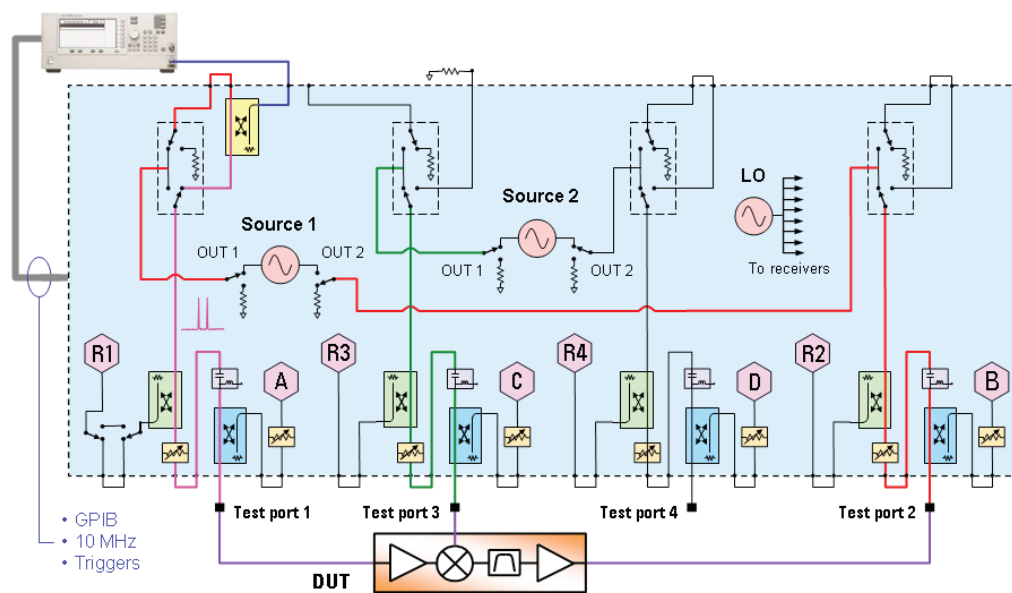


# Keysight Technologies

## Решения для тестирования активных компонентов

Применение современных векторных анализаторов цепей для автоматизации традиционных многоприборных радиочастотных измерительных систем

Рекомендации по применению



# Введение

## Обзор

Разработка измерительных систем является сложной задачей, особенно если эти системы предназначены для тестирования активных компонентов в аэрокосмической и оборонной промышленности или в сфере беспроводной связи. Свойственные этим отраслям жесткие требования и постоянное изменение стандартов усложняют и без того непростые процессы тестирования. Традиционно для решения этих задач создавались многоприборные радиочастотные измерительные системы. Кроме контрольно-измерительного оборудования, разработчики измерительных систем используют программное обеспечение для автоматизации процесса тестирования. Автоматизация позволяет повысить скорость, а следовательно, и пропускную способность системы, повысить удобство сбора данных и снизить вероятность ошибки оператора, а также выполнить синхронизированные измерения за счет подачи сигнала запуска с одних приборов на другие и/или на исследуемое устройство (ИУ).

Хотя автоматизированное контрольно-измерительное оборудование предлагает разработчикам измерительных систем целый ряд преимуществ, оно также обладает некоторыми недостатками и ограничениями. Разработчики измерительных систем всегда стремятся повысить скорость и точность измерений. Кроме того, они должны оптимизировать измерительную систему, сократив время ее разработки, габариты и потребляемую мощность, одновременно упростив калибровку и эксплуатацию системы. И наконец, разработчики измерительных систем пытаются снизить общую стоимость владения системой за счет минимизации начальных затрат на разработку, обеспечения минимальной стоимости калибровки и ремонта, планирования будущих обновлений.

## Проблема

Разработка оптимизированной радиочастотной измерительной системы для измерения S-параметров, компрессии, интермодуляционных искажений, паразитных составляющих и коэффициента шума, которая отличается не только скоростью и точностью, но и малыми эксплуатационными расходами, является достаточно сложной задачей. Традиционно «стоечные и настольные» ВЧ измерительные системы состоят из нескольких приборов. Для выполнения базовых ВЧ измерений необходим анализатор цепей, анализатор спектра, несколько генераторов сигналов и измеритель мощности, в то время как для измерения характеристик маломощных усилителей необходим анализатор коэффициента шума или опция анализа коэффициента шума для анализатора спектра. Все эти приборы подключаются к ИУ через матричный коммутатор. Кроме того, ВЧ измерительные системы содержат обычно и низкочастотное измерительное оборудование (например, осциллографы и цифровые вольтметры), источники питания постоянного тока и дополнительное оборудование для обработки сигнала. К сожалению, сложность таких многоприборных решений противоречит простоте, предлагаемой автоматизированными системами и в результате, разработчикам ВЧ измерительных систем необходим теперь новый подход к их проектированию, альтернативный традиционным «стоечным и настольным» ВЧ измерительным системам.

## Решение

За последние годы векторные анализаторы цепей (VNA) сильно эволюционировали и предлагают теперь недорогое, совместимое с автоматизированными системами решение, пришедшее на смену традиционным многоприборным ВЧ измерительным системам. Они имеют более совершенную аппаратную платформу с улучшенными характеристиками и могут с высокой скоростью и точностью выполнять разнообразные ВЧ измерения, далеко выходящие за пределы измерения S-параметров и точки компрессии. Встроенные в них коммутаторы позволяют создавать более гибкие схемы измерения, упрощая измерительные системы, устраняя потребность в матричных коммутаторах и позволяя создавать более сложные измерительные системы.

Используя современный векторный анализатор цепей в качестве ядра автоматизированной системы тестирования, разработчик этой системы может реализовать массу существенных преимуществ:

- Упрощение измерительной системы, что ускоряет и удешевляет разработку и сокращает время передачи в производство. Помимо небольшого размера и меньшей потребляемой мощности, современные векторные анализаторы цепей содержат меньше деталей по сравнению с традиционными ВЧ измерительными системами, и следовательно, реже выходят из строя и дешевле в обслуживании. Кроме того, меньшее число приборов означает, что такие системы более просты в эксплуатации.
- Ускорение тестирования, повышающее пропускную способность измерительной системы.
- Более высокая точность, повышающая выход годной продукции и обеспечивающая лучшее соответствие техническим характеристикам.
- Повышение гибкости аппаратной платформы, что упрощает адаптацию системы к будущим требованиям.

Анализатор цепей Keysight PNA-X является современным векторным анализатором, который можно использовать вместо традиционной ВЧ измерительной системы для тестирования компонентов в диапазоне от 10 МГц до 26,5 ГГц. Этот 2- или 4-портовый анализатор позволяет создать уникальное многоприборное решение с одним подключением для измерения S-параметров на синусоидальном и импульсном сигнале, компрессии, интермодуляционных искажений и коэффициента шума. Второй встроенный источник, сумматор, приемники шума и встроенные генераторы импульсов и модуляторы превращают его из простого анализатора цепей в универсальную платформу для измерения параметров усилителей и преобразователей частоты.

На рис.1 показана структурная схема 4-портового анализатора PNA-X. Каждый обведенный кружком блок представляет ключевой элемент, превращающий этот векторный анализатор цепей в идеальную альтернативу «стоечным и настольным» измерительным системам, и подчеркивает его преимущества перед обычными векторными анализаторами. Например, второй источник ВЧ сигнала (источник 2)

можно использовать для двухтонного тестирования или в качестве гетеродина для тестирования преобразователей частоты. Встроенный сумматор можно использовать для передачи двухтональных испытательных сигналов с тестового порта 1 на вход ИУ, позволяя измерять интермодуляционные искажения во всем частотном диапазоне прибора без дополнительного оборудования. Источники 1 и 2 содержат встроенные импульсные модуляторы для двунаправленных измерений импульсных S-параметров.

Встроенные генераторы импульсов подают сигналы на импульсные модуляторы и на встроенные ПЧ ключи (используемые во время узкополосного детектирования), упрощая схему измерения импульсных S-параметров и исключая потребность во внешнем оборудовании. Коммутаторы и связанные с ними переключатели на задней панели позволяют включать в схему другие контрольно-измерительные приборы и устройства для обработки сигнала, сохраняя при этом одно подключение к исследуемому устройству. И наконец, опциональные приемники шума пополняют набор возможных ВЧ тестов измерениями коэффициента шума.

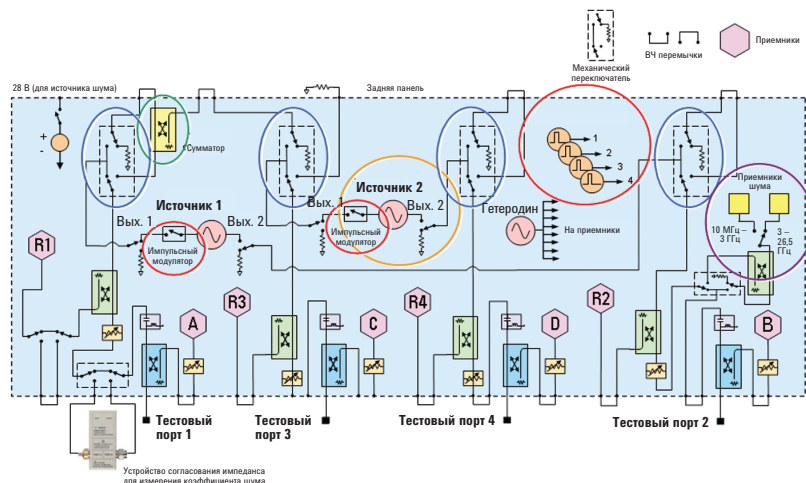


Рис. 1. Структурная схема современного векторного анализатора цепей PNA-X.

Анализатор PNA-X поддерживает широкий диапазон ВЧ измерений с одним и двумя источниками при одном подключении к ИУ. Измерения с одним источником включают измерения S-параметров на синусоидальном и импульсном сигнале, компрессии, преобразования AM-ФМ, гармоник и коэффициента шума. Измерения с двумя источниками включают измерения интермодуляционных искажений, Hot-S22, зависимости фазы от уровня, измерения с подачей истинных дифференциальных сигналов и измерения потерь/усиления преобразования. Разработчик системы может расширить диапазон этих измерений, подключив генератор сигналов, такой как Keysight MXG, и анализатор спектра, такой как Keysight MXA (рис. 2). Это позволяет легко измерять параметры несущих с цифровой модуляцией, например, коэффициент мощности соседнего канала. Все измерения с применением MXG или MXA выполняются через одно соединение с ИУ.

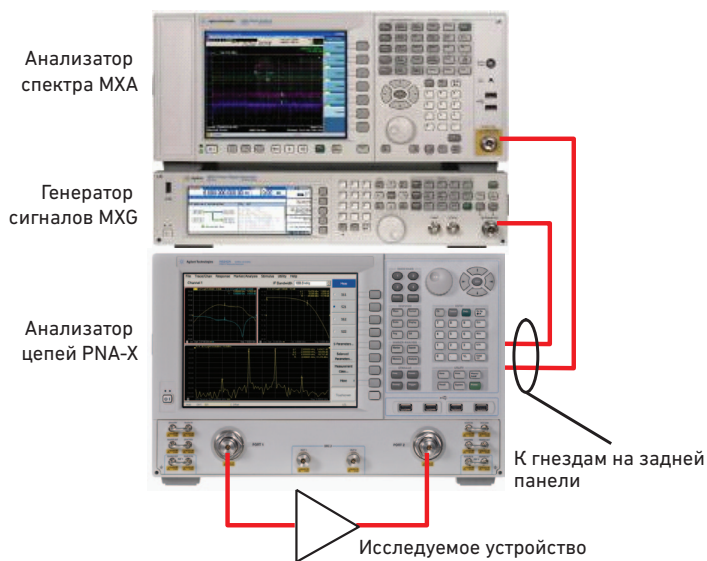


Рис. 2. Коммутаторы подают сигнал с генератора MXG на вход ИУ, а с выхода ИУ — на анализатор спектра MXA. Внешний направленный ответвитель подают сигнал PNA-X, обеспечивая связь через внутренний сумматор для двух встроенных источников сигнала — такая конфигурация используется для измерения интермодуляционных искажений.

### Пример измерения нелинейных искажений преобразователя частоты

Для измерения нелинейных искажений преобразователей частоты нужны два источника входных сигналов и один сигнал гетеродина. Для выполнения этих измерений к PNA-X был подключен генератор сигналов Keysight MXG, как показано на рис. 3. Поскольку для подачи входного сигнала используется внешний источник, для измерения коэффициента передачи преобразователя и согласования гетеродина можно использовать быстродействующий «Источник 2». Кроме того, можно использовать внешний источник в качестве сигнала гетеродина, а два встроенных источника использовать в качестве входных сигналов.

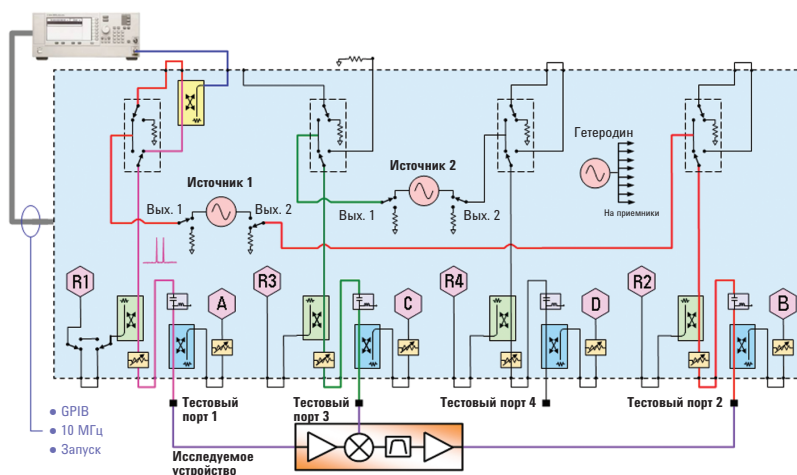


Рис. 3. Одна из возможных конфигураций PNA-X для измерения интермодуляционных искажений преобразователей частоты. Внешний источник сигнала программируется по GPIB, для синхронизации используется общий источник опорной частоты 10 МГц, чтобы PNA-X гарантированно настраивался на нужную частоту.

## Пример измерения коэффициента шума

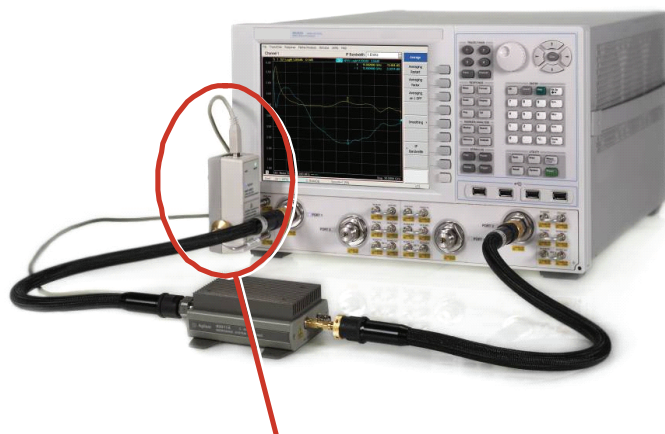
Измерения коэффициента шума очень важны для оценки качества малошумящих усилителей. Для этого PNA-X можно оснастить опцией измерения коэффициента шума методом холодного источника с коррекцией рассогласования. В состав опции входит дополнительное оборудование с микропрограммным обеспечением, включая серийно выпускаемый модуль ECal, который используется в качестве устройства согласования импеданса (рис. 4). Для калибровки системы нужен второй модуль ECal или механический калибровочный комплект, а для калибровки встроенных приемников шума потребуется источник шумоподобного сигнала. Анализатор PNA-X с этой опцией позволяет выполнять самые точные в отрасли измерения коэффициента шума с типовой скоростью, в 4-10 раз превышающей скорость анализатора коэффициента шума (рис. 5).

## Заключение

Традиционный многоприборный подход к построению ВЧ измерительных систем не обеспечивает снижения эксплуатационных расходов, к чему стремятся современные разработчики. Современный векторный анализатор цепей, подобный анализатору PNA-X, с его гибкостью, оптимизированной аппаратной частью и способностью выполнять широкий спектр измерений с высокой скоростью и точностью за одно подключение к исследуемому устройству, предлагает идеальную замену традиционным ВЧ измерительным системам. Используя это решение, разработчики могут создавать более простые измерительные системы с минимальной общей стоимостью владения.

## The Power of X

Анализатор цепей Keysight серии PNA-X, генератор сигналов MXG и анализатор сигналов MXA являются ключевыми продуктами в расширенном комплекте «Power of X» компании Keysight. Эти средства предоставляют инженерам возможность получить более глубокое понимание разрабатываемой конструкции,



Уникальная методика калибровки коэффициента шума компании Keysight использует модуль ECal в качестве устройства согласования импеданса для устранения влияния рассогласования с источником

Рис. 4. Опция для измерения коэффициента шума методом холодного источника с коррекцией рассогласования расширяет возможности PNA-X выполнять несколько измерений по одному соединению с ИУ.

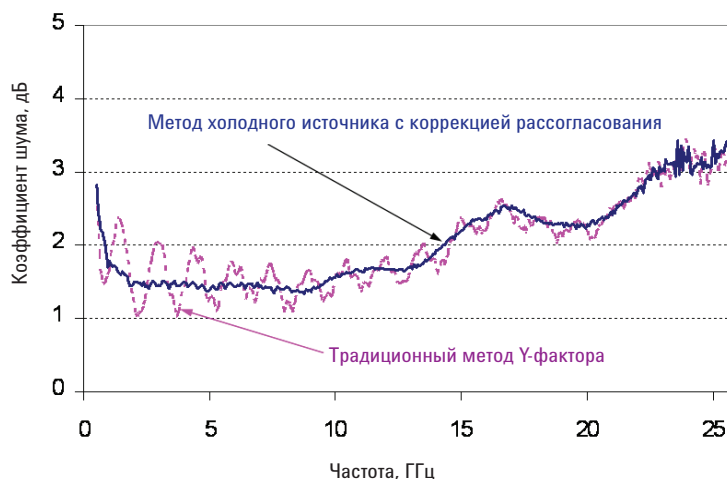


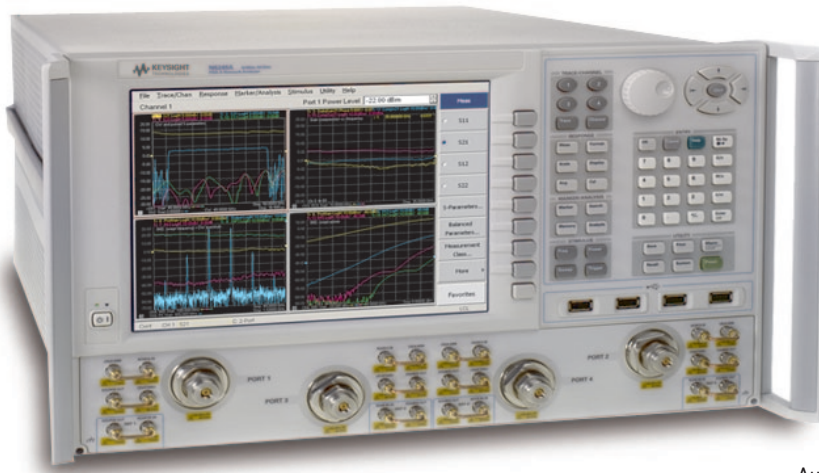
Рис. 5. Пример истинно широкополосного измерения корпусированного малошумящего транзистора. Сравняется метод измерения с коррекцией рассогласования источника с методом Y-фактора. Благодаря малым пульсациям и, следовательно, большей точности измерений, PNA-X позволяет получить точное представление о коэффициенте шума устройства.

ускорить производственные процессы, решить проблемы измерения и выйти на рынок раньше конкурентов.

Предлагая наилучшее сочетание скорости и масштабируемости, созданные и поддерживаемые известными во всем мире экспертами по измерениям, продукты Keysight серии X помогают инженерам внедрять инновационные, высоко-

производительные разработки на развивающихся рынках всего мира.

Чтобы узнать больше о продуктах серии X, посетите страницу: [www.keysight.com/find/powerofx](http://www.keysight.com/find/powerofx).



Анализатор цепей СВЧ диапазона PNA-X

### Смежные приложения

- Измерения во временной области
- Измерения характеристик дифференциальных устройств
- Измерение характеристик нелинейных компонентов:
  - анализ во временной и частотной областях;
  - X-параметры;
  - X-параметры цепей с произвольным импедансом;
  - область огибающей импульса

### Смежная продукция Keysight

- Анализатор цепей СВЧ диапазона PNA-X
- Аналоговый генератор сигналов N5181A MXG
- Векторный генератор сигналов N5182A MXG
- Опции PNA-X для тестирования активных компонентов:
  - Измерение коэффициента шума методом холодного источника с коррекцией рассогласования (опция 029)
  - Измерение параметров преобразователей частоты (опция 083)
  - Измерение параметров преобразователей частоты со встроенным гетеродином (опция 084)
  - Измерение компрессии усиления (опция 086)
  - Измерение интермодуляционных искажений (опция 087)
  - Калиброванные N-портовые измерения (опция 551)
  - Возможность измерения импульсных ВЧ сигналов (опция 551)



Аналоговый генератор сигналов N5181A MXG  
Векторный генератор сигналов N5182A MXG



myKeysight

[www.keysight.com/find/mykeysight](http://www.keysight.com/find/mykeysight)

Персонализированное представление наиболее важной для Вас информации.



[www.axiestandard.org](http://www.axiestandard.org)

AXIe представляет собой открытый стандарт, основанный на AdvancedTCA, с расширениями для контрольно-измерительных приложений. Компания Keysight входит в число основателей консорциума AXIe.



[www.lxistandard.org](http://www.lxistandard.org)

LXI представляет собой сетевой интерфейс, пришедший на смену интерфейсу GPIB и обеспечивающий более быстрый и эффективный обмен данными. Компания Keysight входит в число основателей консорциума LXI.



<http://www.pxisa.org>

PXI (PCI eXtensions for Instrumentation) – это формат модульного высокопроизводительного вычислительного и контрольно-измерительного оборудования, предназначенного для работы в жестких производственных условиях.



Трехлетняя гарантия

[www.keysight.com/find/ThreeYearWarranty](http://www.keysight.com/find/ThreeYearWarranty)

Keysight обеспечивает высочайшее качество продукции и снижение общей стоимости владения. Единственный производитель контрольно-измерительного оборудования, который предлагает стандартную трехлетнюю гарантию на все свое оборудование.



Планы Технической Поддержки Keysight

[www.keysight.com/find/AssurancePlans](http://www.keysight.com/find/AssurancePlans)

До пяти лет поддержки без непредвиденных расходов гарантируют, что ваше оборудование будет работать в соответствии с заявленной производителем спецификацией, а вы будете уверены в точности своих измерений.



[www.keysight.com/quality](http://www.keysight.com/quality)

Система управления качеством Keysight Electronic Measurement Group сертифицирована DEKRA по ISO 9001:2008

Торговые партнеры компании Keysight

[www.keysight.com/find/channelpartners](http://www.keysight.com/find/channelpartners)

Получите двойную выгоду: богатый опыт и широкий выбор продуктов Keysight в сочетании с удобствами, предлагаемыми торговыми партнерами.

[www.keysight.com/find/powerofx](http://www.keysight.com/find/powerofx)

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](mailto:tmo_russia@keysight.com)

[www.keysight.ru](http://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](mailto:tmo_russia@keysight.com)

(BP-06-09-14)