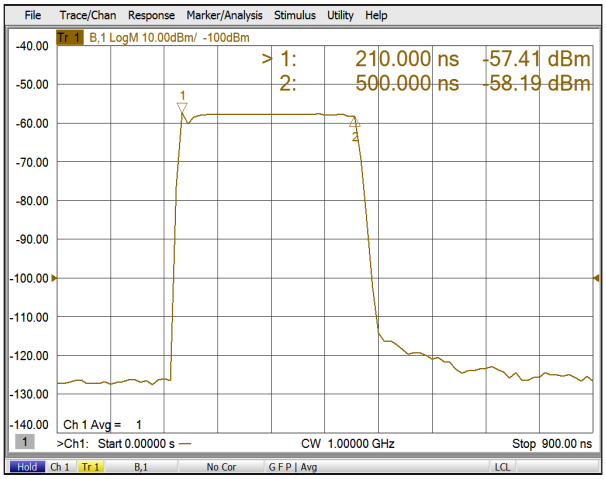
Измерения параметров импульсных ВЧ-сигналов с помощью ВАЦ серии PNA-X

- Простой интерфейс пользователя измерительного приложения S93025A позволяет управлять двумя внутренними импульсными модуляторами (опции 021 и 022) и четырьмя внутренними независимыми импульсными генераторами, а также выполнять измерения с усреднением на выбранном участке в пределах длительности импульса (Point-in-pulse) при минимальной длительности импульса 200 нс, а также профиля импульса (Pulse profile) с минимальным разрешением 50 нс
- Приложение S93026A позволяет выполнять измерения с усреднением на выбранном участке в пределах длительности импульса при минимальной длительности импульса 20 нс и профиля импульса с минимальным разрешением 10 нс
- Повышение скорости и точности измерений при узкополосном детектировании за счёт использования аппаратных фильтров и патентованных методов спектрального обнуления и программного стробирования сигналов ПЧ
- Измерения, использующие метод широкополосного детектирования, с минимальной длительностью импульсов от 100 нс
- Соединитель Pulse I/O на задней панели для синхронизации с внешним оборудованием и ИУ
- Точное определение параметров активных компонентов с помощью уникальных приложений для измерений компрессии усиления, интермоду ляционных искажений в режимах свипиро вания частоты/уровня мощности и коэффи циента шума

Анализатор цепей серии PNA-X, будучи первым моноблочным реше-нием для измерений параметров импульсных ВЧ-сигналов, устанав-ливает новые стандарты простоты использования, скорости и точности измерений.



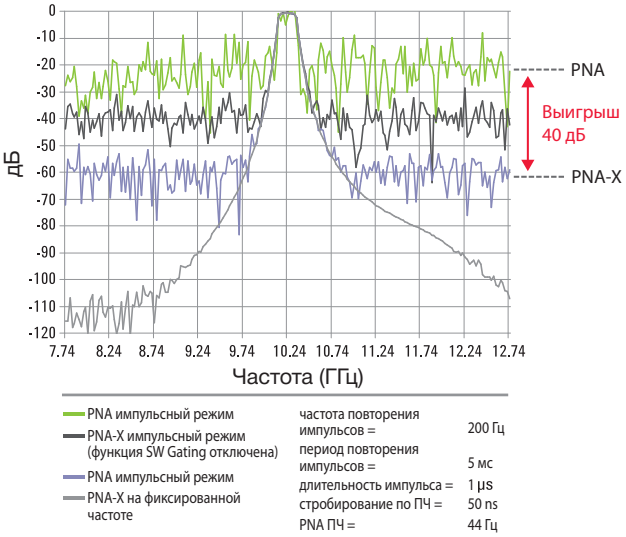
Приложение для измерений параметров импульсных ВЧ-сигналов автоматически оптимизирует конфигурацию внутренних аппаратных средств для заданных условий формирования импульсов, ято значительно упрощает настройку параметров испытаний. В качестве альтернативы, пользователь самостоятельно может задать настройки аппаратных средств для специфических условий измерений вручную.



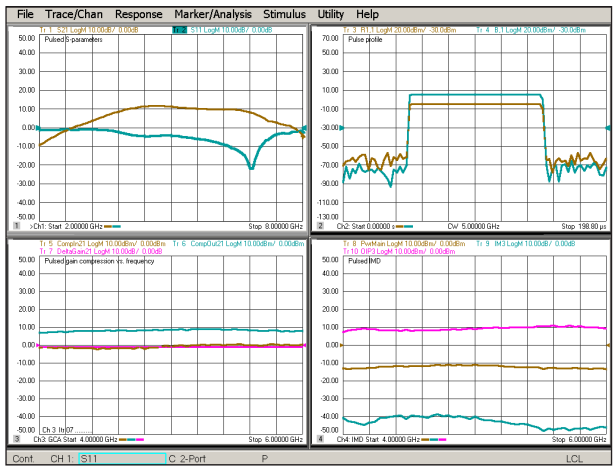
Режим измерений формы импульсных сигналов с использованием методики узкополосного детектирования позволяет измерить параметры импульса с длительностью 300 нс на 30 точках с разрешением в 10 нс по оси времени.

Советы экспертов

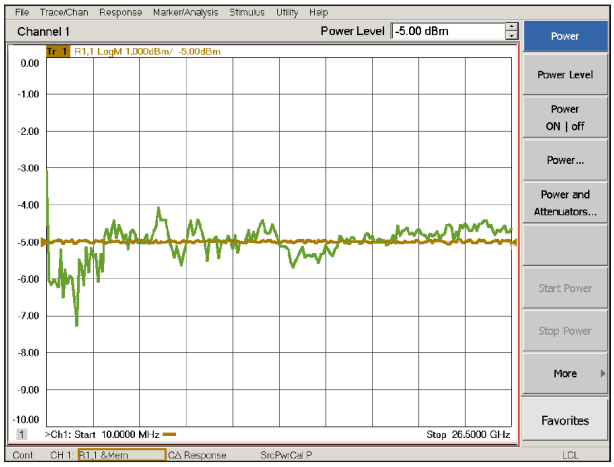
- По сравнению с усреднением по циклам свипирования, усред нение по точкам обычно обеспечивает быстрое получение резуль татов в случаях, когда усреднение необходимо для снижения уровня шумов и повышения точности измерений в режиме широкополосного детектирования.
- В процессе калибровок уровня мощности источника сигналов измерители мощности считывают среднее значение мощности, хотя ВАЦ устанавливает уровень пиковой мощности импульсных испытательных сигналов. Для компенсации разницы между значениями пиковой и средней мощности используйте функцию смещения уровня мощности на значение 10 log (коэффициент заполнения).
- Минимальная длительность импульса для измерений с усредне нием на выбранном участке в пределах длительности импульса при использовании метода широкополосного детектирования определяется числом выборок, требуемых для заданной полосы ПЧ.К примеру, минимальная длительность импульса для полосы ПЧ 15 МГц составляет 100 нс, для полосы ПЧ 5 МГц - 300 нс, а для полосы ПЧ 1 МГц - 1,44 мкс. При работе с импульсами минимальной для заданной полосы ПЧ длительностью важно точно выставить задержку измерений (с разрешением в 10 нс) для выравнивания параметров импульсной модуляции и периода сбора данных.
- В импульсном режиме важно использовать выравнивание уровня по приёмнику для поддержания точности определения уровня мощности при соответствующих измерениях, таких как измерения выходной мощности, компрессии и интермодуляционных искажений.



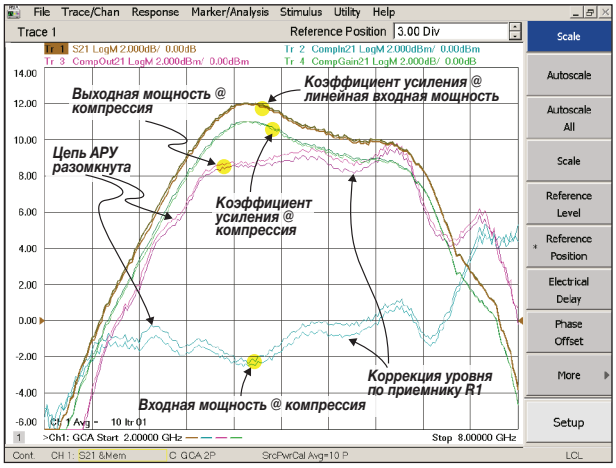
Метод узкополосного детектирования, применяемый в PNA-X для изме-рений параметров импульсных сигналов с малой длительность (< 267 нс) и основанный на применении специальных аппаратных средств и патен-тованных методов программного стробирования, позволяет улучшить динамический диапазон измерительной системы при измерениях пара-метров импульсных ВЧ-сигналов с малым коэффициентом заполнения на 40 дБ по сравнению с измерительными системами на базе PNA.



ВАЦ серии PNA-X обеспечивают высокую точность измерений параметров активных устройств в импульсном режиме за одно подключение к ИУ. В данном примере показаны результаты измерений S-параметров в импульсном режиме, профиля импульса (входная и выходная мощность во временной области), зависимости компрессии коэффициента усиления от частоты и интермодуляционных искажений в режиме свипирования частоты.



Использование функции выравнивания уровня по приемнику позволяет уменьшить погрешность измерений уровня мощности импульсного ВЧ-сигнала с ± 1 дБ до менее 0,05 дБ.



Выше для сравнения приведены результаты измерений компрессии усиления с выравниванием уровня по приёмнику и без него. Погрешность установки уровня тестовых сигналов становится причиной еще больших погрешностей измерений, связанных с Погрешность установки уровня тестовых сигналов становится причиной еще больших погрешностей измерений, связанных с определением уровня мощности, таких как определение зависимости уровня входной и выходной мощности в точке компрессии от частоты.

Инновационные измерительные приложения

Быстрые и точные измерения коэффициента шума

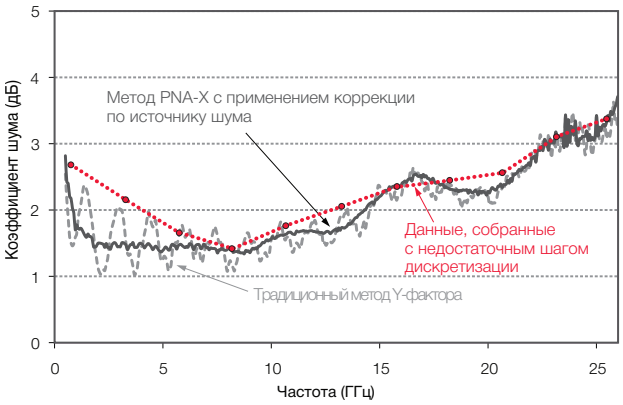
(S93029A, опция 029)

Проблемы измерений коэффициента шума с помощью традиционного метода Y-фактора

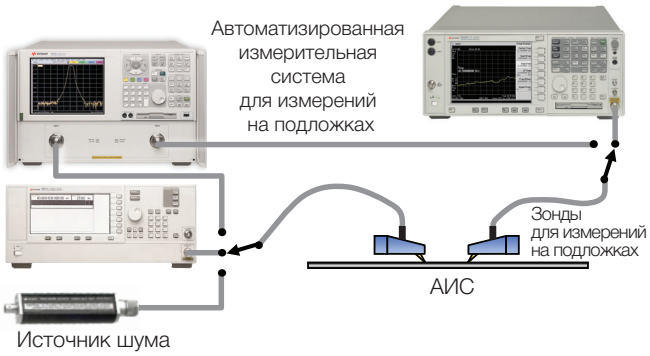
- Для получения параметров ИУ требуется выполнить несколько измерений и переподключений
- Низкая точность измерений с использованием дополни тельной оснастки, на подложках и в автоматизированных измерительных системах, где источник шума не может быть подключен к ИУ напрямую
- Измерения выполняются медленно и, как правило, всего для нескольких частотных точек, а при недостаточном количестве выборок существует вероятность получения ошибочного результата.

Решение для измерений коэффициента шума на базе PNA-X обеспечивает:

- измерения параметров усилителей и преобразователей частоты с наивысшей в отрасли точностью благодаря передовым методам коррекции составляющих систематической погрешности измерений;
- высокую скорость измерений: обычно в 4-10 раз выше, чем при использовании анализаторов коэффициента шума серии NFA компании Keysight;
- очень быстрые измерения шумовых параметров при использовании с автоматическими тюнерами компании Maury Microwave, позволяющими очень быстрые измерения шумовых параметров при использовании с автоматическими тюнерами компании Maury Microwave, позволяющими повысить скорость измерений в 200-300 раз.



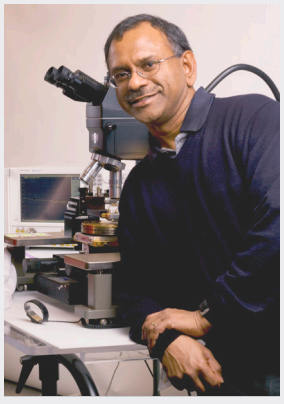
Из приведенных выше результатов измерений параметров рассогласованного транзистора на 401 частотной точке видно, что PNA-X показывает намного меньший уровень неравномерности характеристики по сравнению с методом Y-фактора. Измерения, выполненные с помощью NFA на 11 частотных точках (по умолчанию), из-за недостаточного количества выборок вводят оператора в заблуждение относительно реальных характеристик исследуемого усилителя.



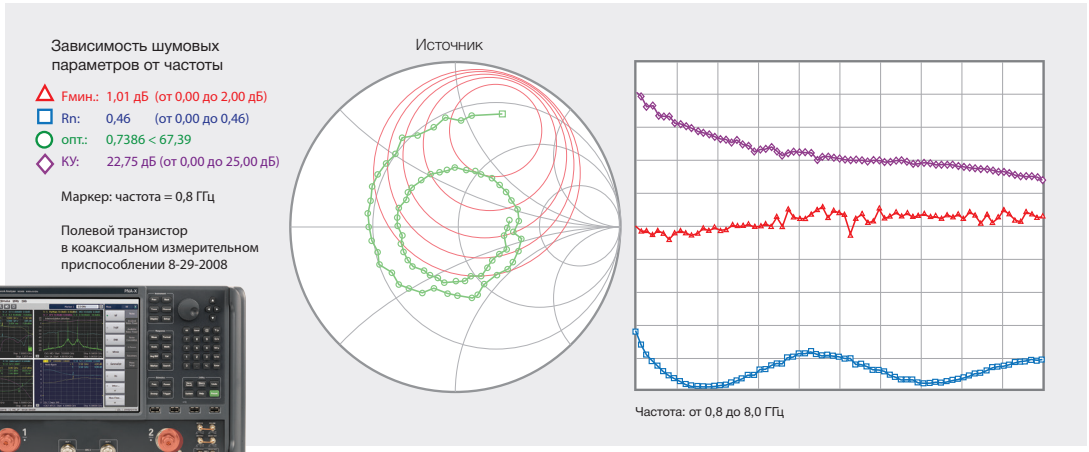
При измерениях по методу Y-фактора любая электрическая цепь, включенная между источником шума и ИУ, (кабели, коммутационные матрицы, зонды для измерений на пластине), значительно ухудшает точность измерений.

"В моем парке измерительного оборудования имеется несколько приборов, способных измерять коэффициент шума: измерители коэффициента шума серий 8970 и NFA, а также анализаторы спектра. При измерениях коэффициента шума самой большой проблемой для меня было отсутствие взаимной корреляции результатов измерений, получаемых с использованием разных приборов. Теперь, когда мы приобрели анализаторы цепей серии PNA-X, их высокая точность измерений дает мне уверенность в том, что я всегда буду получать достоверный результат, независимо от того, какой из PNA-X я использую."

Руководитель отдела испытаний

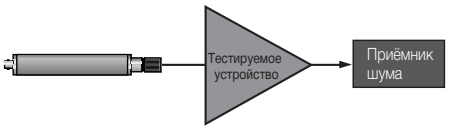


На измерения шумовых параметров потребуются минуты, а не дни

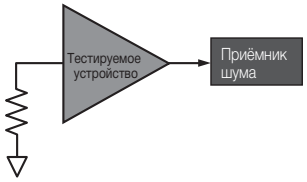


При использовании PNA-X и автоматического тюнера компании Maury Microwave процесс настройки оборудования и проведения измерений шумовых параметров значительно упрощается и ускоряется. Новейшее ПО компании Maury существенно повышает как скорость, так и точность измерений шумовых параметров, открывая широкие возможности для практического применения.

Методы измерения коэффициента шума



Метод Y-фактора: самым распространённым методом измерения коэффициента шума является метод Y-фактора. В его основе заложено использование источника (генератора) шума, который подключается ко входу ИУ. Когда источник шума выключен, он представляет импеданс “холодного” источника, что эквивалентно нагрузке при комнатной температуре. Когда источник шума включён, он создаёт избыточный шум, эквивалентный нагрузке “горячего” источника. При этих двух состояниях на выходе испытуемого усилителя измеряется мощность шума, и вычисляются скалярный коэффициент усиления и коэффициент шума усилителя. Метод Y-фактора используют анализаторы коэффициента шума серии NFA и анализаторы спектра компании Keysight с предусилителями и приложением для измерений КШ.



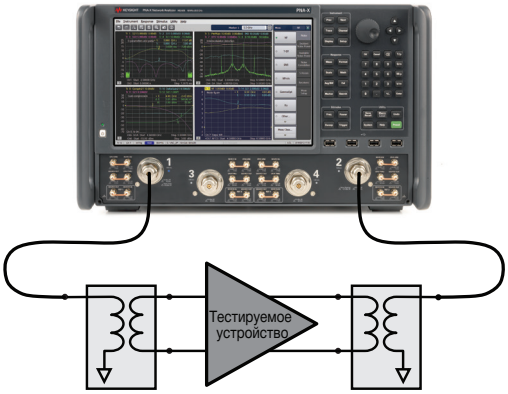
Метод "холодного" источника: альтернативным методом измерения КШ является метод холодного источника, или метод прямых измерений. При использовании этого метода производится только одно измерение мощности шума на выходе тестируемого усилителя, при этом вход усилителя нагружен импедансом источника комнатной температуры. Метод "холодного" источника требует проведения независимых измерений коэффициента усиления (КУ) испытуемого усилителя. Данный метод хорошо подходит для векторных анализаторов цепей, поскольку они могут очень точно измерять коэффициент усиления (S21), используя векторную коррекцию составляющих систематической погрешности. Еще одно преимущество метода "холодного" источника заключается в возможности измерений S-параметров и КШ за одно подключение к ИУ.

Инновационные измерительные приложения

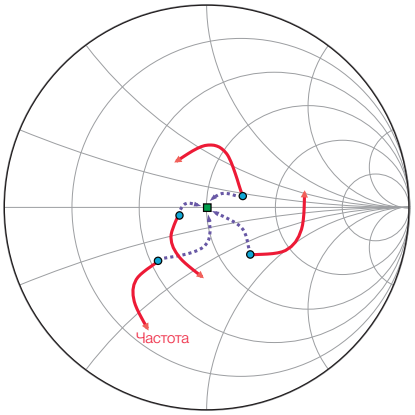
Быстрые и точные измерения коэффициента шума (S93029A, опция 029, продолжение)

Уникальное решение для измерения коэффициента шума на базе PNA-X с коррекцией неполного согласования в источнике

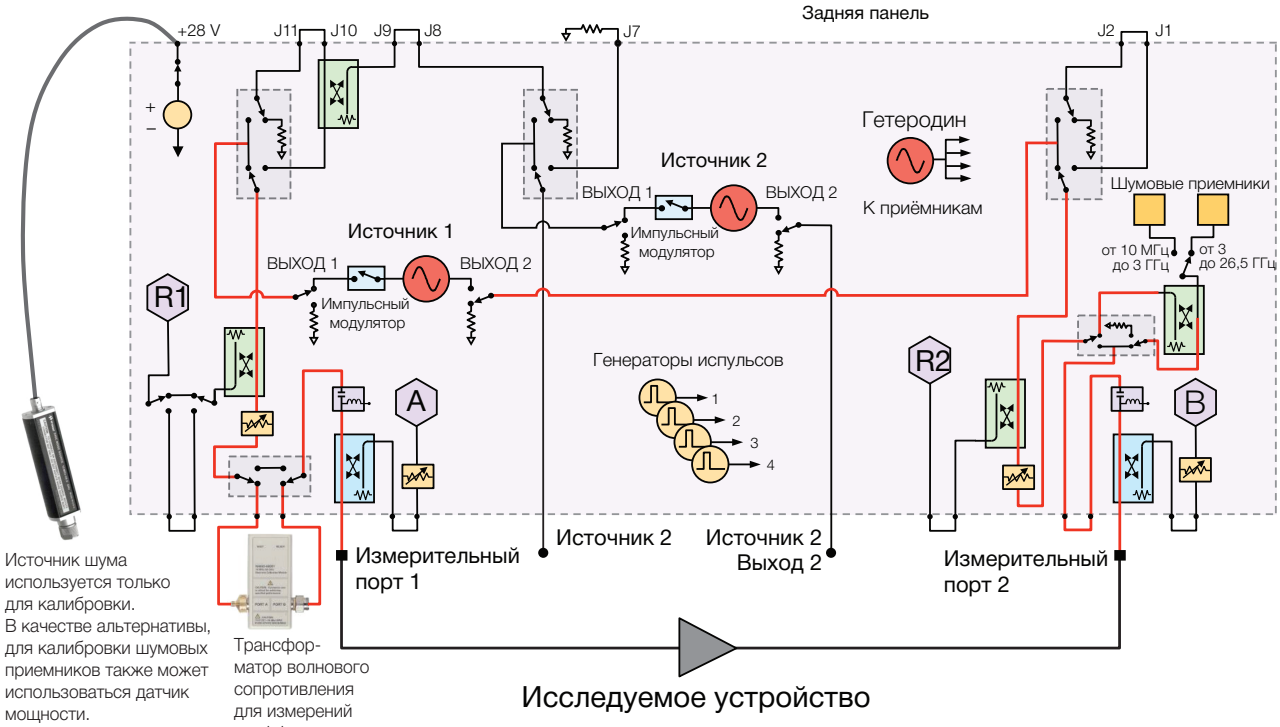
- Использует модифицированный метод холодного источника, исключающий необходимость в источнике шума при измерении параметров ИУ
- Корректирует неидеальное согласование в источнике, используя векторную коррекцию, для устранения погрешности из-за рассогласования. Кроме того, модуль ECal используется как тюнер импеданса для устранения наведённых ошибок при измерении шумовых параметров
- Поддерживает высокую точность при измерении в тестовой оснастке, на пластине или в АИС
- Обеспечивает точность при измерении дифференциальных устройств за счёт использования векторного исключения цепей симметрирующих устройств или противофазных делителей мощности



Измерение дифференциальных устройств путём исключения цепей симметрирующих устройств и противофазных делителей мощности.



При каждом значении частоты проводится четыре или более измерений мощности шума с известными, но не равными 50 Ом, импедансами источника. Используя результаты этих измерений, вычисляется точное значение коэффициента шума, соответствующее импедансу источника 50 Ом.



Источник шума используется только для калибровки. В качестве альтернативы, для калибровки шумовых приемников также может использоваться датчик мощности.

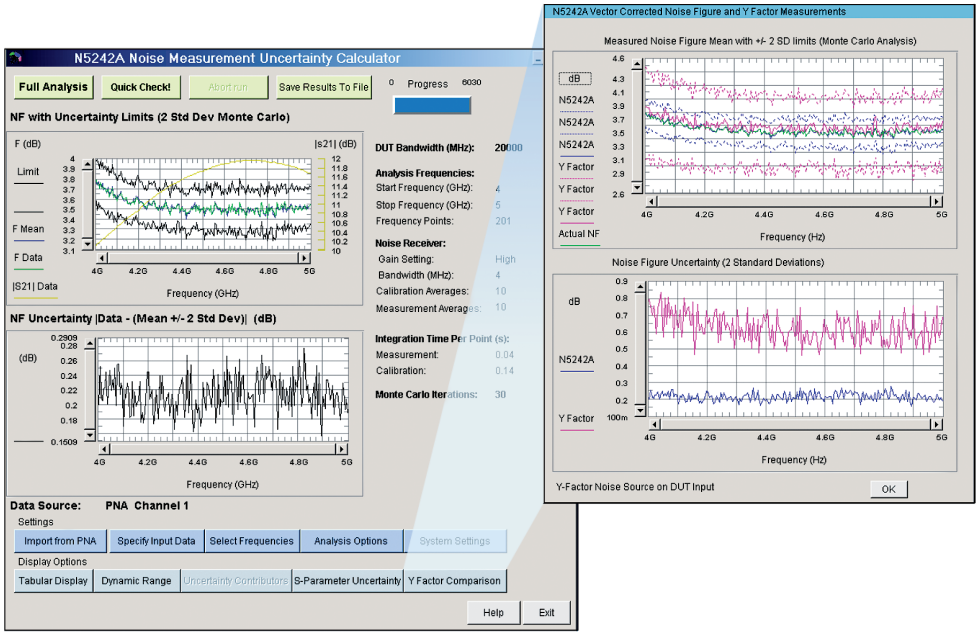
Трансформатор волнового сопротивления для измерений коэффициента шума

Блок-схема двухпортового ВАЦ N5242B серии PNA-X с опциями 224 (измерительный блок) и 029 (высокочувствительный приёмник) для измерений коэффициента шума. Стандартный модуль ECal используется в качестве тюнера импеданса для устранения эффектов, связанных с неполным согласованием в источнике. Модели N5244/45/47B включают встроенный тюнер импеданса.

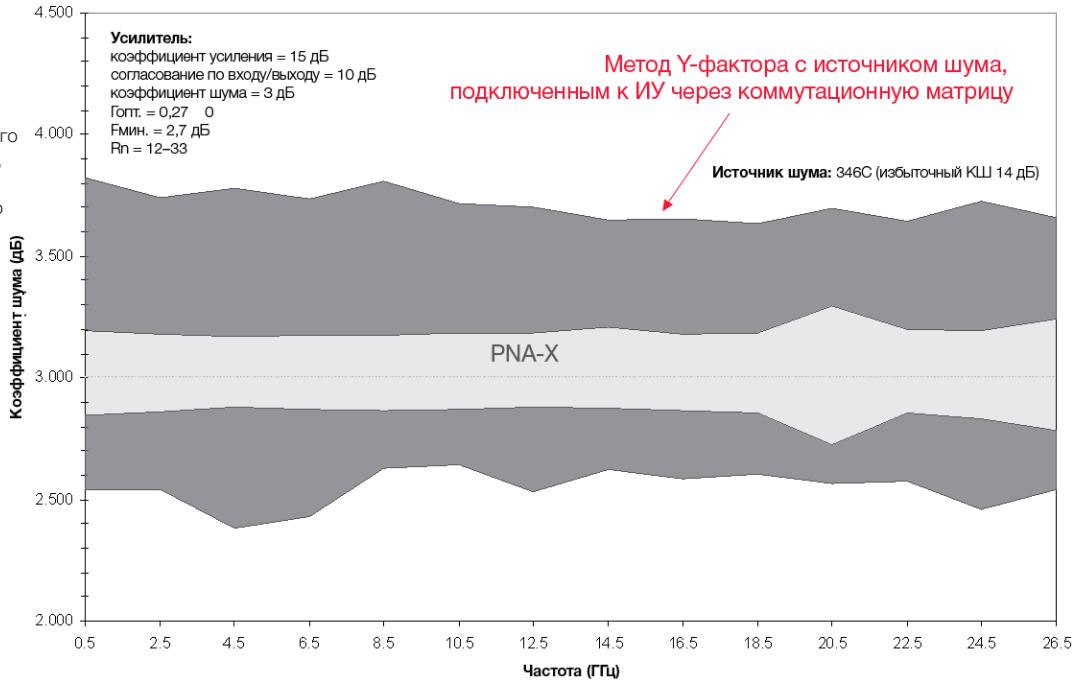
Советы экспертов

- Измерения КШ лучше всего выполнять в экранированной комнате, чтобы исключить влияние помех от мобильных телефонов, беспроводных сетей, портативных радиостанций и т. д.
- Вместо источников питания, работающих от сети, иногда используют батареи, чтобы исключить влияние помех по цепи питания на результаты измерений параметров чувствительных малошумящих усилителей (МШУ)
- Оценка суммарной погрешности измерений может быть произведена с помощью калькулятора погрешности измерений КШ компании Keysight, основанного на методе Монте-Карло.

Калькулятор погрешности измерений КШ для ВАЦ серии PNA-X компании Keysight (www.keysight.com/find/nfcalc) учитывает влияние рассогласования и наведённые ошибки при измерении шумовых параметров, вызванные неполным согласованием в источнике.



Пример расчета погрешности измерений КШ с использованием автоматизированной измерительной системы. Метод коррекции неполного согласования в источнике, используемый PNA-X, обеспечивает значительно более точные результаты измерения, чем метод Y-фактора.



Инновационные измерительные приложения

Быстрые и точные измерения зависимости компрессии коэффициента усиления от частоты для усилителей и преобразователей частоты

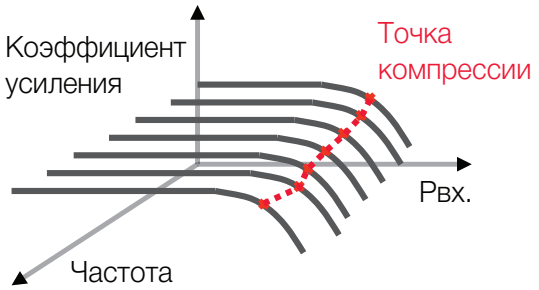
(S93086A)

Проблемы измерений компрессии усиления

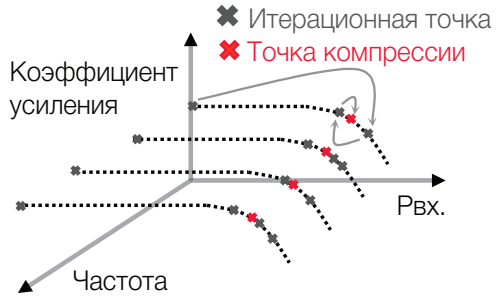
- Измерения компрессии усилителей и преобразователей частоты в пределах их рабочего диапазона частот требуют проведения измерений со свипированием частоты и уровня мощности во многих точках, поэтому настройка параметров измерения, калибровка и обработка данных занимают много времени и усилий.
- Ряд погрешностей ухудшают точность измерений: рассогласование между измерительным портом, преобразователем мощности и испытуемым устройством (ИУ) во время измерения абсолютной мощности, а также использование линейной коррекции ошибок S-параметров при измерении компрессии усиления в нелинейной области.

Приложение для измерений компрессии коэффициента усиления ВАЦ PNA-X (GCA)

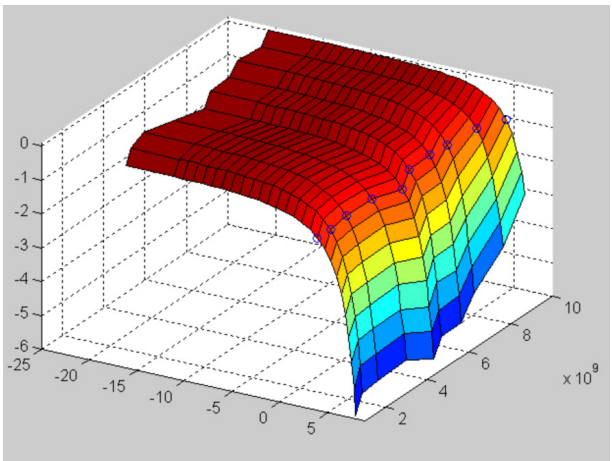
- Быстрые и удобные измерения с использованием режима интеллектуального (SMART) свипирования
- Высокоточные результаты измерений за счёт использования мастера калибровки, обеспечивающего коррекцию уровня мощности и рассогласований
- Полное определение характеристик устройства с помощью одного из вариантов двумерного (2D) свипирования: свипирование уровня мощности при каждом значении частоты или свипирование частоты при каждом значении уровня мощности
- Гибкость за счёт возможности выбора различных методов определения компрессии: относительно линейного коэффициента усиления, относительно максимального коэффициента усиления, относительно уровня возврата, относительно насыщения, с помощью метода X/Y



Для измерений компрессии коэффициента усиления с помощью ВАЦ, как правило, используют режим свипирования уровня мощности на нескольких частотах НГ-сигнала. Приложение для измерений компрессии усиления (GCA) ВАЦ серии PNA-X позволяет провести всесторонний анализ компрессии усиления ИУ во всем диапазоне его рабочих частот с поразительными быстротой и точностью, а также значительно упростить настройки параметров измерений.



Вместо линейного свипирования уровня мощности по множеству точек при интеллектуальном (SMART) свипировании, реализованном в приложении GCA, используется адаптивный алгоритм для определения искомой точки компрессии при каждом значении частоты всего за несколько измерений уровня мощности, что значительно сокращает время измерений.



Полное определение характеристик устройства с помощью двумерного свипирования: зависимость коэффициента усиления от частоты и уровня мощности.

Методы измерения компрессии усиления

Компрессия относительно линейного коэффициента усиления

Линейный коэффициент усиления измеряется с использованием заданного линейного (входного) уровня мощности. Точка компрессии рассчитывается как разность линейного КУ и заданного уровня компрессии усиления.

Компрессия относительно максимального коэффициента усиления

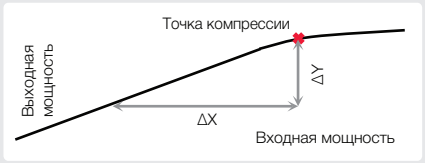
Наибольшее значение коэффициента усиления, определяемое на каждой частоте, используется в качестве максимального коэффициента усиления. Точка компрессии усиления вычисляется как разность максимального КУ и заданного уровня компрессии.

Компрессия относительно уровня возврата

Сравниваются КУ для двух значений входной мощности, которые отличаются на заданную величину уровня возврата ("back off level"). Точка компрессии определяется как наибольшее значение уровня входной мощности, при котором КУ отличается на заданное значение уровня компрессии.

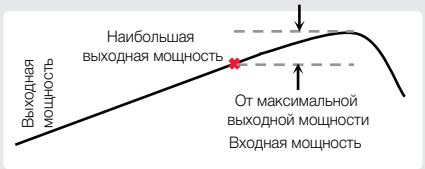
Метод X/Y

Сравниваются уровни выходной мощности при двух значениях входной мощности, которые отличаются на заданную величину ΔX. Точка компрессии определяется как наибольшее значение входной мощности, при котором уровень выходной мощности отличается на заданную величину ΔY.



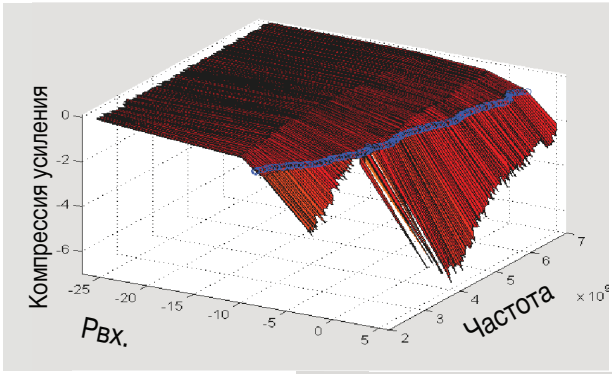
Компрессия относительно насыщения

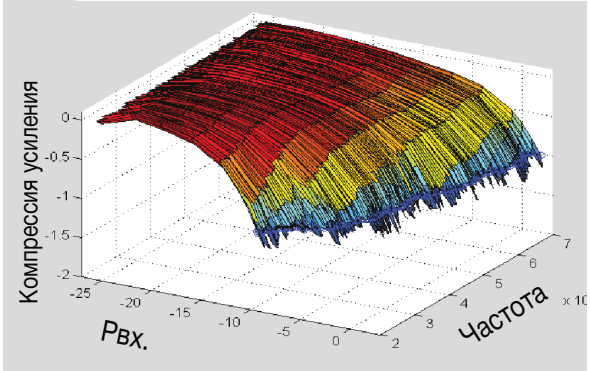
Точка компрессии определяется как разность значения максимальной выходной мощности и значения, заданного как “From Max Pout” (от максимального значения выходной мощности).



Советы экспертов

- Используйте безопасный режим интеллектуального (SMART) свипирования, чтобы увеличение уровня входной мощности происходило сначала большими, а затем малыми шагами с целью предотвращения перегрузки ТУ
- Если имеются сомнения относительно гистерезиса или тепловых эффектов ТУ, рекомендуется использовать свипирование частоты при каждом значении уровня мощности, а не свипирование уровня мощности при каждом значении частоты, либо добавить время выдержки, чтобы уменьшить влияние эффектов от предыдущих измерений
- Функция анализа компрессии выделяет отклик ИУ в диапазоне мощности для заданной частотной точки на любом графике компрессии
- Используйте отсчёты CompAI1 и CompAI2 внутреннего вольтметра, синхронизированные относительно точки компрессии для измерения КПД добавленной мощности (PAE) при компрессии для каждого значения частоты





Исходные измеренные данные при интеллектуальном (SMART) свипировании, когда безопасный режим (Safe Mode) выключен (вверху) и включён (внизу). В последнем случае используется больше итераций, поскольку коэффициент усиления приближается к точке компрессии на 1 дБ при включённом безопасном режиме, который минимизирует избыточную мощность возбуждения.

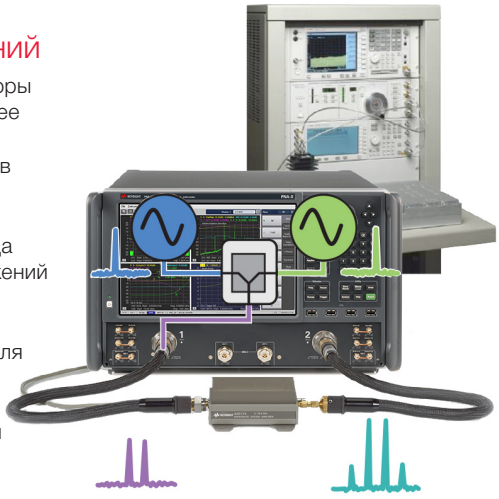
Инновационные измерительные приложения

Быстрые измерения интермодуляционных искажений с помощью двухтонального сигнала и простой установки

(S93087A)

Проблемы измерений интермодуляционных искажений

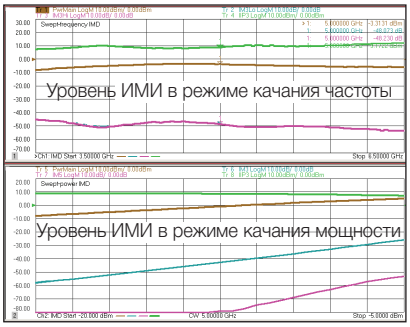
- Наиболее часто используются генераторы сигналов, анализатор спектра и внешнее устройство суммирования, при этом требуется ручная установка параметров измерения для всех измерительных приборов и принадлежностей
- Время тестирования замедляется, когда измерения интермодуляционных искажений проводятся в режиме свипирования частоты/уровня мощности
- Измерительные приборы и установки для испытаний часто вносят значительные погрешности измерений из-за гармоник, генерируемых источником, перекрёстной модуляции и фазового шума, а также компрессии коэффициента усиления и уровня собственных шумов приёмника



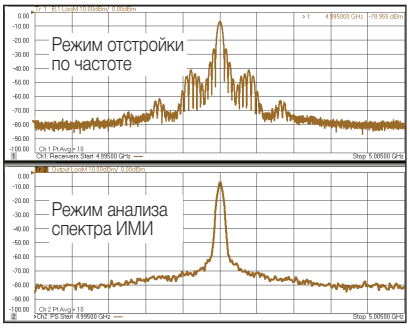
PNA-X с приложением IMD заменяет два генератора сигналов и анализатор спектра в стойке измерительной установки, упрощая ее конфигурацию и повышая производительность испытаний.

PNA-X с приложением для измерения интермодуляционных искажений (IMD) обеспечивает:

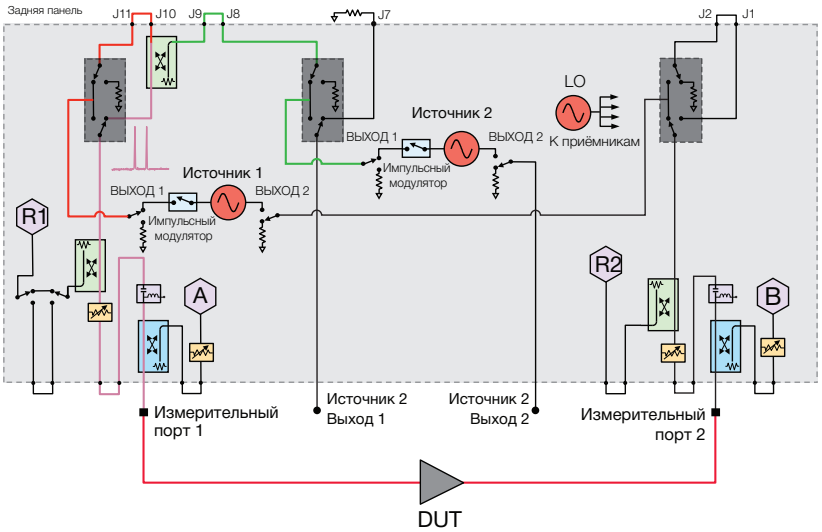
- Быстрые измерения интермодуляционных искажений усилителей и устройств с преобразованием частоты в режиме свипирования с использованием внутреннего сумматора сигналов и двух внутренних источников сигналов
- Быстрые и удобные измерения с упрощенной установкой параметров приборов и интуитивно-понятным интерфейсом пользователя
- Управляемая калибровка упрощает проведение процедуры калибровки и обеспечивает высокую точность измерений
- Режим анализатора спектра для поиска неисправностей или измерения паразитных составляющих, исключающий необходимость в отдельном анализаторе спектра
- Очень низкий уровень гармоник внутренних источников сигналов и широкий динамический диапазон приёмников, за счёт чего минимизируются погрешности измерения, возникающие при использовании других измерительных приборов



Приложение IMD измеряет продукты интермодуляционных искажений и точку пересечения третьего порядка, используя 201 точку при свипировании частоты (или уровня мощности), за считанные секунды, в то время как при использовании генераторов и анализатора спектра потребуется несколько минут.

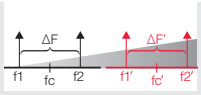
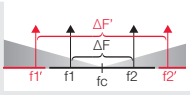
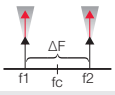
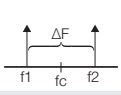
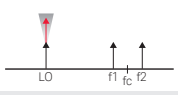
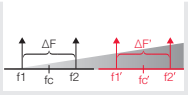


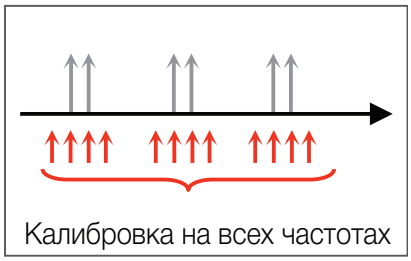
Режим смещения частоты, как правило, имеется в векторных анализаторах цепей, но у традиционных фильтров ПЧ обнаруживаются заметные боковые лепестки. Режим отображения спектра интермодуляционных искажений (IM Spectrum mode) использует оптимизированный цифровой фильтр ПЧ и обеспечивает реальную возможность измерения в режиме анализа спектра в PNA-X.

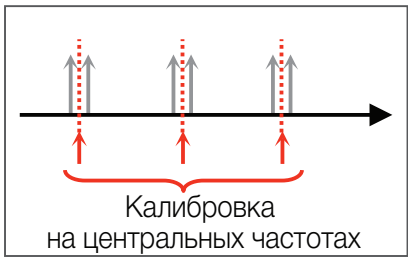


Два внутренних источника сигналов с высоким выходным уровнем мощности, широким диапазоном АРМ, уровнем гармоник ниже -60 дБн и схемой суммирования сигналов с высокой изоляцией делают PNA-X идеальным измерительным прибором для возбуждения ТУ при измерении интермодуляционных искажений с помощью двухтонального сигнала. Приёмники с широким динамическим диапазоном и высокими точками компрессии позволяют проводить точные измерения продуктов интермодуляционных искажений малой мощности в присутствии основных тонов значительно более высокой мощности.

Виды свипирования при измерении интермодуляционных искажений в режиме свипирования

	Свипирование центральной частоты (fc)	Свипирование разноса тонов (ΔF)	Свипирование мощности	Непрерывная генерация	Свипирование мощности гетеродина	Сегментированное свипирование
Центральная частота	Свипируемая	Фиксированная	Фиксированная	Фиксированная	Фиксированная	Свипируемая (как определено таблицей сегментов)
Разнос частот тонов	Фиксированный	Свипируемый	Фиксированный	Фиксированный	Фиксированный	Фиксированный
Мощности тонов	Фиксированные	Фиксированные	Свипируемые (связанные или несвязанные)	Фиксированные	Фиксированные	Фиксированные
Диаграммы						

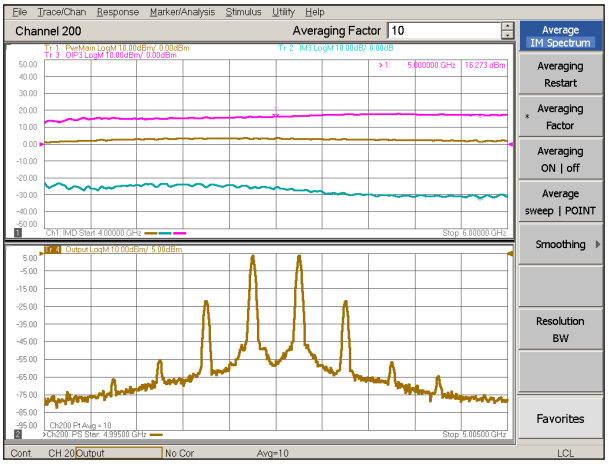




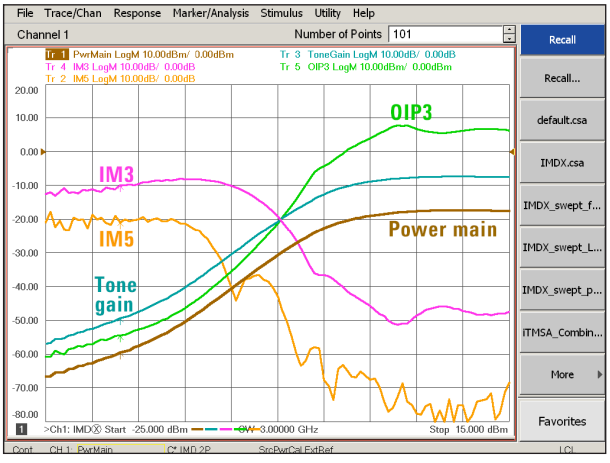
Советы экспертов

- Выбор калибровки на всех частотах измерения или только на центральных частотах является компромиссом между производительностью и точностью измерений
- Для значительного упрощения измерения интермодуляционных искажений смесителей и преобразователей частоты в режиме свипирования следует управлять внешними генераторами сигналов от PNA-X
- С целью отображения спектра в заданной точке графика измерения интермодуляционных искажений в режиме свипирования следует использовать маркер для функции IM Spectrum
- Для уменьшения девиации уровня собственных шумов с минимальным влиянием на скорость измерений, особенно при использовании широких полос пропускания при работе со спектром интермодуляционных искажений (IM Spectrum), следует использовать усреднение по точкам

При измерении с большим разносом по частоте тонов рекомендуется использовать калибровку на всех частотах. Хотя калибровка на всех частотах и займет больше времени, на скорость дальнейших измерений это не повлияет.



Спектр интермодуляционных искажений (IM Spectrum) в нижнем окне отображает спектр, соответствующий положению маркера в центре графика измерения интермодуляционных искажений в режиме свипирования (в верхнем окне). Для уменьшения девиации шума к спектру IM Spectrum применяется усреднение по точкам.



Зависимость интермодуляционных искажений и точки пересечения третьего порядка (IP3) от мощности сигнала гетеродина позволяет получить максимальное значение IP3 при наименьшей возможной мощности возбуждения гетеродина. Это помогает определить параметры оптимального режима работы смесителя для достижения максимальной эффективности при минимальном потреблении мощности.

Инновационные измерительные приложения

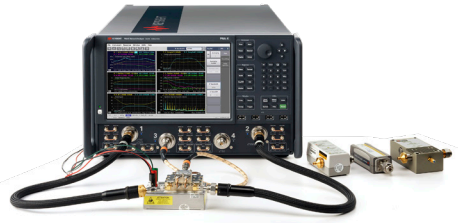
Точные измерения параметров смесителей и преобразователей частоты

(S93082/083/084A)

Проблемы измерений параметров смесителей и преобразователей частоты

- При традиционном подходе используются измерительные установки на базе анализатора спектра и внешних источников сигналов, они громоздки и не обеспечивают высокого быстродействия, а также не дают информации о фазе или групповом времени запаздывания (ГВЗ) сигналов.
- Обычным ВАЦ для таких измерений требуется внешний источник сигналов, применение которого снижает скорость свипирования.
- Измерения фазы и ГВЗ с использованием обычных ВАЦ проводятся относительно образцового устройства.
- Для уменьшения неравномерности, связанной с рассогласованием по входу и выходу, как правило, используются аттенюаторы, ухудшающие динамический диапазон и стабильность калибровки.

SMC+Phase

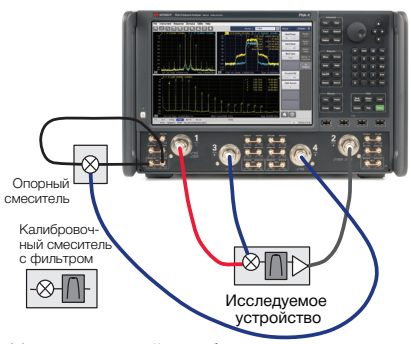


Приложение S93083A для измерений скалярных параметров смесителей/преобразователей частоты и их фазовых характеристик (SMC+Phase) значительно упрощает процедуры подготовки и выполнения измерений, поскольку не требует применения опорных и калибровочных смесителей. Процедура калибровки крайне проста, для ее выполнения требуется три широкополосных образцовых меры: измеритель мощности в качестве меры уровня мощности, генератор комбинационных частот в качестве меры фазы и калибровочный комплект S-параметров (механический или модуль ECal).

Приложения для измерения параметров преобразователей частоты PNA-X обеспечивают:

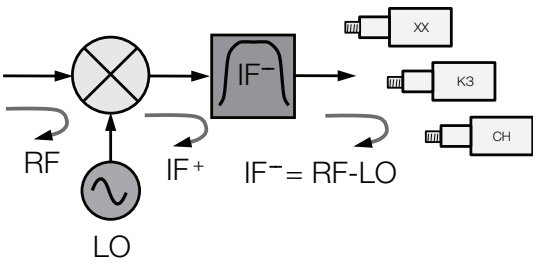
- простоту настроек и схемы измерений с использованием второго внутреннего источника сигналов в качестве гетеродина;
- выигрыш по времени выполнения измерений в 100 раз в сравнении с подходом, основанном на использовании анализатора спектра;
- высокую точность измерений благодаря использованию двух патентованных методов:
  - Метод скалярной калибровки смесителей/преобразователей частоты (SMC) обеспечивает согласование и самые точные измерения потерь/усиления преобразования за счёт объединения 2-портовой калибровки и калибровки по измерителю мощности (S93082A), а также (с S93083A) калиброванные измерения абсолютного ГВЗ без опорного или калибровочного смесителя
  - Метод векторной калибровки смесителей/преобразователей частоты (VMC) обеспечивает измерения согласования, потерь/усиления преобразования, абсолютного ГВЗ, разности фаз между несколькими трактами или устройствами и фазовых сдвигов внутри устройства, используя калибровочный смеситель, характеристики которого были определены во время векторной калибровки (S93083A)
- Коррекция рассогласования по входу и выходу уменьшает неравномерность характеристики и исключает необходимость в аттенюаторах
- Приложение S93084A (измерение параметров преобразователей частоты со встроенным гетеродином) распространяет возможности измерений с SMC и VMC на преобразователи со встроенным гетеродином без доступа к внутренним временным базам

VMC

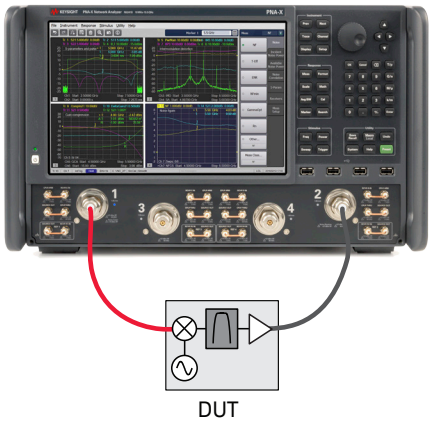


Метод векторной калибровки смесителя (VMC) обеспечивает измерения согласования по входу и выходу, потерь/усиления преобразования, абсолютного ГВЗ, разности фаз между несколькими трактами или устройствами и фазовых сдвигов внутри устройства.

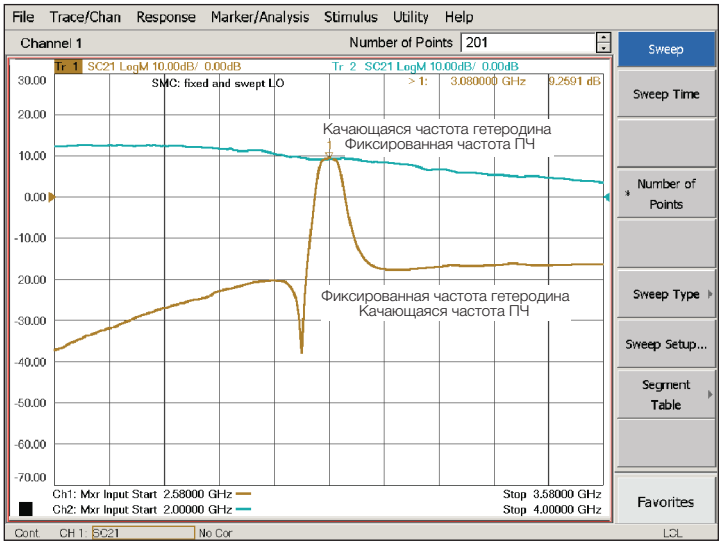
Калибровочный смеситель в паре с фильтром



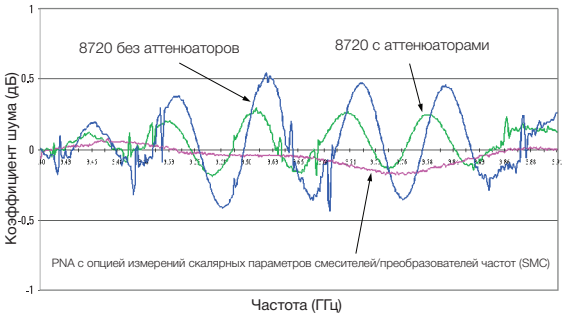
Патентованный метод векторной калибровки смесителей/преобразователей частоты (VMC) компании Keysight использует меры холостого хода (XX), короткого замыкания (КЗ) и согласованной нагрузки (СН) для определения характеристик калибровочного смесителя.



Для измерения преобразователей частоты со встроенными гетеродинами без доступа к внутренним временным базам можно использовать как метод скалярной калибровки смесителей (SMC), так и метод векторной калибровки смесителей (VMC).



Имея два внутренних источника сигналов, PNA-X обеспечивает быстрые измерения как при фиксированной, так и свипируемой частоте ПЧ.

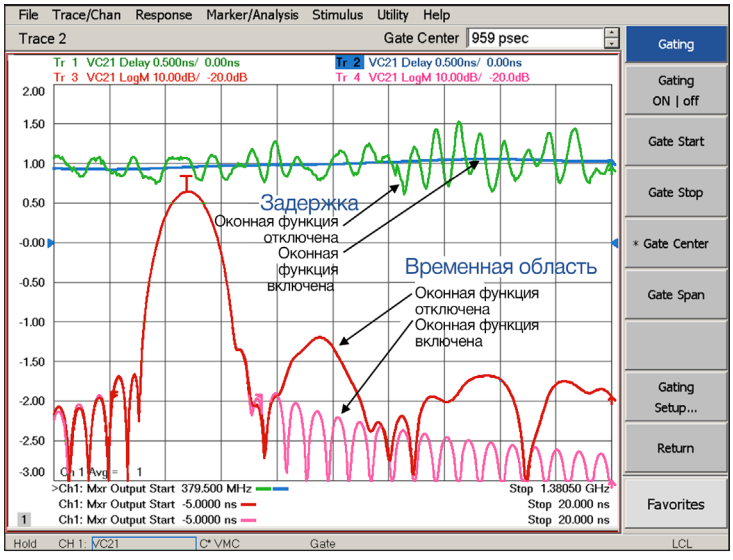


Коррекция согласования скалярной калибровки смесителя (SMC) позволяет значительно уменьшить погрешность из-за рассогласования при измерениях потерь/усиления преобразования, исключая необходимость использования аттенюаторов на концах измерительных кабелей.

Коррекция согласования векторной калибровки смесителя (VMC) позволяет значительно уменьшить погрешность из-за рассогласования при измерениях ГВЗ, устраняя необходимость использования аттенюаторов на концах измерительных кабелей.

Советы экспертов

- Сужение полосы ПЧ помогает исключить выбросы на графике измерения, которые происходят вследствие проникновения сигнала гетеродина и других паразитных сигналов от ИУ
- Для предотвращения ошибок из-за отсутствия стабилизации мощности источника при измерении параметров устройств с паразитными откликами высокого уровня на выходе (таких как смесители без фильтрации), часто полезно увеличить величину ослабления сигнала источника, чтобы обеспечить лучшую изоляцию между ИУ и PNA-X
- При измерении параметров многокаскадных преобразователей частоты с использованием VMC лучше всего создать единый “метасигнал” гетеродина, который можно использовать для возбуждения опорного и калибровочного смесителей
- При измерении параметров смесителей без фильтрации селекция во временной области может оказаться полезным средством для уменьшении неравномерности характеристики посредством удаления нежелательных, задержанных во времени откликов из-за паразитных сигналов

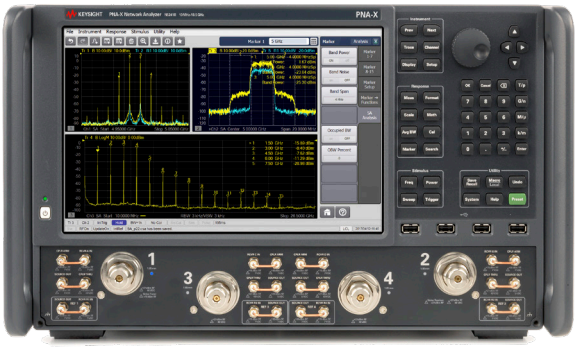


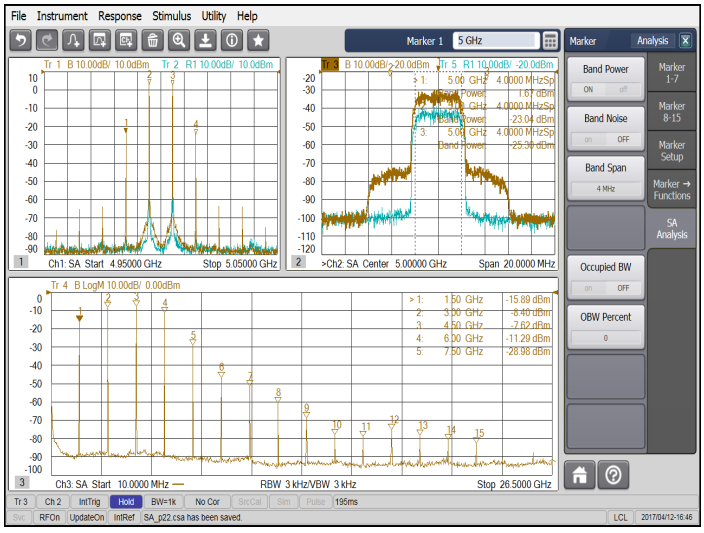
Селекция во временной области позволяет устранить неравномерность характеристики посредством удаления нежелательных, задержанных во времени, откликов из-за паразитных сигналов.

Инновационные измерительные приложения

Быстродействующий многоканальный анализатор спектра для измерений параметров компонентов

(S93090x/093/094A)





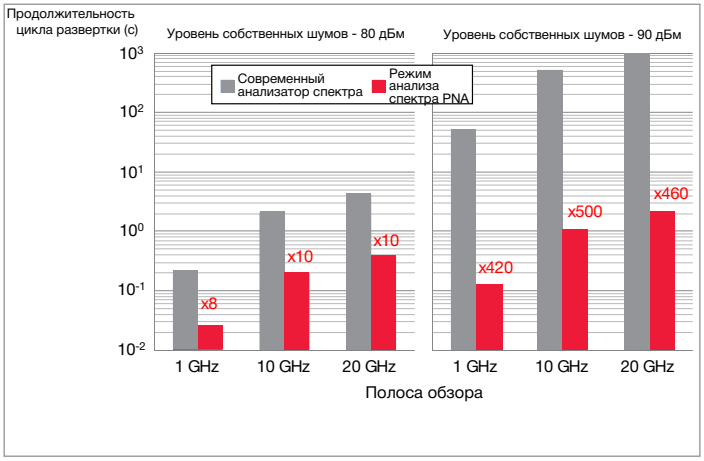
Опция спектрального анализа добавляет PNA-X возможности быстрого поиска паразитных сигналов, заменяя в измерительных системах для контроля параметров компонентов анализатор цепей и матричный коммутатор.

Проблемы спектрального анализа при исследованиях характеристик компонентов

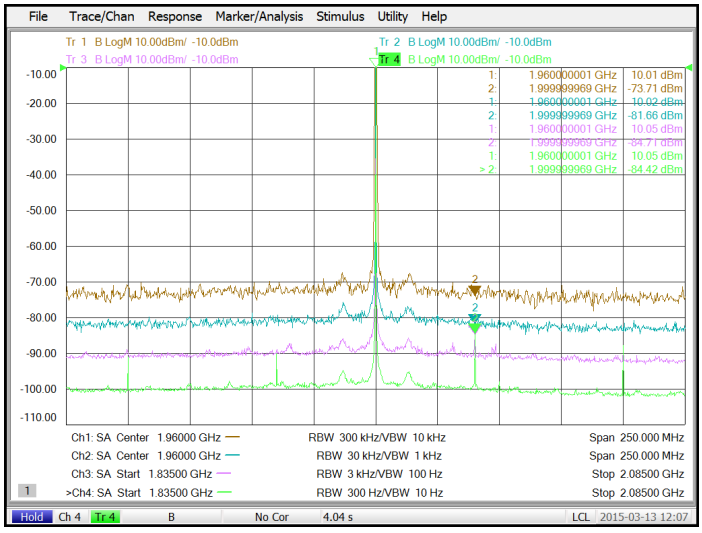
- Измерения параметров паразитных сигналов отнимают много времени, особенно при поиске низкоуровневых паразитных составляющих в широком диапазоне частот
- Большие временные затраты на измерения могут вынудить сократить объем испытаний
- Измерения параметров паразитных сигналов в рабочем диапазоне частот ИУ является трудоемким процессом, либо требуют использования внешних управляющих программ.

Приложение анализатора спектра PNA-X обеспечивает:

- Быстрый поиск паразитных сигналов в широком диапазоне частот
- Многоканальный режим анализа спектра с использованием внутренних генераторов в режиме свипирования частоты для эффективного анализа паразитных сигналов смесителей и преобразователей частоты
- Измерения спектра в тестовой оснастке с использованием методов калибровки и исключения цепей, применяемых векторным анализаторов цепей
- Быстрые измерения уровня мощности в заданной полосе частот и шума
- Добавление возможностей анализа спектра к перечню видов измерений, которые PNA-X может выполнять за одно подключение

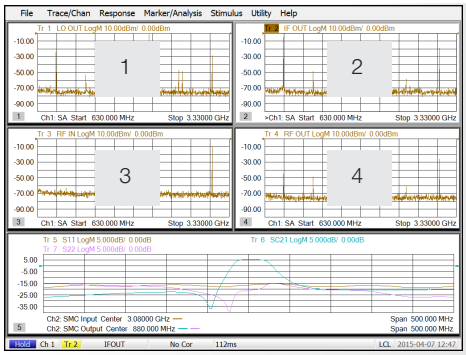


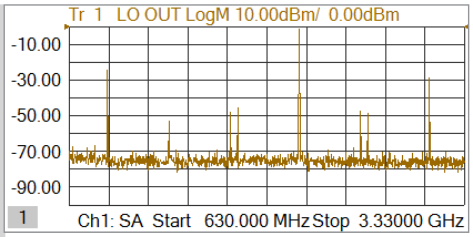
Зависимость времени свипирования от ширины полосы обзора при центральной частоте 12 ГГц для значений уровня собственных шумов -80 дБм и -90 дБм. Для недопущения вхождения приемника в режим компрессии при использовании сигнала с уровнем + 10 дБм установливается аттенюатор приемника.



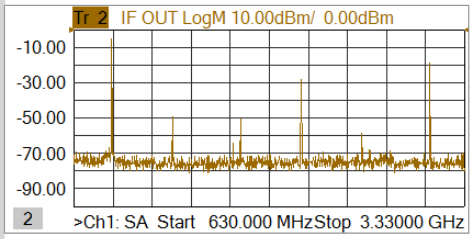
На рисунке выше показаны результаты измерений параметров паразитного сигнала с уровнем -84 дБм на фоне сигнала с уровнем +10 дБм. Отношении сигнал/шум (сверху вниз) примерно равно (при полосе пропускания) 80 дБ (300 кГц), 90 дБ (30 кГц),100 дБ (3 кГц) и 110 дБ (300 Гц).

Многоканальный анализ спектра



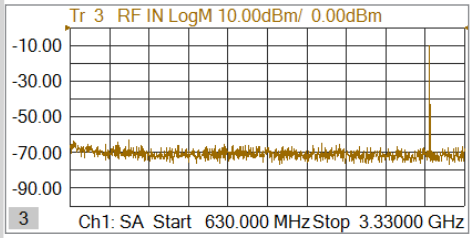


Спектр выходного сигнала на порте гетеродина



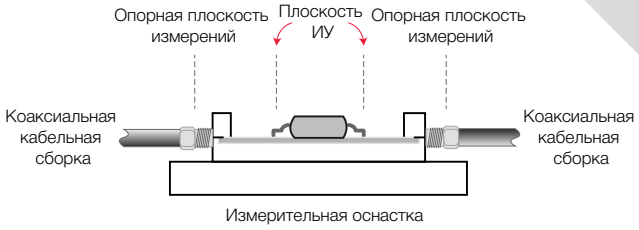
Спектр выходного сигнала на порте ПЧ

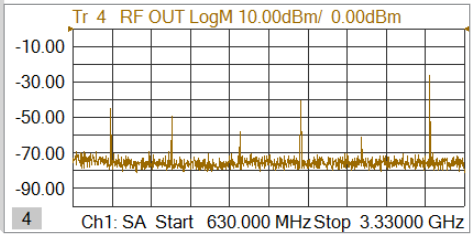
Наличие анализаторов спектра на всех портах смесителя или преобразователя частоты обеспечивает беспрецедентные возможности при исследовании характеристик устройства. За одну серию подключений можно провести анализ паразитных сигналов, возникающих на всех портах в процессе работы с фиксированными или свипируемыми испытательными сигналами. Измеряемые паразитные сигналы могут включать проникающие ВЧ-сигналы, сигналы гетеродина и ПЧ, гармоники, интермодуляционные составляющие и другие продукты смешения более высоких порядков. Характеристики зависимости потерь преобразования и согласования от частоты можно увидеть в канале измерения со скалярной калибровкой (внизу).



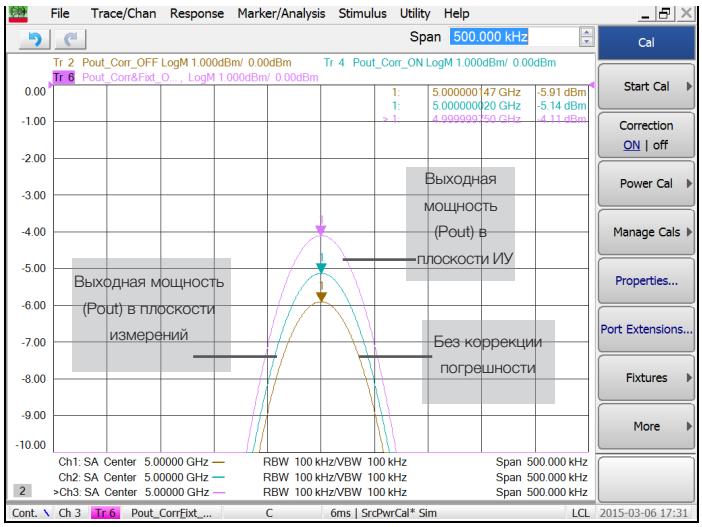
Спектр входного сигнала на ВЧ-порте

Измеряйте истинные параметры устройств с помощью методов калибровки ВАЦ





Спектр выходного сигнала на ВЧ-порте



Калибровка ВАЦ и применение функции исключения цепей ВАЦ устраняют влияние на результаты измерений кабелей и измерительных приспособлений, а также корректируют АЧХ приемника, обеспечивая калиброванные измерения параметров спектра с использованием оснастки.

Советы экспертов

- Выберите разные уровни программного подавления зеркальных составляющих для достижения компромисса между скоростью и точностью измерения на основе спектральной плотности измерения.
- При измерении гармоник добавьте отдельный канал анализатора спектра (SA) для каждой гармоники, используя узкую полосу обзора и узкую полосу пропускания для оптимизации скорости и чувствительности измерения, а также достаточное ослабление приёмника для подавления гармоник, генерируемых внутри приёмника.
- Чтобы помочь идентифицировать паразитные сигналы, которые могут повлиять на результаты измерений, используйте функцию Marker-to-SA для удобного создания отображения спектра при одних и тех же условиях формирования испытательных сигналов в положении маркера в канале измерения со скалярной калибровкой, канале измерения интермодуляционных искажений со свипированием частоты или в стандартных каналах.
- При использовании функции исключения цепей тестовой оснастки для измерения параметров ИУ в тестовой оснастке или на пластине используйте функцию компенсации потерь мощности для учёта потерь в тестовой оснастке или пробниках, подавая таким образом на ИУ испытательный сигнал с известным уровнем мощности.

Инновационные измерительные приложения

Управление относительной амплитудой и фазой между двумя источниками зондирующих сигналов для активного управления выходной нагрузкой

(S93088A)

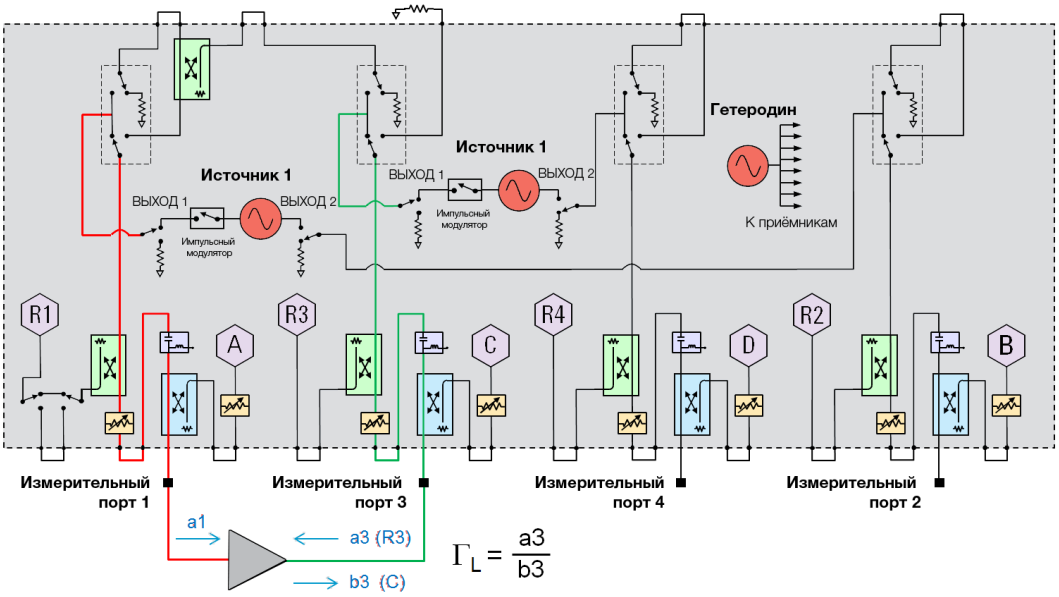
Проблемы измерений параметров усилителей при изменяемом импедансе нагрузки ("load-pull")

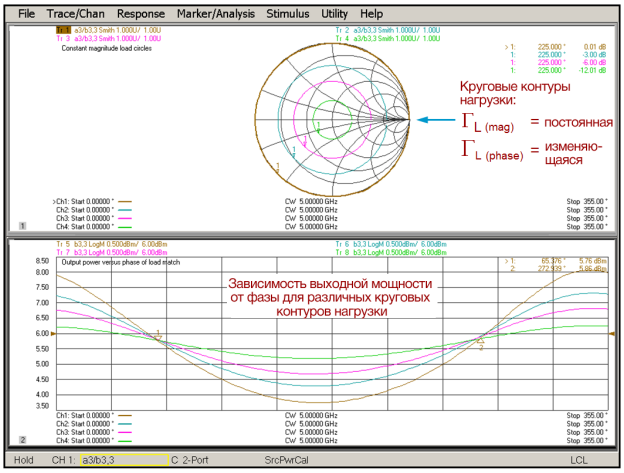
- Коэффициент усиления, выходная мощность и коэффициент полезного действия (КПД) усилителя обычно измеряются при различных условиях выходной нагрузки для оптимального согласования в режиме большого сигнала
- Традиционно для подобных измерений применяют механические согласующие устройства (механические тюнеры), которые способны управлять высокой мощностью, но не обеспечивают высокой скорости измерений и не могут замещать нагрузки с высоким коэффициентом отражения

PNA-X с приложением контроля фазы источников зондирующих сигналов обеспечивает:

- Управление вторым источником для электронной настройки коэффициента отражения на выходе усилителя
- Высокая скорость настройки и полное отражение
- Коррекция согласования для точного управления амплитудой и фазой
- Измерения выходной мощности, согласования, коэффициента усиления и КПД добавленной мощности (PAE) усилителя при различных режимах нагрузки

Формирование произвольных значений импеданса выходной нагрузки путем управления амплитудой и фазой сигнала, поступающих из порта 3, и одновременной подачи на испытуемое устройство (ИУ) сигнала, поступающего из порта 1.





Пример круговых диаграмм нагрузки, сгенерированных посредством поддержания постоянного значения амплитуды импеданса нагрузки Γ_L в процессе свипирования фазы.

Советы экспертов

- Измерительные установки могут использовать обозначения приёмников (R3, C...) или сигналов (a3, b3…)
- Используйте редактор формул для расчёта мощности, подаваемой на нагрузку (мощность в прямом направлении - мощность в обратном направлении), с помощью следующего выражения: sqrt(pow(mag(b3_3),2) - pow(mag(a3_3),2))
- Используйте механические тюнеры и внешнее программное обеспечение для гибридных систем с изменяемым импедансом нагрузки, которые могут управлять высокой мощностью и достигать полного отражения
- При использовании внешних источников сигналов подключите измерительные приборы к общему сигналу опорной частоты 10 МГц

Инновационные измерительные приложения

Простые измерения параметров I/Q-преобразователей и модуляторов, а также дифференциальных смесителей

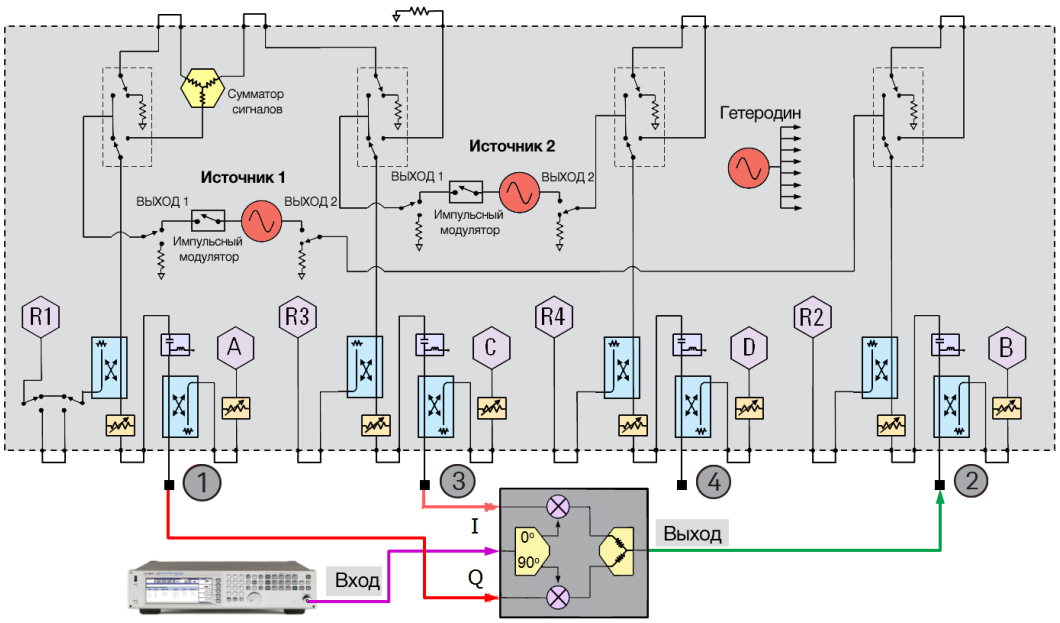
(S93089A)

Проблемы измерений параметров I/Q- и дифференциальных преобразователей

- Требуется формировать сигналы с разностью фаз 90° или 180°
- Традиционный подход основан на использовании гибридных ответвителей и/или симметрирующих трансформаторов, обладающих следующими свойствами:
  - по своей сути являются узкополосными устройствами и для перекрытия широкого диапазона измерений потребуется множество подобных устройств
  - обеспечивают только фиксированные значения разности фаз, что исключает свипирование фазы для определения оптимальной настройки
  - вносят потери и дополнительные погрешности (как правило, от ± 3° до ± 12°)
  - трудно использовать для измерений на пластинах

Приложение для измерения параметров дифференциальных и I/Q-устройств PNA-X

- Обеспечивает точное управление фазой внутренних и внешних источников сигналов, исключая необходимость применения гибридных ответвителей и симметрирующих трансформаторов
- Позволяет перестраивать приемники на все заданные пользователем выходные частоты, что необходимо для полного определения параметров ИУ
- Использует свипирование частоты для измерения рабочей полосы пропускания или свипирование фазы и уровня мощности на фиксированной частоте для измерения сдвига по фазе на 90° или разбаланса дифференциальных сигналов
- Включает измерения мощности с коррекцией рассогласования для достижения наивысшей точности



Сигналы на I/Q-входы модулятора можно подавать непосредственно с выходов внутренних источников сигналов анализатора цепей PNA-X, исключая тем самым необходимость использования гибридных ответвителей со сдвигом фаз между выходными каналами 90°.

Советы экспертов

- Два дополнительных внешних источника сигналов можно использовать для создания дифференциальных сигналов, подаваемых на I/Q-входы. Выходные сигналы этих двух внешних источников следует направить через измерительный порт анализатора цепей PNA-X к измерительным приёмникам, чтобы добиться требуемой разности фаз
- При измерениях параметров I/Q-модуляторов выходные напряжения источников питания постоянного тока или источников/измерителей (SMU) могут направляться через втулки подачи смещения к I/Q-входам ИУ. Чтобы помочь определить оптимальные значения смещений напряжения для I/Q-входов с целью максимального подавления сигнала гетеродина, можно выполнить свипирование напряжения
- Измеряйте уровни гармоник и суммарный коэффициент гармоник (THD) дифференциальных усилителей путём создания истинных дифференциальных испытательных сигналов и настройки приёмников PNA-X на все требуемые гармоники
- Измеряйте параметры компрессии дифференциальных смесителей, используя свипирование мощности

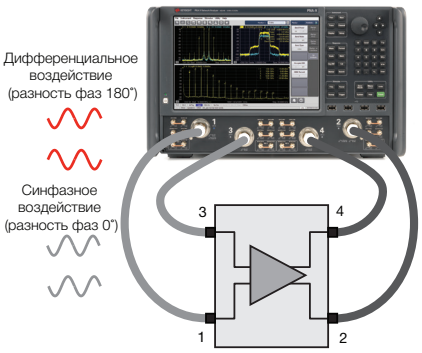
Инновационные измерительные приложения

Испытания дифференциальных усилителей в реальных условиях эксплуатации

(S93460A)

Проблемы измерений параметров дифференциальных усилителей

- Традиционные двухпортовые ВАЦ с симметрирующими трансформаторами не обеспечивают измерения характеристик в синфазном режиме, преобразование характеристик дифференциального режима в характеристики синфазного режима и наоборот
- Трансформаторы по своей сути являются узкополосными устройствами, поэтому для перекрытия широкого диапазона частот нужно несколько испытательных установок
- Фазовые ошибки трансформаторов приводят к погрешностям при измерении дифференциальных характеристик
- Современные 4-портовые ВАЦ обеспечивают измерения S-параметров смешанного режима, используя несимметричные испытательные сигналы, однако дифференциальяные усилители могут реагировать иначе, находясь в состоянии компрессии в реальных условиях эксплуатации



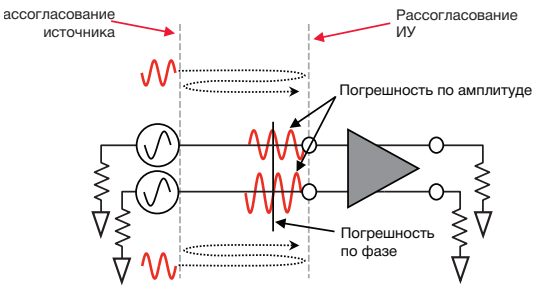
Используя два внутренних источника PNA-X, приложение iTMSA подаёт испытательные сигналы на дифференциальный усилитель в соответствии с реальными рабочими условиями, обеспечивая точное измерение S-параметров смешанного режима при всех условиях эксплуатации.

Приложение для измерения параметров дифференциальных устройств (iTMSA) PNA-X обеспечивает:

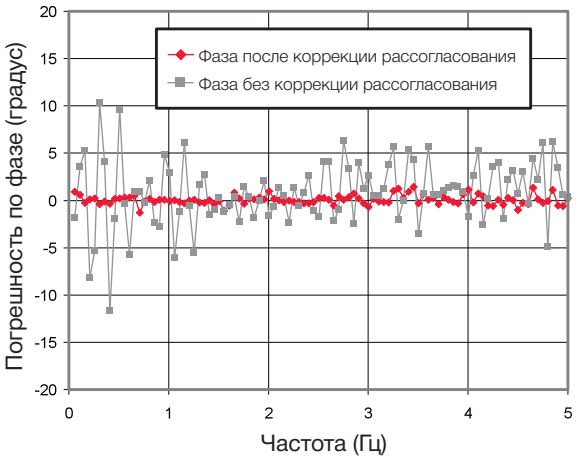
- Измерения S-параметров смешанного режима дифференциальных усилителей, возбуждаемых истинными дифференциальными и синфазными сигналами
- Коррекцию рассогласования на входе ИУ для минимизации фазовых ошибок между двумя источниками
- Режим возбуждения только по входу для предотвращения повреждения усилителей испытательными сигналами на выходном порте
- Возможность установки произвольного смещения фазы и свипирования смещения фазы при измерении в тестовой оснастке для оптимизации входной согласующей цепи с целью получения максимального коэффициента усиления

$$\begin{bmatrix} S_{DD\,11} & S_{DD\,12} & S_{DC\,11} & S_{DC\,12} \\ S_{DD\,21} & S_{DD\,22} & S_{DC\,21} & S_{DC\,22} \\ S_{CD\,11} & S_{CD\,12} & S_{CC\,11} & S_{CC\,12} \\ S_{CD\,21} & S_{CD\,22} & S_{CC\,21} & S_{CC\,22} \end{bmatrix}$$

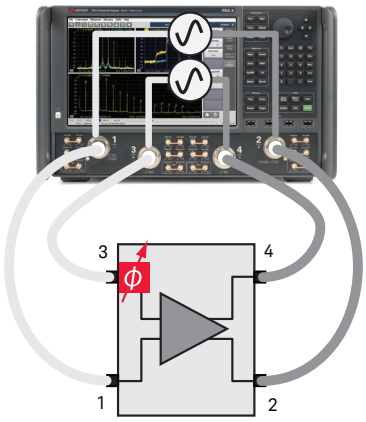
S-параметры смешанного режима



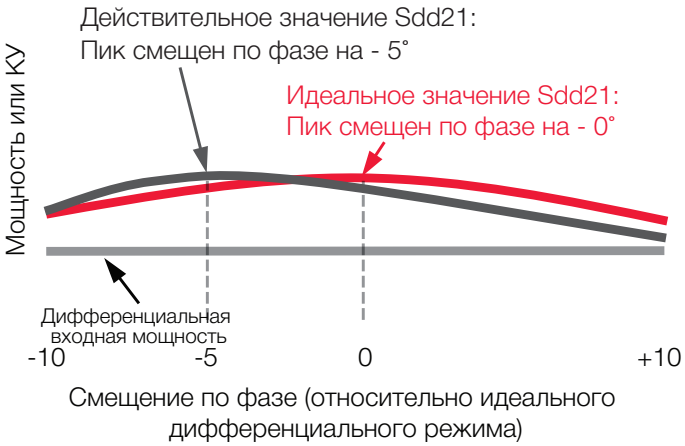
Без коррекции рассогласования сигналы, передаваемые к ИУ, не будут по-настоящему дифференциальными из-за отражений от входа ИУ и последующих повторных отражений от источников. Отраженные сигналы накладываются на исходные, вызывая фазовый и амплитудный дисбаланс. Эффект может быть устранен посредством коррекции рассогласования.



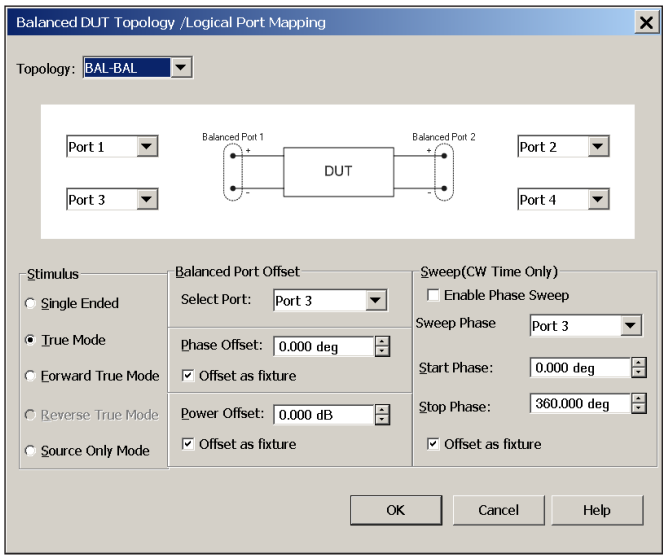
Приложение iTMSA компенсирует ошибки рассогласования путём предварительного измерения согласования ВАЦ и ИУ и последующей точной настройки амплитуды и фазы двух сигналов в опорной плоскости для получения идеальных истинных испытательных сигналов.



При измерениях со свипированием смещения фазы значение смещения фазы изменяется, как если бы оно было добавлено в тестовой оснастке, что позволяет оценить правильность входной схемы согласования.



Измерения параметров ИУ со свипированием смещения фазы в тестовой оснастке позволяет выявить оптимальное значение смещения фазы для достижения наивысшего коэффициента усиления, что крайне необходимо при разработке входной схемы согласования.



В диалоговом окне "Balanced DUT Topology" (топология испытуемого балансного устройства) доступны различные настройки режимов входного воздействия и режимов свипирования, которые позволяют правильно настроить параметры прибора для измерения характеристик ИУ.

Советы экспертов

- Режим возбуждения только по входу с использованием истинных испытательных сигналов предполагает, что имеется идеальное согласование между выходом ИУ и измерительными портами векторного анализатора цепей. Это можно допустить, если у ИУ хорошая развязка входа от выхода. Если развязка недостаточная, то добавление аттенюаторов на выходном порте улучшит согласование и уменьшит ошибки рассогласования.
- При сравнении результатов измерений с использованием несимметричных испытательных сигналов и истинных испытательных сигналов при одной и той же подаваемой эффективной дифференциальной мощности следует учитывать, что мощность истинного дифференциального испытательного сигнала, подаваемого на отдельный порт, должна быть установлена на 6 дБ меньше, чем в случае несимметричного испытательного сигнала.

Несимметричный испытательный сигнал
0 дБм (мощность, подаваемая на порт) = -3 дБм (мощность дифференциальной составляющей) + -3 дБм (мощность синфазной составляющей)

Истинный дифференциальный испытательный сигнал
-3 дБм (мощность, подаваемая на порт) = -6 дБм (мощность несимметричного сигнала, подаваемого на порт 1) + -6 дБм (мощность несимметричного сигнала, подаваемого на порт 3)

Инновационные измерительные приложения

Эффективное, быстрое и точное автоматическое устранение влияния тестовой оснастки (AFR)

(S93007A)

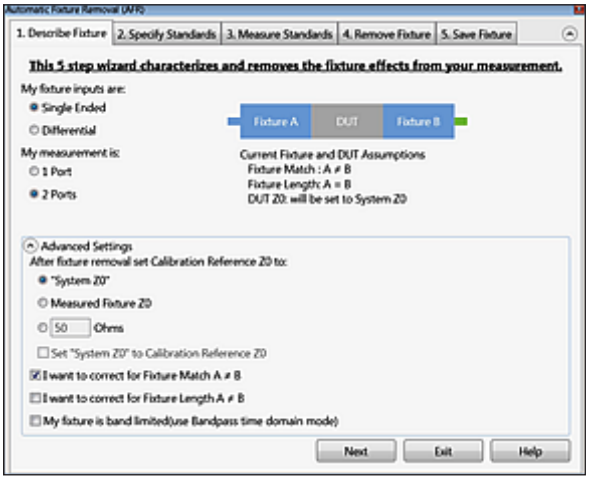
Задача

Многие современные устройства не имеют коаксиальных соединителей, и для измерения характеристик таких устройств в коаксиальной среде их вставляют в тестовую оснастку. Для получения достоверных результатов измерений характеристик исследуемых устройств (ИУ) требуется точно определить и исключить влияние параметров этой оснастки.

Широкие возможности функции AFR могут применяться для решения множества измерительных задач

- Несимметричные и дифференциальные устройства
- Левая и правая стороны тестовой оснастки могут быть асимметричными
- Электрическая длина меры перемычки может быть указана или определена в результате измерений меры XX (нагрузка холостого хода) или меры КЗ (короткозамкнутая нагрузка)
- Режим полосовой фильтрации при преобразовании во временную область для устройств с ограниченной полосой пропускания
- Возможность экстраполяции для обеспечения соответствия диапазону частот ИУ
- Коррекция уровня мощности компенсирует потери в тестовой оснастке в зависимости от частоты
- Файлы для удаления эффектов тестовой оснастки можно сохранять в различных форматах для последующего использования в анализаторах цепей серии PNA, САПР ADS и PLTS

Функция AFR - самый быстрый способ устранения влияния тестовой оснастки



Для определения и исключения параметров оснастки из результатов измерений вам потребуется выполнить всего пять шагов, следуя подсказкам в диалоговом окне мастера функции AFR.

Как задача решалась ранее, до появления функции AFR

Для определения параметров тестовой оснастки и удаления их из результатов измерения требовалось либо усложнённое моделирование в программной среде ЭМ-моделирования, либо несколько смонтированных на плате калибровочных мер.

Как задача решается сейчас, с использованием функции AFR

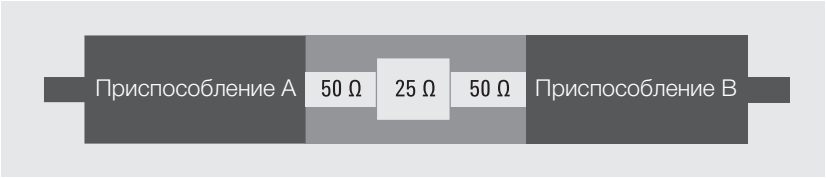
Сначала проводится калибровка в коаксиальной среде с опорными плоскостями на входах тестовой оснастки. Затем проводится измерение одной или нескольких мер: меры перемычки, спроектированной в виде копии тестовой оснастки, или половинок тестовой оснастки, нагруженных мерой XX (нагрузка холостого хода) или мерой КЗ (короткозамкнутая нагрузка).

Или даже быстрее: проводится измерение самой реальной тестовой оснастки (как меры XX), перед тем как в него будет установлено ИУ. Функция AFR автоматически определит параметры тестовой оснастки и удалит их из результатов измерения.

Точность функции AFR сравнима с точностью встроенной TRL-калибровки, но достигается намного проще

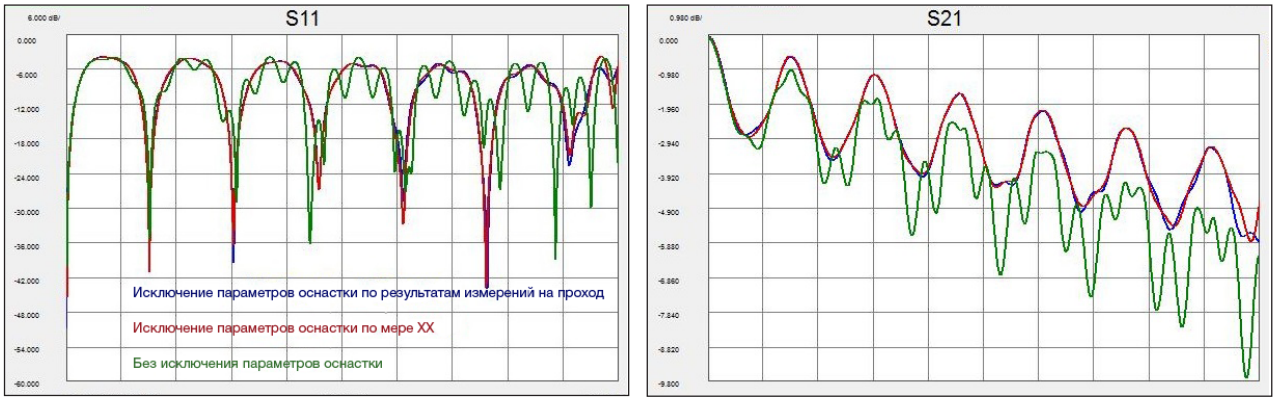
Сравнение различных методов коррекции погрешностей измерений, обусловленных влиянием параметров тестовой оснастки

Пример измерений



Измерения параметров верификационного стандарта (меры) Битти (Beatty).

На графиках, приведённых ниже, зелёные кривые представляют результаты измерений верификационного стандарта (меры) Битти (Beatty), используемого в качестве испытуемого устройства (ИУ), до удаления с помощью функции AFR эффектов тестовой оснастки. Красные кривые отражают характеристики ИУ после удаления эффектов тестовой оснастки с помощью функции AFR и меры XX. Синие кривые представляют характеристики ИУ после удаления эффектов тестовой оснастки с помощью функции AFR и меры перемычки. Ошибки рассогласования и электрическая длина тестовой оснастки удалены из результатов измерений параметров ИУ. Кроме того, наблюдается хорошая корреляция результатов измерений, полученных с использованием функции AFR для исключения параметров оснастки по мерам XX и КП.



S11 и S21 в частотной области

Инновационные измерительные приложения

Расширение частотного диапазона PNA-X в область миллиметровых длин волн

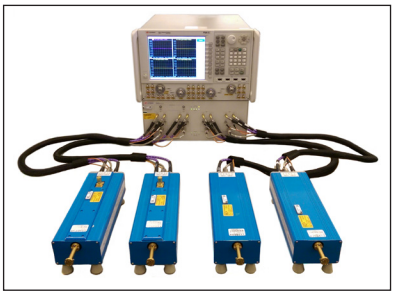
Уникальная архитектура аппаратных средств PNA-X обеспечивает:

- Возможность создания конфигураций ВАЦ миллиметрового диапазона длин волн, способных перекрыть за один цикл свипироания диапазон рабочих частот от 900 Гц до 120 ГГц
- Двух- или четырехпортовые решения для измерений параметров широкого круга балансных и несимметричных устройств миллиметрового диапазона длин волн
- Измерения параметров дифференциальных и I/Q-устройств в миллиметровом диапазоне длин волн за счет использования двух внутренних источников зондирующих сигналов с управляемой фазой между источниками
- Полностью интегрированное решение для измерений параметров радиочастотных импульсных сигналов в миллиметровом диапазоне длин волн с использованием встроенных импульсных модуляторов и генераторов импульсов
- Точный стабилизированный уровнень мощности в миллиметровом диапазоне за счёт передовых методов калибровки мощности источника
- Прямое подключение к двум внутренним источникам зондирующих сигналов модулей расширения частотного диапазона (вплоть до ТГц)

2- и 4-портовые широкополосные системы для измерений в диапазоне частот от 900 Гц до 120 ГГц за один цикл свипирования

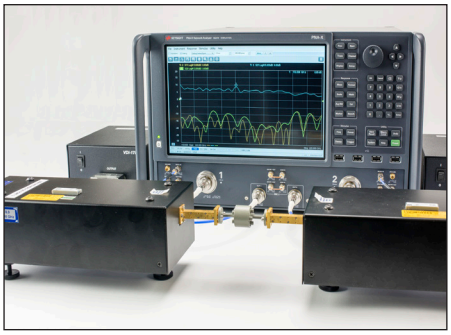
ВАЦ миллиметрового диапазона до 120 ГГц на базе анализаттора цепей N5290/91A серии PNA-X доступны только в 4-портовых конфигурациях. Двухпортовые решения строятся на базе двухпортовых ВАЦ серии PNA. Широкополосные системы N5290/91A обладают измерительными возможностями, позволяющими проводить всестороннее исследование характеристик пассивных и активных устройств, а также преобразователей частоты. Эти системы представляют собой более компактную замену измерительных систем N5251A и обладают улучшенными характеристиками и более широким диапазоном рабочих частот.

2- и 4-портовые полосовые конфигурации



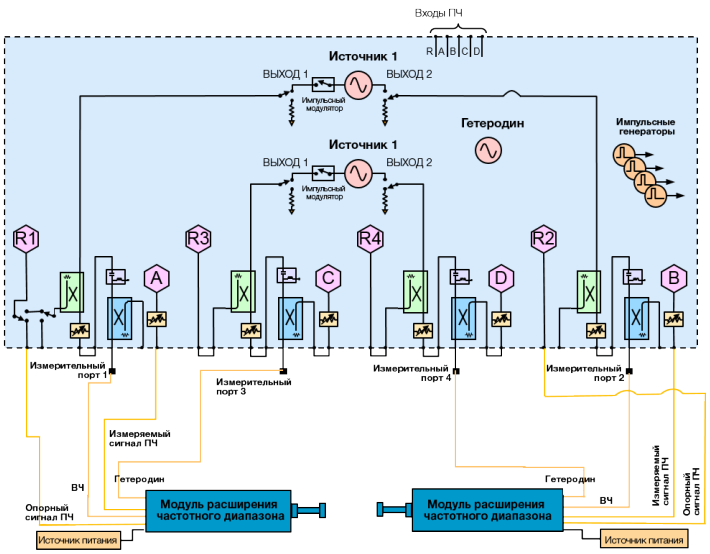
Контроллер измерительного блока миллиметрового диапазона длин волн N5262A обеспечивает подключение четырех блоков расширения частотного диапазона к PNA-X. Для двухпортовых измерений доступен контроллер N5261A.

Измерения в терагерцовом диапазоне



Прямое подключение модулей расширения частотного диапазона компании VDI к 4-портовому ВАЦ серии PNA-X дает возможность выполнять измерения S-параметров в диапазоне частот до 1,5 ТГц.

Архитектура 2-портовой измерительной системы с прямым подключением модулей расширения частотного диапазона



Структурная схема 2-портовой измерительной системы миллиметрового диапазона длин волн на базе 4-портового ВАЦ серии PNA и двух модулей расширения частотного диапазона.

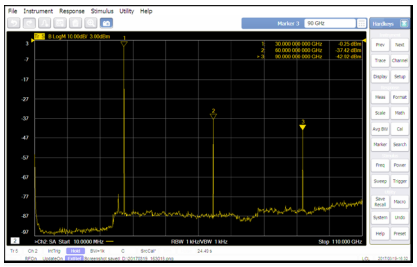
Приложения PNA-X для миллиметрового диапазона

Советы экспертов

- Для обеспечения повторяемости калибровок при подключении калибровочных мер с коаксиальными соединителями стандарта 1 мм всегда используйте динамометрические ключи, а также поддерживающие ключи для предотвращения проворачивания соединителей измерительных кабелей и портов
- Для обеспечения повторяемости результатов измерений убедитесь, что кабели между измерительным прибором и модулями расширения частотного диапазона физически закреплены по всей длине
- Для упрощения процедуры конфигурирования измерительной установки миллиметрового диапазона с прямым подключением модулей расширения к портам ВАЦ (без дополнительного контроллера) используйте специальный макрос, который можно загрузить с сайта компании Keysight
- Для многоканальных измерительных установок используйте функцию "Cal All Channels" для упрощения процесса калибровки

Анализ спектра в миллиметровом диапазоне

Измерительные системы миллиметрового диапазона на базе PNA-X позволяют в полной мере использовать приложения для анализа спектра. Их возможности позволяют выполнять измерения измерения гармоник высшего порядка и помех в миллиметровом диапазоне.



Приложение анализа спектра PNA используется для измерениq гармоник усилителя миллиметрового диапазона.

Многоканальные измерения в миллиметровом диапазоне

Определяйте полные характеристики активных устройств в миллиметровом диапазоне с помощью многоканальных программных приложений анализатора цепей серии PNA при одном наборе подключений или одном контактировании тестовых зондов с пластиной. Калибровка многоканальных установок упрощается с использованием функции "Cal All Channels" (калибровка всех каналов).

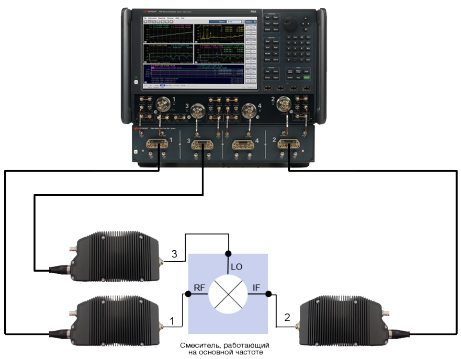
В дополнение к измерениям S-параметров для всестороннего исследования характеристик усилителей в диапазоне частот от 10 МГц до 125 ГГц могут применяться следующие приложения: анализ спектра, измерения компрессии в панорамном режиме и измерения параметров дифференциальных и I/Q-устройств.

Скалярные измерения параметров смесителей

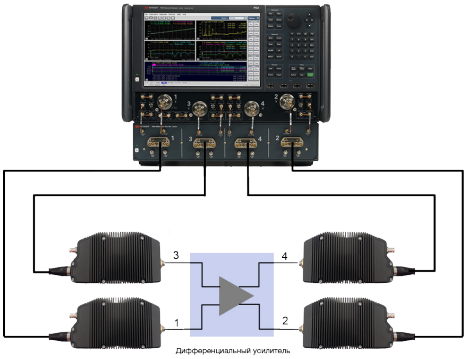
Измеряйте потери или усиление преобразования, а также параметры согласования по входу и выходу смесителей и преобразователей частоты в миллиметровом диапазоне.

Измерения параметров дифференциальных и I/Q-устройств в миллиметровом диапазоне

- Наивысшая в отрасли точность измерений с использованием передовых методов коррекции составляющих систематической погрешности измерений
- Встроенная функция измерений со свипированием фазы и управлением уровнем мощности



Анализатор цепей серии PNA с двумя источниками зондирующих сигналов, 4-портовый контроллер N5292A и широкополосные модули расширения частотного диапазона используются для измерений характеристик смесителей и преобразователей частоты на частотах миллиметрового диапазона. Второй источник зондирующего сигнала анализатора цепей серии PNA может использоваться в качестве источника сигнала гетеродина для смесителя.



Измерения параметров балансного усилителя напряжения, управляемого током, с использованием реальных дифференциальных сигналов с помощью 4-портового анализатора цепей серии PNA, контроллера N5292A и модулей расширения частотного диапазона N5293A.

Инновационные измерительные приложения

Измерения характеристик нелинейных компонентов и X-параметров

(S94510/514/518/520/521A)

Проблемы разработки усилителей мощности

- Нередко активные устройства используются в нелинейном режиме; часто это происходит в результате стремления повысить коэффициент полезного действия, информационную ёмкость или выходную мощность
- При возбуждении сигналами высокого уровня происходит искажение временных диаграмм работы активных устройств, генерируются гармоники, интермодуляционные искажения, происходит увеличение спектральных составляющих
- Используемые в настоящее время средства моделирования схем, в основе которых заложено использование S-параметров и моделей с ограниченным нелинейным поведением, более не позволяют проводить полный анализ и прогнозирование нелинейного поведения устройств и систем
- Количество итераций в ходе разработки должно быть минимально, чтобы ускорить вывод продукции на рынок

S-параметры в нелинейном мире

В прошлом при проектировании радиотехнических систем с усилителями высокой мощности (HPA), разработчики измеряли S-параметры усилителей с помощью ВАЦ, загружали результаты в программу моделирования ВЧ-схем, добавляли результаты измерений или параметры прочих элементов цепи, а затем запускали симуляцию, чтобы предсказать характеристики радиотехнической системы в целом, такие как КУ и КПД при различных параметрах нагрузки.

Поскольку математический аппарат S-параметров предполагает, что все элементы системы линейны, такой подход не давал хороших результатов, когда требовалось спрогнозировать характеристики и смоделировать поведение усилителей в режимах компрессии или насыщения, в которых чаще всего и работают реальные усилители мощности. Расхождения моделей и поведения реальных устройств становятся особенно очевидными при моделировании результирующих характеристик двухкаскадных устройств, работающих в нелинейном режиме. И хотя инженеры могут смириться с подобными расхождениями моделей, им неизбежно приходится добиваться требуемых характеристик долгим и дорогостоящим опытным путем, значительно увеличивая общую длительность и стоимость процесса разработки и оценки правильности принятых конструкторских решений.

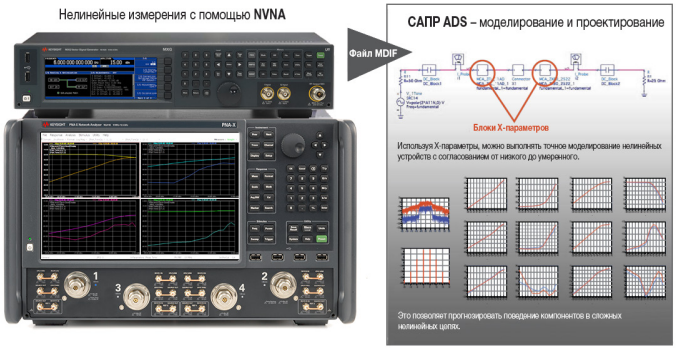
Прорывная технология, позволяющая всесторонне исследовать поведение устройств в нелинейном режиме

Для исследований характеристик современных усилителей мощности требуется альтернативное решение, которое позволит быстро и точно измерять и отображать нелинейные характеристики устройств в условиях воздействия сигналов большой мощности, а также обеспечит точное моделирование поведения таких устройств для проектирования линейных и нелинейных цепей в САПР. Такое решение обеспечивает технология нелинейного векторного анализа цепей (NVNA) и X-параметры, разработанные компанией Keysight.

Технология нелинейного векторного анализа (NVNA), разработанная компанией Keysight и получившая широкое признание, позволяет выйти за рамки линейных S-параметров:

- Эффективный и точный анализ характеристик проектируемых активных устройств в реальных условиях функционирования и разработка ВЧ-системы на их основе позволяет сократить на 50 % число итераций
- Глубокое понимание особенностей поведения устройства благодаря возможности всестороннего исследования его характеристик в нелинейном режиме (S94510A):
  - Отображение во временной области калиброванных падающих, отражённых и переданных сигналов ИУ при коаксиальном подключении, в тестовой оснастке или на пластине
  - Отображение амплитуд и фаз всех гармонических спектральных составляющих и продуктов искажений для разработки оптимальных схем согласования
  - Создание форм представления данных, определяемых пользователем, таких как динамические линии нагрузки
  - Обеспечение единства измерений за счёт метрологической привязки к эталонам NIST (Национальный институт стандартов и технологий)
- Широкие возможности измерений параметров ИУ в нелинейном режиме с использованием X-параметров (S94514A):
  - Распространение возможностей линейных S-параметров в область нелинейных режимов для точного прогнозирования нелинейного поведения каскадных устройств на основе результатов измерений
  - Удобный импорт X-параметров, полученных методом NVNA, в САПР Advanced Design System (ADS) компании Keysight для быстрого и точного моделирования нелинейных компонентов, модулей и систем
- Анализ эффектов памяти, такие как самонагрев и изменение смещения в зависимости от сигнала (S94518A)
- Измерения характеристик нелинейного поведения компонентов с переменным согласованием по входу/выходу к X-параметрам за счёт использования внешних источников сигналов или внешних тюнеров импеданса* (S94520A)
- Непосредственное управление внешними источниками сигналов или тюнерами импеданса для измерений с переменным согласованием по входу/выходу ИУ (S94521A)

*Дополнительно требуется приложение S94521A (управление тюнерами импеданса для измерений с переменным согласованием по входу/выходу ИУ).



Всесторонний анализ поведения устройства в линейном и нелинейном режимах с помощью Keysight NVNA, моделирование и оптимизация с помощью САПР Advanced Design System компании Keysight.

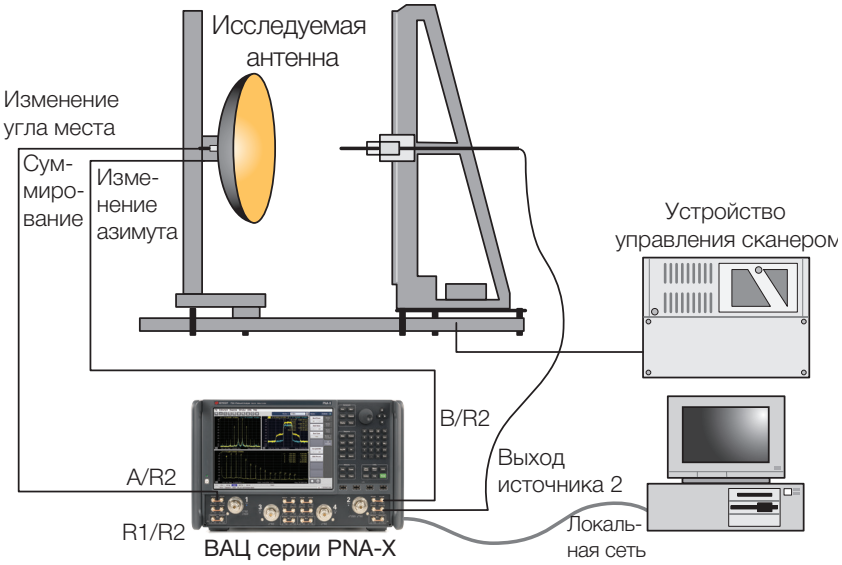
Программные приложения NVNA и принадлежности превращают 4-портовый анализатор цепей PNA-X компании Keysight в высокопроизводительный анализатор для нелинейного векторного анализа цепей.

Инновационные измерительные приложения

Быстрая и точная ВЧ-подсистема для измерений параметров антенн

Проблемы измерений параметров антенн и эффективной площади рассеяния (ЭПР)

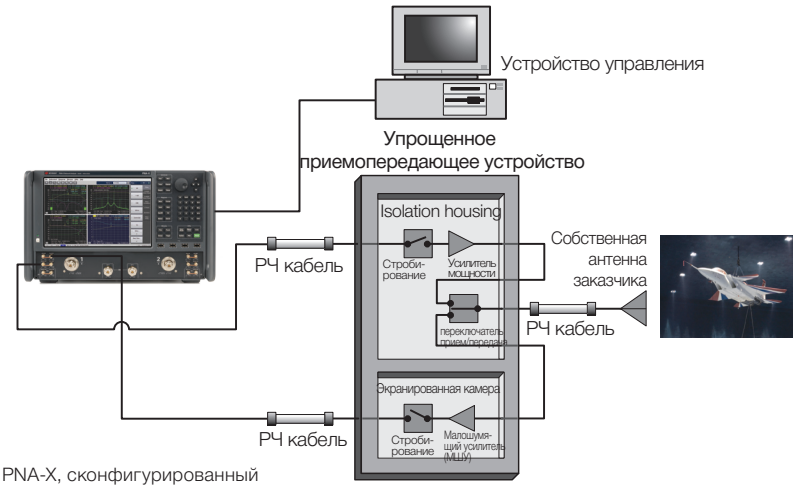
- В процессе измерений требуется собрать данные для множества точек, что значительно увеличивает время их выполнения
- При измерениях в дальней зоне и ЭПР уровень сигналов может быть близок к уровню собственных шумов измерительного приемника, в результате чего измерения получаются сильно зашумленными
- Широко используемый антенный приемник 8530A больше не производится и не поддерживается



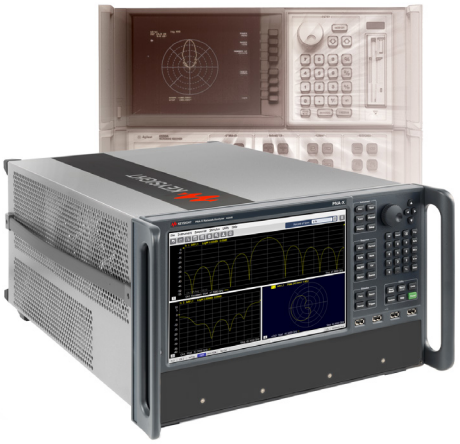
PNA-X, сконфигурированный для измерений параметров антенн в ближней зоне.

Решения для измерений параметров антенн на базе PNA-X обеспечивают:

- Гибкость при проектировании измерительных систем: можно выбрать стандартный анализатор цепей серии PNA-X или недорогой узкоспециализированный измерительный приемник N5264B, созданный на базе аппаратных средств PNA-X
- Выскоая скорость измерений: 400 000 точек данных в секунду одновременно по пяти каналам приемника, что обеспечивают повышает скорость измерений от 3 до 5 раз в сравнении с 8530A
- Возможность накопления большого объема собранных данных в кольцевом буфере FIFO на 500 миллионов точек
- Превосходная чувствительность измерений за счёт возможности установки полосы ПЧ и режима усреднения по точкам
- Встроенный эмулятор кода 8530A для облегчения перехода



PNA-X, сконфигурированный для измерений эффективной площади рассеяния при облучении сигналами РЛС.

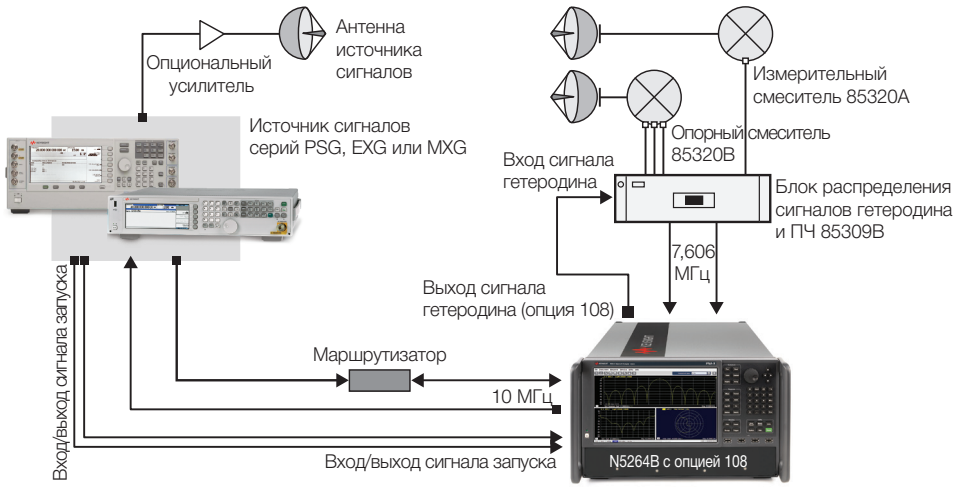


Причины необходимости замены систем 8530A новым измерительным приёмником на базе PNA-X

- Приёмник 8530A больше не поддерживается, поэтому техническое обслуживание существующих систем на его основе проводить всё труднее
- Измерительный приёмник на базе PNA-X:
  - Предлагает встроенное ПО эмуляции кода 8530A для поддержки существующего измерительного программного обеспечения
  - Полностью совместим с компонентами существующих систем на базе 8530A
  - Уменьшает время сбора данных до 80 раз
  - По дополнительному заказу может быть добавлен встроенный источник сигналов с высокой выходной мощностью (опция 108), который можно использовать в качестве источника сигнала гетеродина для удалённых смесителей или преобразователей частоты

Что лучше выбрать в качестве приемника для антенных измерений?

Области применения	Измерительный приемник N5264B	N524xB серии PNA-X	Комментарии
Измерения в ближней зоне	Нет (требуется внешний источник)	Да	За счет использования встроенного источника сигналов обеспечивается высокая скорость измерений. ВАЦ можно использовать для измерений параметров устройств общего назначения.
Компактный антенный полигон	Да	Да	Выбор зависит от размеров антенного полигона
Измерения в дальней зоне	Да	Нет (более высокая стоимость)	Распределенная структура измерительной системы позволяет увеличить чувствительность за счет правильного размещения ее элементов.
Измерение импульсных ВЧ-сигналов	Нет	Да	PNA-X предлагает встроенные импульсные генераторы и импульсные модуляторы, которые упрощают конфигурацию системы

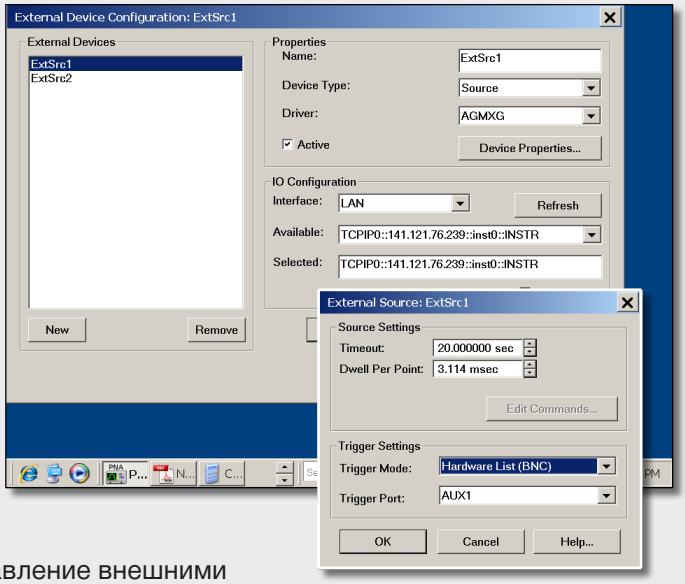


Измерительный приемник PNA-X сконфигурирован для измерений в дальней зоне (также может быть использован PNA-X с опцией 020 (входы ПЧ).

Инновационные измерительные приложения

Быстрая и точная ВЧ-подсистема для измерений параметров антенн (продолжение)

Советы экспертов

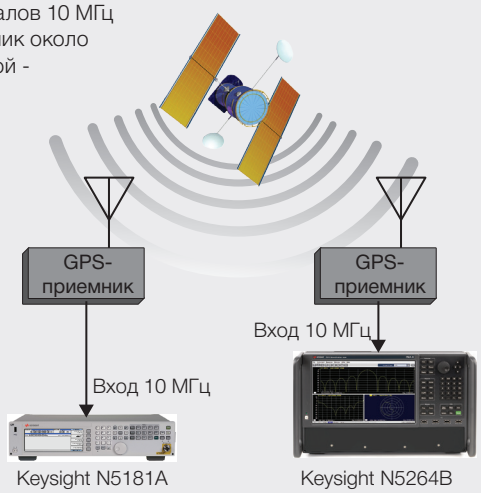


Управление внешними источниками сигналов

1. Подключите PNA-X к генератору сигналов через интерфейс LAN или GPIB
2. Используйте функцию External Device Configuration (конфигурирование внешнего устройства)
3. В разделе с заголовком Properties (свойства):
   - Введите имя внешнего источника, в окне Device Type (тип устройства) выберите Source (источник), а в строке Driver (драйвер) - соответствующий драйвер
   - После нажатия клавиши Device Properties (свойства устройства) выберите один из двух режимов запуска: Software CW (кабели запуска не требуются, но скорость невелика) или Hardware List (быстрый, но требуются внешние сигналы запуска с уровнями ТТЛ)
   - Если расстояние между PNA-X и генератором слишком велико для использования в канале запуска кабелей с соединителями BNC (> 40 метров), хорошей альтернативой будет блок запуска E5818A компании Keysight с концентратором локальной сети (LAN)

Как обеспечить подачу общего опорного сигнала с частотой 10 МГц на генератор сигналов и PNA-X, когда расстояние между ними слишком велико и кабели с соединителями BNC использовать нельзя?

- Используйте недорогие спутниковые GPS-приёмники для получения высокоточных опорных сигналов 10 МГц
- Поместите один GPS-приёмник около генератора сигналов, а другой - около PNA-X
- Такой подход работает для произвольных расстояний, от сотен метров до многих километров



Высокие технические характеристики

Сравнение основных характеристик и функций

	N5249B N5241B N5242B	**N5244B N5245B**	**N5247B**
Диапазон частот	от 10 МГц до 8,5 ГГц от 10 МГц до 13,5 ГГц от 10 МГц до 26,5 ГГц[1]	от 10 МГц до 43,5 ГГц от 10 МГц до 50 ГГц	от 10 МГц до 67 ГГц[1]
Динамический диапазон системы (на частоте 20 ГГц)	от 121 до 130 дБ в зависимости от конфигурации от 124 до 141 дБ с прямым доступом к приемнику (тип.)	от 121 до 125 дБ в зависимости от конфигурации от 133 до 137 дБ с прямым доступом к приемнику (тип.)	от 122 до 129 дБ в зависимости от конфигурации от 136 до 140 дБ с прямым доступом к приемнику (тип.)
Максимальная выходная мощность на измерительном порте (на частоте 20 ГГц)	+13 дБм (опции 201, 401) +10 дБм (опции 21x, 41x) +15 дБм (опция 22x) +10 дБм (опция 42x)	+13 дБм (опции 201, 401) +10 дБм (опции 21x, 41x) +10 дБм (опции 22x, 42x)	+11 дБм (опции 201, 401) +8 дБм (опции 219, 419) +7 дБм (опции 224, 423)
Максимальный диапазон свипирования мощности	38 дБ		
Характеристики системы после коррекции[2]	(2-портовая калибровка, тракт 3,5 мм) Dir: от 44 до 48 дБ SM: от 31 до 40 дБ LM: от 44 до 48 дБ Refl trk: от ±0,003 до 0,006 дБ Trans trk: от ±0,015 до 0,104 дБ	(2-портовая калибровка, тракт 2,4 мм) Dir: от 36 до 42 дБ SM: от 31 до 41 дБ LM: от 35 до 42 дБ Refl trk: от ±0,001 до 0,027 дБ Trans trk: от±0,020 до 0,182 дБ	(2-портовая калибровка, тракт 1,85 мм) Dir: от 34 до 41 дБ SM: от 34 до 44 дБ LM: от 33 до 41 дБ Refl trk: от 0,01 до 0,33 дБ Trans trk: от 0,061 до 0,17 дБ
Шум трассы графика	0,002 дБСКЗ (полоса ПЧ 1 кГц)		
Гармоники (порты 1, 3) от 10 МГц до 2 ГГц > 2 ГГц	-51 дБн (тип.) -60 дБн (тип.)		
Тройники смещения: максимальные значения тока и напряжения	± 200 мА, ± 40 В постоянного тока		
Размеры, В x Ш x Г (с ручками и ножками)	280 x 459 x 578 мм	280 x 459 x 649 мм	280 x 459 x 649 мм
Масса нетто (ном.), 2-портовые модели 4-портовые модели	 27 кг 37 кг	 46 кг 49 кг	 46 кг 49 кг

1. Расширение диапазона частот вниз до 900 Гц обеспечивают следующие конфигурации моделей: N5242B с опциями 425 и 029 (или без опции 029) и N5247B с опциями 425 и 029.
2. Dir = направленность; SM = согласование источника; LM = согласование нагрузки; Refl trk = собственный ноль при измерении параметров отражения; Trans trk = собственный ноль при измерении параметров передачи.

Информация по комплектованию анализаторов цепей серии PNA-X

Анализаторы цепей серии PNA-X

Доступные опции

Измерительный блок	Описание	Дополнительная информация
Опция 201	2 измерительных порта, 1 источник зондирующих сигналов, прямой доступ к источнику и приёмникам сигналов	
Опция 217[2]	2 измерительных порта, 1 источник зондирующих сигналов, прямой доступ к источнику и приёмникам сигналов, аттенюаторы на выходе источника сигналов и на входе измерительных приемников	Недоступна для N5247B
Опция 219	2 измерительных порта, 1 источник зондирующего сигнала, прямой доступ к источнику и приёмникам сигналов, аттенюаторы на выходе источника сигналов и на входе измерительных приёмников, тройники смещения по постоянному току	
Опция 222[2]	2 измерительных порта, 2 источника зондирующего сигнала, прямой доступ к источникам и приёмникам сигналов, выходы второго источника на передней панели, аттенюаторы на выходе источников сигналов и на входе измерительных приёмников, схема суммирования и коммутации сигналов источников	Включает дополнительные ВЧ-перемычки для обеспечения максимальной гибкости измерительной установки
Опция 224	2 измерительных порта, 2 источника зондирующего сигнала, прямой доступ к источникам и приёмникам сигналов, выходы второго источника на передней панели, аттенюаторы на выходе источников сигналов и на входе измерительных приёмников, схема суммирования и коммутации сигналов источников, тройники смещения по постоянному току	Включает дополнительные ВЧ-перемычки для обеспечения максимальной гибкости измерительной установки
Опция 401[1]	4 измерительных порта, 2 источника зондирующего сигнала, прямой доступ к источникам и приёмникам сигналов	
Опция 417[1,2]	4 измерительных порта, 2 источника зондирующего сигнала, прямой доступ к источникам и приёмникам сигналов, аттенюаторы на выходе источников сигналов и на входе измерительных приемников	Недоступна для N5247B
Опция 419[1]	4 измерительных порта, 2 источника зондирующего сигнала, прямой доступ к источникам и приёмникам сигналов, аттенюаторы на выходе источников сигналов и на входе измерительных приемников, тройники смещения по постоянному току	
Опция 422[1,2]	4 измерительных порта, 2 источника зондирующего сигнала, прямой доступ к источникам и приёмникам сигналов, аттенюаторы на выходе источников сигналов и на входе измерительных приемников, схема суммирования и коммутации сигналов источников	Включает дополнительные ВЧ-перемычки для обеспечения максимальной гибкости измерительной установки
Опция 423[1]	4 измерительных порта, 2 источника зондирующего сигнала, прямой доступ к источникам и приёмникам сигналов, аттенюаторы на выходе источников сигналов и на входе измерительных приёмников, схема суммирования и коммутации сигналов источников, тройники смещения по постоянному току	Включает дополнительные ВЧ-перемычки для обеспечения максимальной гибкости измерительной установки
Опция 425[1]	4 измерительных порта, 2 источника зондирующего сигнала, прямой доступ к источникам и приёмникам сигналов, аттенюаторы на выходе источников сигналов и на входе измерительных приёмников, схема суммирования и коммутации сигналов источников, тройники смещения по постоянному току, расширение частотного диапазона в область низких частот	Включает дополнительные ВЧ-перемычки для обеспечения максимальной гибкости измерительной установки Доступна только для N5242B с опцией 029 или без нее, а также для N5247B с опцией 029 или без нее.
Дополнительные аппаратные опции		
Опция 020	Входы ПЧ	Используются для антенных измерений и миллиметровых блоков расширения частотного диапазона
Опция 021	Импульсный модулятор первого источника зондирующих сигналов	
Опция 022	Импульсный модулятор второго источника зондирующих сигналов	Требует наличия одной из опций 22x, 40x, 41x, or 42x
Опция 029	Высокочувствительный приемник для измерений коэффициента шума	Для управления приёмником шума при измерениях коэффициента шума и мощности шума требуется программное приложение S93029A. Для N5241/42/49B требуется одна из опций: 21x, 22x, 41x, 42x. Для N5244/45/47B требуется одна из опций: 22x или 42x. Для N5247B приемник шума работает только на частотах до 50 ГГц.

1. Для независимого управления частотой второго внутреннего источника зондирующего сигнала требуется одно из программных приложений: S93080/029/082/083/084/086/087/089/090x/093/094A
2. Рекомендуется для измерительных установок для измерений сигналов высокой мощности. Максимальная номинальная мощность на ответвителях измерительного порта равна +43 дБм (дополнительные аттенюаторы или изоляторы обычно требуются для защиты других компонентов внутри прибора).

Информация по комплектованию анализаторов цепей серии PNA-X (продолжение)

Для серии PNA-X	Описание	Дополнительная информация
Опции программных приложений[1]		
S93007A	Автоматическое исключение влияния оснастки	
S93010A	Анализ во временной области	
S93025A	Базовые измерения параметров импульсных ВЧ-сигналов	Включает управление внутренними генераторами импульсов и обеспечивает измерения параметров импульсов с длительностью до 200 нс, используя метод широкополосного детектирования
S93026A	Расширенные измерения параметров импульсных ВЧ-сигналов	Включает управление внутренними генераторами импульсов и обеспечивает измерения параметров импульсов с длительностью до 100 нс, используя метод широкополосного детектирования, и до 20 нс, используя метод узкополосного детектирования
S93029A	Измерения коэффициента шума с векторной коррекцией[2]	Используются стандартные приёмники, если отсутствует аппаратная опция N524xB-029
S93080A	Измерения с отстройкой по частоте	Обеспечивает возможность независимой установки частоты внутренних источников и приёмников, а также конфигурирования внешних источников. Эта функция включена также в состав приложений S93029/082/083/084/086/087/089/090x/093/094A.
S93082A	Скалярные измерения параметров смесителей/преобразователей частоты	Обеспечивает скалярные измерения параметров смесителей/преобразователей частоты (SMC). Все функции S93082A входят в более широкий перечень функций S93083A.
S93083A	Скалярные и векторные измерения параметров смесителей/преобразователей частоты[3]	Обеспечивает скалярные измерения параметров смесителей/преобразователей частоты плюс фазовых характеристик, а также векторные измерения параметров смесителей/преобразователей частоты
S93084A	Измерения параметров смесителей/преобразователей частоты со встроенным гетеродином	Работает с S93029/082/083/086/087A
S93086A	Измерение компрессии усиления в панорамном режиме	
S93087A	Измерения интермодуляционных искажений в панорамном режиме[4]	Недоступна с опциями измерительного блока PNA: 200, 210, 400 и 410
S93088A	Контроль фазы источников зондирующих сигналов	
S93089A	Измерения параметров дифференциальных и I/Q-устройств	Требуется опция 4-портового измерительного блока (4xx)
S930900A	Режим многоканального анализатора спектра до 8,5 ГГц[5]	
S930901A	Режим многоканального анализатора спектра до 13,5 ГГц[5]	
S930902A	Режим многоканального анализатора спектра до 26,5 ГГц[5]	
S930904A	Режим многоканального анализатора спектра до 43,5 ГГц[5]	
S930905A	Режим многоканального анализатора спектра до 50 ГГц[5]	
S930907A	Режим многоканального анализатора спектра до 67 ГГц[5]	
S930909A	Анализ спектра сигналов в диапазоне до 90 ГГц[5]	
S93093A	Режим многоканального анализатора спектра до 110 ГГц	
S93094A	Режим многоканального анализатора спектра свыше 110 ГГц	
S93118A	Режим быстрых измерений на фиксированной частоте	
S93460A	Измерение параметров дифференциальных устройств	Требуется опция 4-портового измерительного блока (4xx)
S93551A	N-портовые измерения[6,7]	Недоступна с опциями измерительного порта: 200, 210, 400 и 410

1. Поддерживаются следующие типы лицензий для программных приложений: фиксированная бессрочная (1FP), перемещаемая бессрочная (1TP), фиксированная на 1 год (1FY) и перемещаемая на 1 год (1TY). Примечание: приложения S93093A, S93094A, S93898A и S94510A имеют только фиксированные типы лицензий.
2. Модели N522xB и N5241/42/49B при измерениях коэффициента шума с применением векторной коррекции результатов измерения требуют наличия модуля ECal для использования в качестве тюнера импеданса. В моделях N5244/45/47B с опцией 029 уже имеется внутренний тюнер. Для калибровки шума при использовании стандартного приёмника требуется измеритель мощности. При использовании высокочувствительного приёмника шума (опция 029) потребуется либо измеритель мощности, либо генератор шума серии 346 (рекомендуется 346C или 346C-K01 компании Keysight). Для измерений параметров смесителей и преобразователей частоты требуется измеритель мощности.
3. Требуется конфигурируемый измерительный блок для класса измерений VMC, чтобы можно было подключить образцовый смеситель, либо для класса измерений SMC+Phase с использованием калибровки на базе генератора комбинационных частот. При заказе анализатора цепей PNA с опциями измерительного блока 200, 210, 400 или 410 (без перемычек передней панели) измерения фазы и задержки могут быть выполнены только с использованием класса измерений SMC+Phase с калибровочным смесителем.
4. S93087A может использоваться без опций измерительного блока PNA-X 22x или 42x, но в этом случае может потребоваться внешнее оборудование, такое как анализатор сигналов и сумматор.
5. Рекомендуется использовать измерительный блок с внутренними аттенюаторами приёмника для предотвращения компрессии приёмника при измерении сигналов высокого уровня.
6. При заказе измерительного блока выберите соответствующий интерфейсный набор.
7. При конфигурировании многопортового анализатора, использующего S93551A и многопортовый измерительный блок, функции схемы суммирования опции 22x или 42x временно запрещается. При конфигурировании как автономного анализатора функция схемы суммирования разрешается.

Информация по комплектованию анализаторов цепей серии PNA-X (продолжение)

Для серии PNA-X	Описание	Дополнительная информация
Нелинейный векторный анализ цепей[1]		
S94510A[2]	Нелинейный анализ цепей	Требуется опция измерительного блока 41x или 42x
S94511A[2]	Нелинейный анализ цепей	Версия для стран с экпортным контролем. Требуется опция измерительного блока 41x или 42x
S94514A[3]	Измерения X-параметров[4,5]	Требуется опция измерительного блока 42x и программное приложение S94510A
S94518A	Нелинейный анализ цепей в импульсном режиме	Требуется аппаратная опция 021 и программное приложение S94510A и S93025A или S93026AA
S94520A	Измерения X-параметров цепей с переменным согласованием по входу/выходу ИУ[4,5]	Требуется программное приложение S94514A
S94521A	Управление тюнерами импеданса для измерений с переменным согласованием по входу/выходу исследуемого устройства[4,5]	Требуется программное приложение S94520A
Требуемые принадлежности NVNA		

- Генератор комбинационных частот U9391C (от 10 МГц до 26,5 ГГц), U9391F (от 10 МГц до 50 ГГц) или U9391G (от 10 МГц до 67 ГГц), используемые в качестве образцовой меры фазы при NVNA (требуется 2 шт.)
- Измеритель и преобразователь мощности, либо измеритель мощности с шиной USB компании Keysight
- Калибровочный комплект: механический или модуль ECal компании Keysight
- Генератор сигналов серии EXG, MXG или PSG компании Keysight, используемый для выделения X-параметров (выход опорного сигнала 10 МГц анализатора цепей PNA-X можно использовать для случаев с разносом частот между тонами 10 МГц)

Принадлежности и опции калибровки

Для серии PNA-X	Описание	Дополнительная информация
Принадлежности		
N524xB-1CM	Комплект для монтажа в стойку без ручек	
N524xB-1CP	Комплект для монтажа в стойку с ручками	
N1966A	Адаптер ввода-вывода для синхронизации измерений в импульсном режиме	
U9391C/F/G	Генератор комбинационных частот[1]	
Программное обеспечение для калибровки		
S93898A	Программное обеспечение для проведения верификации параметров прибора по заводскому протоколу[6]	
Документы о калибровке		
N524xB-1A7	Калибровка в соответствии с требованиями ISO 17025	
N524xB-UK6	Сертификат коммерческой калибровки с данными испытаний	
N524xB-A6J	Калибровка в соответствии с требованиями ANSI Z540	
Требуемые принадлежности NVNA		

- Генератор комбинационных частот U9391C (от 10 МГц до 26,5 ГГц), U9391F (от 10 МГц до 50 ГГц) или U9391G (от 10 МГц до 67 ГГц), используемые в качестве образцовой меры фазы при NVNA (требуется 2 шт.)
- Измеритель и преобразователь мощности, либо измеритель мощности с шиной USB компании Keysight
- Калибровочный комплект: механический или модуль ECal компании Keysight
- Генератор сигналов серии MXG или PSG компании Keysight, используемый для выделения моделей X-параметров (выход опорного сигнала 10 МГц можно использовать для задач, когда разнесение между тонами равно 10 МГц)

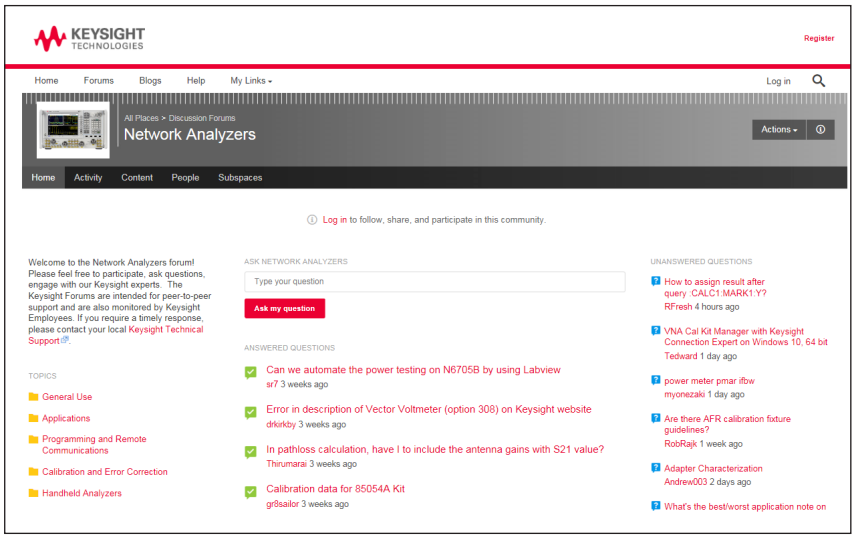
1. Для полностью сконфигурированной системы NVNA требуются два генератора комбинационных частот с источниками питания, калибровочные комплекты компании Keysight (механический или модуль ECal), измеритель и преобразователь мощности, либо измеритель мощности с шиной USB.
2. В импульсном режиме требуется опция 021 и программное приложение S93025A или S93026A.
3. В импульсном режиме требуются опции 021, 022 и программное приложение S93025A или S93026A.
4. Требуется генератор сигналов EXG, MXG или PSG для выделения X-параметров (выход внутреннего опорного сигнала 10 МГц анализатора PNA-X можно использовать для случаев с разносом частот между тонами 10 МГц).
5. X-параметры являются торговой маркой и зарегистрированным товарным знаком компании KeysightTechnologies в США, ЕС, Японии и других странах. Формат X-параметров и лежащие в их основе уравнения открыты и документированы. Дополнительная информация приведена по ссылке www.keysight.com/find/eesofx-parameters-info.
6. Требуются дополнительное оборудование. Для получения информации о требуемом для обслуживания измерительном оборудовании следует обращаться к руководству по техническому обслуживанию анализатора (Service Guide).

Дополнительная информация

Загружайте самые последние рекомендации по применению PNA-X:
для загрузки новых рекомендаций по применению анализаторов цепей серии PNA-X добавьте данную страницу в закладки.

www.keysight.com/find/pnaxapps

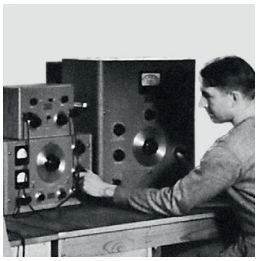
Получайте ответы от экспертов производителя в режиме онлайн:
обсуждение тем, касающихся калибровки, приложений, технических характеристик приборов и программирования, на онлайн-форуме по анализаторам цепей компании Keysight. Получайте советы по самым трудноразрешимым проблемам измерений и разработки и просматривайте темы, которые обсуждались ранее.

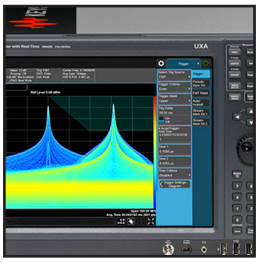


www.keysight.com/find/na_forum

Развиваемся с 1939 года

Уникальное сочетание наших приборов, программного обеспечения, услуг, знаний и опыта наших инженеров поможет вам воплотить в жизнь новые идеи. Мы открываем двери в мир технологий будущего.
От Hewlett-Packard и Agilent к Keysight.





myKeysight

myKeysight
www.keysight.com/find/mykeysight
Индивидуальная подборка наиболее важной для вас информации.

http://www.keysight.com/find/emt_product_registration
Зарегистрировав свои приборы, вы получите доступ к информации о состоянии гарантии и уведомления о выходе новых публикаций по приборам.

KEYSIGHT SERVICES
Accelerate Technology Adoption.
Lower costs.

Услуги ЦСМ Keysight
www.keysight.com/find/service
Центр сервиса и метрологии Keysight готов предложить вам свою помощь на любой стадии эксплуатации средств измерений – от планирования и приобретения новых приборов до модернизации устаревшего оборудования. Широкий спектр услуг ЦСМ Keysight включает услуги по поверке и калибровке СИ, ремонту приборов и модернизации устаревшего оборудования, решения для управления парком приборов, консалтинг, обучение и многое другое, что поможет вам повысить качество ваших разработок и снизить затраты.

CALIBRATION UP TO 10 YEARS WARRANTY
ASSURANCE PLANS

Планы технической поддержки Keysight
www.keysight.com/find/AssurancePlans
ЦСМ Keysight предлагает разнообразные планы технической поддержки, которые гарантируют, что ваше оборудование будет работать в соответствии с заявленной производителем спецификацией, а вы будете уверены в точности своих измерений.

Торговые партнеры Keysight
www.keysight.com/find/channelpartners
Получите лучшее из двух миров: глубокие профессиональные знания в области измерений и широкий ассортимент решений компании Keysight в сочетании с удобствами, предоставляемыми торговыми партнерами.

www.keysight.com/find/pna
www.keysight.com/find/na_forum

Для получения дополнительных сведений о продукции, приложениях и услугах Keysight Technologies обратитесь в местное представительство компании Keysight. Полный перечень представительств приведен на сайте:
www.keysight.com/find/contactus

Российское отделение
Keysight Technologies
115054, Москва,
Космодамианская наб., 52, стр. 3
Тел.: +7 (495) 7973954;
8 800 500 9286
(звонок по России бесплатный)
Факс: +7 (495) 7973902
e-mail: tmo_russia@keysight.com
www.keysight.ru

Сервисный Центр
Keysight Technologies в России
115054, Москва,
Космодамианская наб., 52, стр. 3
Тел.: +7 (495) 7973930
Факс: +7 (495) 7973901
e-mail: tmo_russia@keysight.com

(BP-9-7-17)

DEKRA Certified
ISO9001 Quality Management System

www.keysight.com/go/quality
Система управления качеством Keysight Technologies, Inc. сертифицирована DEKRA по ISO 9001:2015

KEYSIGHT TECHNOLOGIES

Информация может быть изменена без уведомления.
© Keysight Technologies, 2013 - 2018
Published in USA, December 1, 2017
5990-4592RURU
www.keysight.com