

Keysight Technologies

## Нелинейный векторный анализатор цепей (NVNA)

Передовая технология нелинейного векторного анализа цепей в диапазоне от 10 МГц до 67 ГГц



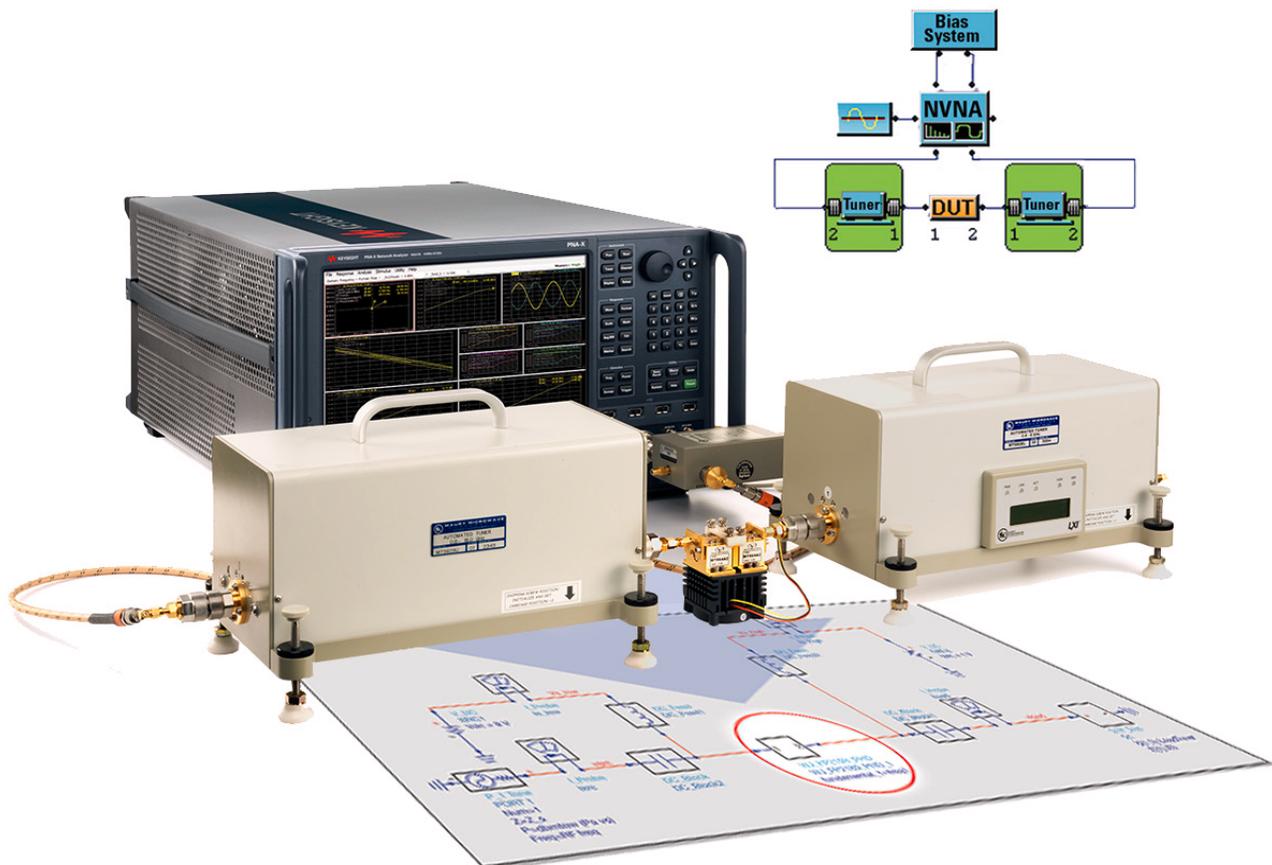
Мне известно, что коэффициент усиления усилителя изменяется в процессе согласования его выхода, но я не могу получить ответы на все интересующие меня вопросы, измерив только параметр «hot S22». При последовательном соединении отдельных каскадов усилителя мощности результирующий выходной сигнал отличается от ожидаемого. Что делать в этой ситуации? Мне нужны новые инструменты для детального анализа нелинейного поведения устройств.

Как правило, большая часть времени уходит на проектирование согласующих цепей методом проб и ошибок. На самом деле хочется измерять амплитуду и фазу во всем спектре частот тестируемых устройств.

Это только некоторые из проблем, возникающих ежедневно. Компания Keysight Technologies поможет решить их с помощью удостоенного множества наград нелинейного векторного анализатора цепей (NVNA).

Он предназначен для:

- Производителей полупроводниковых приборов и разработчиков ИС
- Разработчиков усилителей мощности базовых станций
- Разработчиков активных компонентов для оборонной промышленности
- Научно-исследовательских центров и университетов

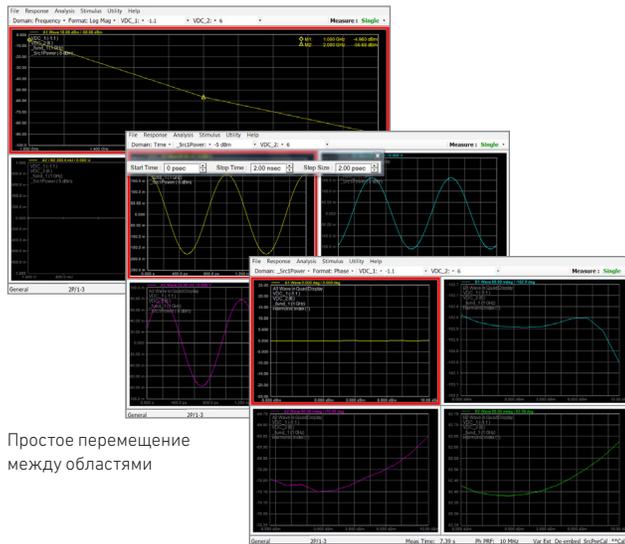


## Инновационная технология позволяет выйти за рамки линейных S-параметров

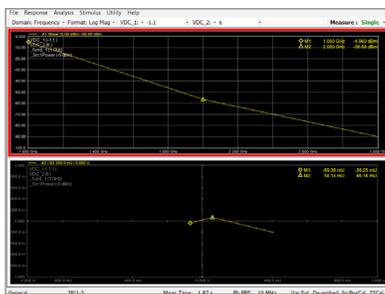
Нелинейный векторный анализатор цепей обеспечивает технологический прорыв, позволяя выйти за рамки линейных S-параметров, чтобы более точно анализировать и проектировать активные устройства в реальных условиях.

Этот анализатор обладает высоким быстродействием и мощными возможностями измерений. Для решения наиболее сложных проблем он предлагает три опции нелинейного анализа:

- Определение нелинейных характеристик компонентов
- Определение X-параметров для нелинейных цепей\*
- Измерения огибающей импульса в нелинейной области



Простое перемещение между областями



Создание пользовательских графиков

### Измерение характеристик нелинейных компонентов

На основе характеристик нелинейных компонентов можно детально исследовать нелинейное поведение тестируемого устройства (ТУ). Теперь, после калибровки и векторной коррекции, вы можете быстро и легко измерять и отображать формы падающих, отраженных и переданных волн тестируемого устройства. Это позволяет точно определять амплитуду и фазу интересующих вас продуктов искажений. Измеренные значения амплитуды и фазы спектральных составляющих прослеживаются до эталонов Национального института стандартов и технологий США (NIST).

Отображение данных в частотной и временной областях, а также в размерностях мощности, позволяет выполнять полный анализ и глубже понимать поведение устройств. Для каждой области можно подробно исследовать ее влияние на текущее состояние исследуемого устройства с целью оптимизации режима его работы. Зная значения абсолютной амплитуды и относительной фазы во всех измеренных спектрах, можно определять проблемные спектральные составляющие и разрабатывать схемы согласования, способные подавить эти нежелательные сигналы.

При определении характеристики компонента с помощью нелинейного векторного анализатора цепей можно:

- Создавать пользовательские параметрические графики, например, для отображения вольт-амперных характеристик
- Извлекать полные данные о входном и выходном сигналах для создания пользовательских моделей
- Быстро и легко выполнять настройку и измерения с помощью графического пользовательского интерфейса (GUI) передней панели прибора и интерфейса удаленного программирования

\* X-параметры являются торговой маркой и зарегистрированным товарным знаком компании Keysight Technologies 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/eesof-x-parameters-info](http://www.keysight.com/find/eesof-x-parameters-info)

## Введение в X-параметры: «новые S-параметры» для нелинейных компонентов

### X-параметры для разработки и анализа нелинейных цепей

X-параметры представляют собой математически точное расширение S-параметров для больших сигналов. На основе этих параметров тестируемое устройство можно представить в виде «черного ящика», коэффициенты которого определяются на основе простого набора физических измерений параметров этого устройства.

X-параметры позволяют рассматривать тестируемое устройство как «черный ящик» с полностью нелинейными характеристиками, у которого мы измеряем амплитуду и фазу для основной частоты и гармоник. В процессе моделирования «черные ящики» можно каскадировать для точного определения поведения компонентов при отсутствии согласования. Исследователи и разработчики могут измерять рассогласование, усиление, групповую задержку и другие параметры компонентов.

Используя X-параметры вместе с САПР ADS и симуляторами, можно уменьшить число итераций при проектировании, ускорить симуляцию и выполнять детерминированное моделирование нелинейного поведения активных компонентов. Это позволяет значительно сократить время разработки компонентов, модулей и систем для ускорения их выхода на рынок. Кроме того, поскольку X-параметры получают на основе измерений, а тестируемое устройство представляется в виде «черного ящика», то их можно использовать для более полного описания рабочих характеристик по сравнению с обычными спецификациями при одновременной защите интеллектуальной собственности разработчиков.

### Процесс работы с X-параметрами



Файл MDIF

### САПР ADS – моделирование и проектирование

Блоки X-параметров

Используя X-параметры, можно выполнять точное нелинейное моделирование при произвольных условиях согласования.

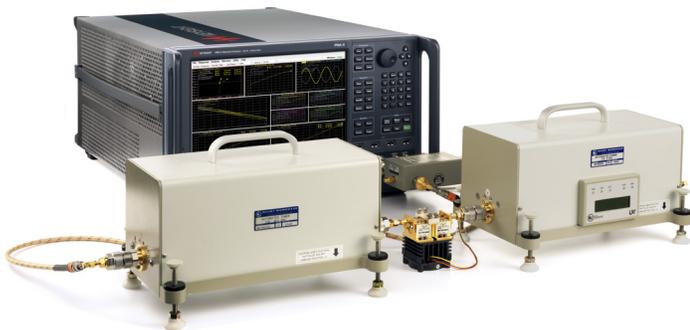
Это позволяет прогнозировать поведение компонентов в сложных нелинейных цепях.

Измерение и просмотр X-параметров

## Сбор данных для определения полного нелинейного поведения компонентов при любом импедансе нагрузки

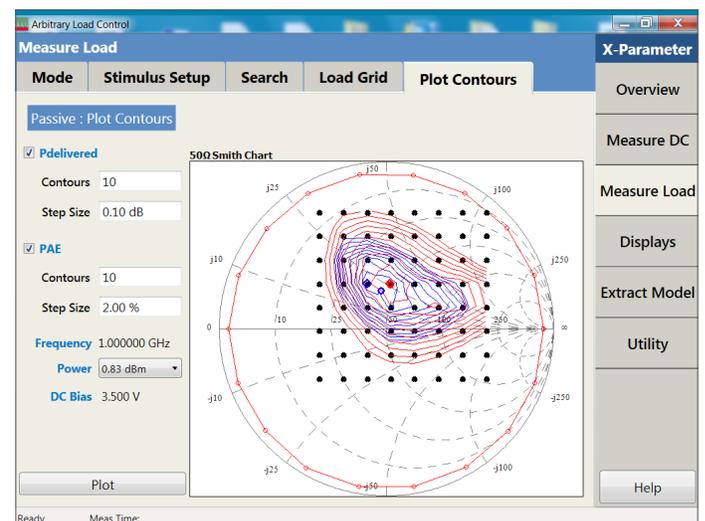
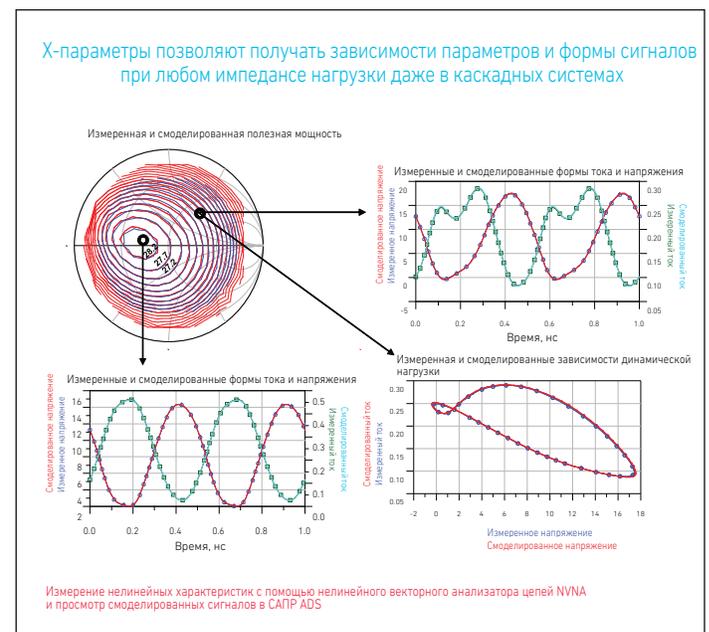
### X-параметры при измерениях с произвольным импедансом нагрузки

- Сокращение циклов проектирования на 50 % благодаря использованию реальных данных о нелинейных явлениях
- Каскадируемость X-параметров с учётом большого произвольного рассогласования в нагрузке
- Моделирование устройств и проектирование многокаскадных усилителей, усилителей Догерти или других сложных схем усилителей с помощью простого перетаскивания мышью в САПР Advanced Design System (ADS)
- Измерение и предсказание линий динамической нагрузки по входным и выходным портам в условиях произвольной нагрузки даже при большой компрессии



Анализатор цепей NVNA управляет нагрузкой с произвольным импедансом

С помощью X-параметров можно упростить и автоматизировать сбор данных для определения нелинейного поведения компонентов с произвольным комплексным сопротивлением, входной мощностью, входными частотами, значениями смещения по постоянному току и т.д. X-параметры впервые позволили унифицировать параметры рассеяния, скалярные и векторные данные при разных значениях выходного импеданса, а также характеристики гармоник, генерируемых устройством. Зависимость при полной нагрузке позволяет применять X-параметры для определения характеристик транзисторов, а также для моделирования и проектирования схем.



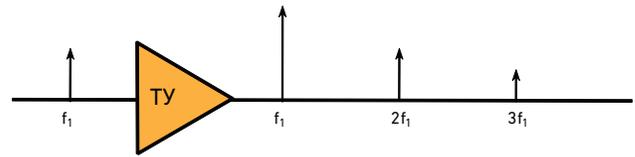
Приложение Keysight для управления нагрузкой с произвольным импедансом

## Двухтональные измерения X-параметров

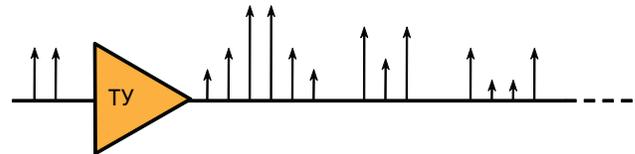
### Определение X-параметров с использованием двухтонального входного сигнала

При измерении X-параметров на исследуемое устройство подается двухтональный сигнал большого уровня. Если подать двухтональный сигнал на нелинейное устройство, то вокруг основной частоты генерируются интермодуляционные составляющие, а также гармоники. Нелинейный векторный анализатор цепей может измерить все эти искажения для получения более подробной информации о нелинейном поведении устройства.

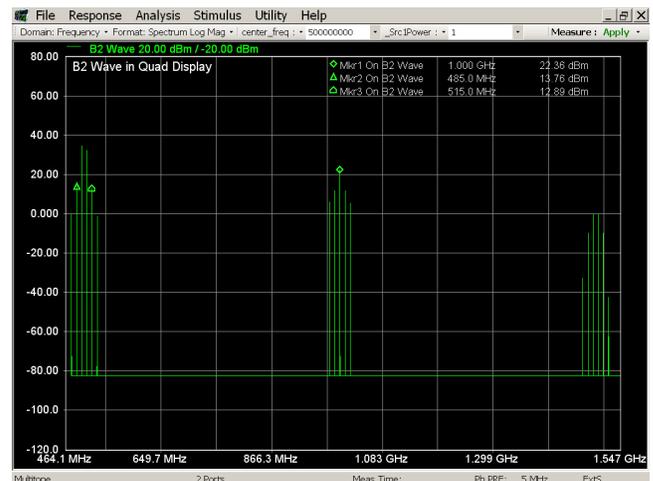
После двухтональных измерений X-параметров данные о поведении компонента можно импортировать в САПР ADS и использовать для создания модели, каскадируемой с другими компонентами для более глубокого анализа при проектировании схем. Двухтональный входной сигнал позволяет получать дополнительную информацию о зависимостях между составляющими искажений внутри полосы частот и определять возможное наличие эффектов памяти устройства.



При однотональном входном сигнале генерируются гармоники



При двухтональном входном сигнале вокруг каждой гармоники генерируются интермодуляционные составляющие

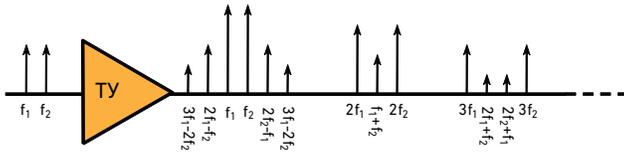


Точное измерение амплитуды и относительной фазы продуктов смешения при двухтональном входном сигнале для детерминированного проектирования схем согласования

## Измерение и анализ формы многотонального сигнала

### Оценка поведения устройства при нескольких входных сигналах большого уровня

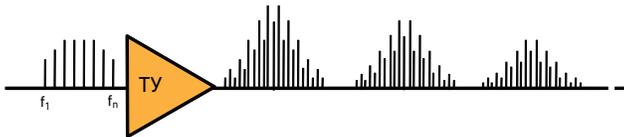
Для измерения и анализа формы сигнала на устройство можно подавать произвольное число сигналов большого уровня. Любой входной многотональный сигнал, начиная с простого двухтонального сигнала и до сигнала с произвольным числом тонов большого уровня, можно подавать на тестируемое устройство для имитации подачи множества модулированных сигналов. Это позволяет анализировать поведение устройства в условиях, близких к условиям подачи модулированных сигналов.



При двухтональном входном сигнале возникает несколько продуктов смешения

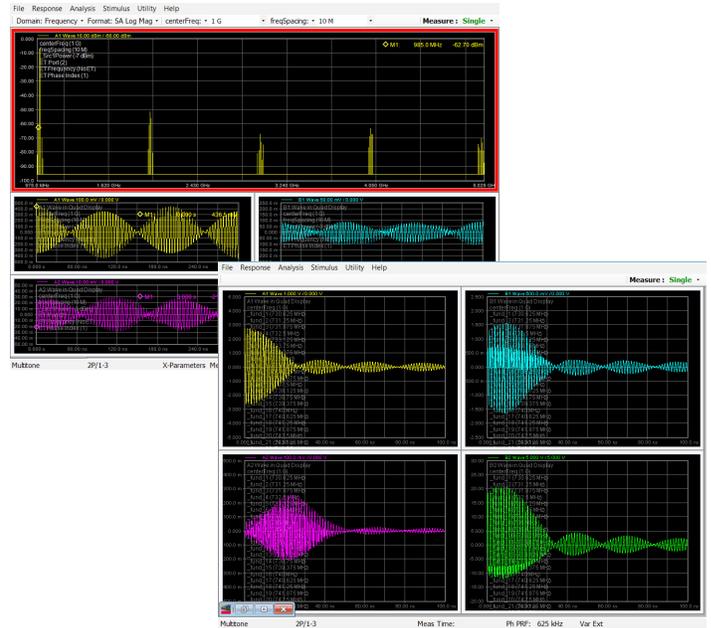
### Моделирование сложных модулированных сигналов

Поскольку большинство современных систем использует сложные модулированные сигналы, то проекты таких систем и компонентов желательно оценивать с использованием именно таких сигналов. Для генерации требуемого сложного многотонального сигнала при моделировании устройства можно использовать внешний генератор сигналов произвольной формы и генератор СВЧ.



При подаче многотонального сигнала на усилитель возникает множество сложных продуктов смешения

При подаче многотонального сигнала на нелинейное устройство на его выходе появляется множество продуктов смешения. Нелинейный векторный анализатор цепей может измерять амплитуду и фазу каждого такого продукта и определять поведение устройства при подаче на его вход сложного многотонального сигнала. На основе результатов измерений можно детально проанализировать поведение устройства или системы при наличии сложной модуляции.



На экране NVNA показан входной сигнал с центральной частотой 2 ГГц и 64 тонами, разнесенными на 80 кГц, а также форма соответствующего выходного сигнала тестируемого устройства

## Измерения смесителей и преобразователей частоты

### Определение характеристик трехпортовых устройств

Нелинейный векторный анализатор цепей позволяет определять характеристики трехпортовых устройств, таких как смесители и понижающие преобразователи. Однотональный ВЧ сигнал подается на ВЧ порт смесителя, а сигнал гетеродина (Гет.) с другой частотой и амплитудой – на порт Гет. смесителя. Уровень мощности ВЧ сигнала, поданного на смеситель, можно изменять для получения множества разных сигналов большого уровня. С помощью нелинейного векторного анализатора цепей можно измерять и определять амплитуду и фазу всех продуктов смешения на портах ВЧ, Гет. и ПЧ смесителя. Это позволяет оценивать нелинейное поведение трехпортового устройства и получить файл X-параметров для трех портов.

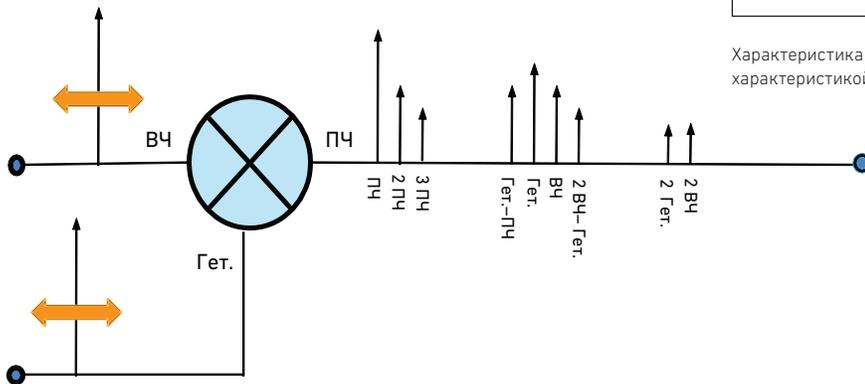
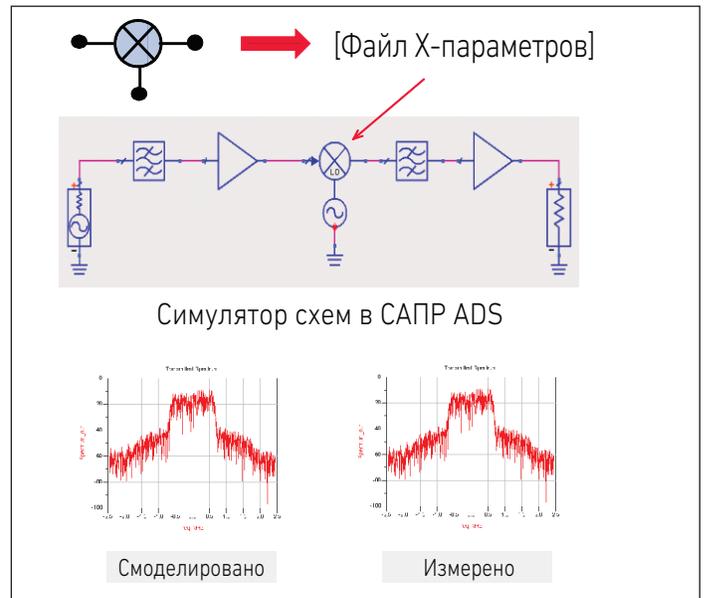
Такие измерения обеспечивают гибкое определение характеристик смесителя или преобразователя. Частоты ВЧ и Гет. можно свипировать одновременно, поддерживая постоянное значение ПЧ, или свипировать ВЧ при неизменной частоте гетеродина для свипирования ПЧ.

### Точное моделирование при проектировании системы

После измерения и определения нелинейного поведения смесителя или преобразователя, файл X-параметров для трех портов может быть импортирован в симулятор САПР ADS и использован разработчиками для точного моделирования системы.

### Измерения X-параметров трехпортового устройства позволяют:

- Определять нелинейное поведение смесителей и преобразователей
- Создавать точные модели X-параметров трехпортовых устройств, импортируемые в симуляторы САПР ADS
- Каскадировать усилители и смесители в проектируемых системах
- Точно моделировать результаты проектирования систем

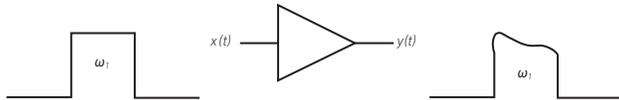


Характеристика смоделированной системы почти совпадает с измеренной характеристикой

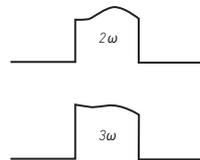
Определение нелинейного поведения смесителя

## Анализ мощности огибающей импульса

### Измерения огибающей импульса в нелинейной области

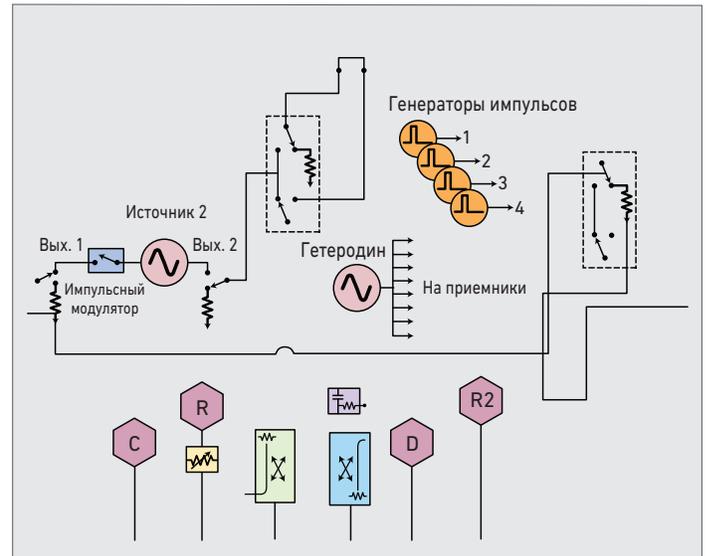


Многочастотные огибающие с изменяющимися во времени фазой и амплитудой

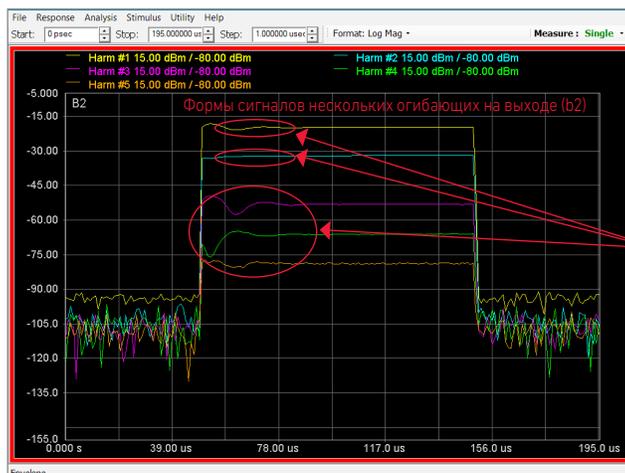


Рассмотрим основные моменты, касающиеся исследования эффектов памяти в активных нелинейных устройствах. Анализ поведения компонентов на низких частотах усложняется из-за тепловых эффектов или влияния цепей смещения, а на высоких – из-за ограничения частоты схемами согласования. Нелинейный векторный анализатор цепей измеряет, после векторной коррекции, амплитуду и фазу огибающих импульсов тестируемого устройства на основной частоте и на частотах гармоник. Отображаемые данные показывают изменение нелинейного поведения проектируемого устройства во времени, что позволяет анализировать причины появления нелинейностей и оценивать изменения, вносимые в проектируемое устройство.

Нелинейный векторный анализатор цепей PNA-X в полной мере использует преимущества опциональных внутренних импульсных модуляторов и генераторов для быстрой, точной и простой настройки измерений огибающей импульса в нелинейной области. Высокая степень интеграции значительно упрощает настройку и способствует повышению эффективности и точности измерений.



Встроенные генераторы импульсов и модуляторы анализатора цепей серии PNA-X



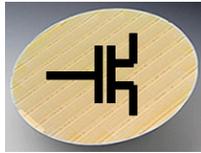
Каждая гармоника имеет уникальную форму огибающей, изменяющуюся во времени

## X-параметры только для основной частоты

Для некоторых устройств измерение уровня гармоник или не имеет большого значения, или создает дополнительные трудности. Так для множества узкополосных устройств измерять гармоники не имеет смысла, а для некоторых ВЧ устройств измерять их очень сложно. Например, уровень третьей гармоники для устройства с частотой 34 ГГц можно измерить только с помощью анализатора цепей с диапазоном частот более 100 ГГц.

Нелинейный векторный анализатор цепей позволяет измерять и определять характеристики устройств такого типа только на их основных частотах и извлекать модель X-параметров, представляющую поведение устройства в требуемой рабочей точке для сигнала большого уровня. Эта модель содержит уровень мощности, величину смещения, исходный сигнал и зависимость от импеданса нагрузки. Модель X-параметров только для основной частоты можно импортировать в симулятор САПР ADS, где она может использоваться для моделирования подобно любому другому устройству.

При использовании нелинейного векторного анализатора цепей для измерений только на основной частоте, калибровка и измерение опорных фаз не требуются. Это позволяет снизить стоимость измерений и упростить измерительные системы.



Новая интегральная схема



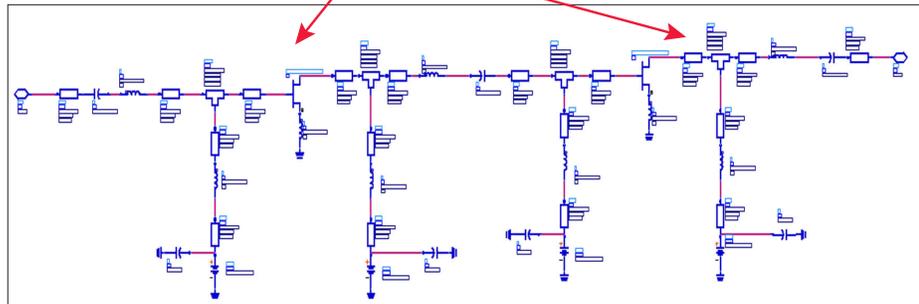
Измерение X-параметров на основной частоте



[файл X-параметров]



САПР ADS



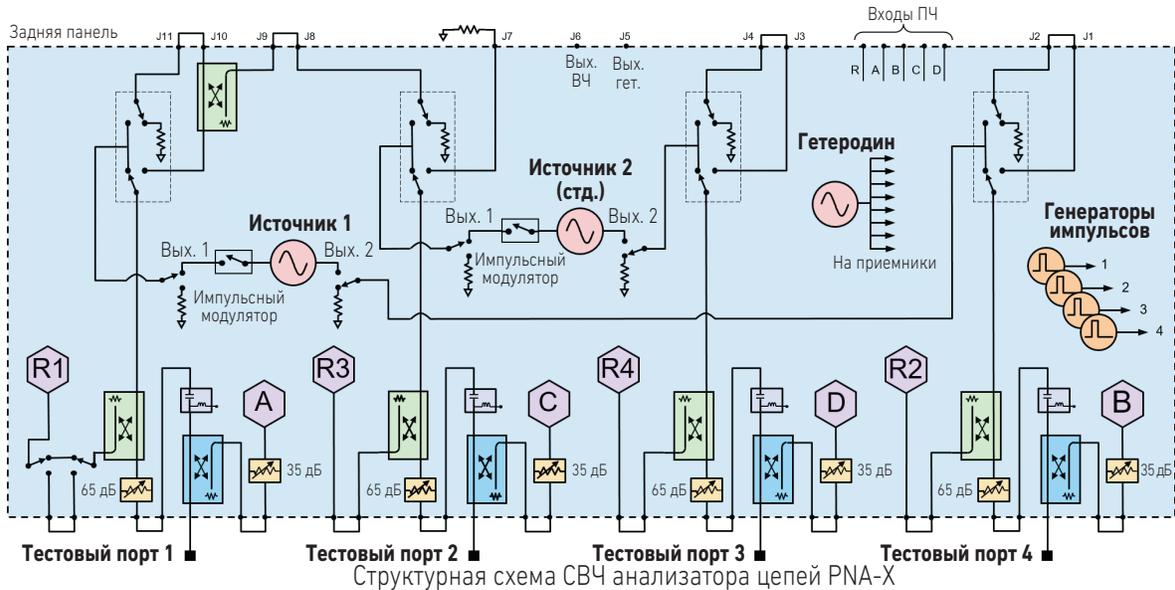
Моделирование в САПР ADS

Модели X-параметров только для основной частоты можно использовать для моделирования в САПР ADS

## NVNA: расширение возможностей самого высокопроизводительного СВЧ анализатора цепей серии PNA-X

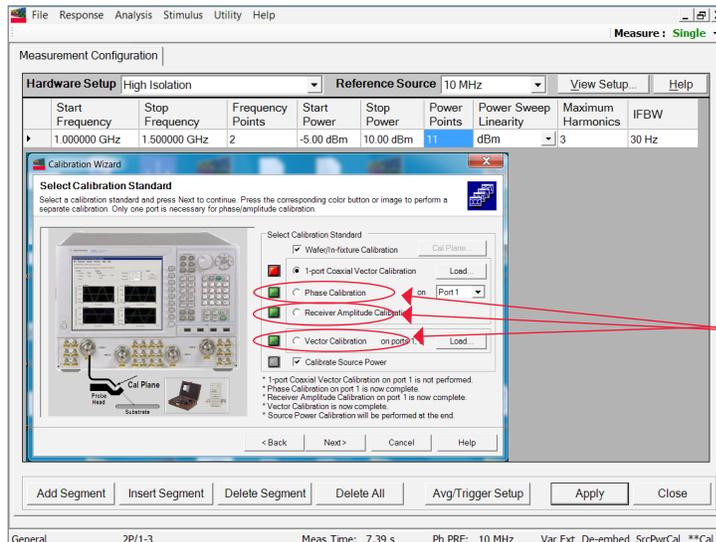
Благодаря высокой степени интеграции и широким возможностям конфигурирования, анализатор цепей серии PNA-X представляет собой идеальное средство измерений активных устройств. Сочетание качественных источников сигнала, формирующих частоты гармоник, высокочувствительных

линейных приемников, исключительной гибкости и дружелюбного пользовательского интерфейса создает выигрышную комбинацию. PNA-X с NVNA позволяет инженерам использовать самые передовые технологии разработки и тестирования компонентов.



Стандартный анализатор серии PNA-X преобразуется в NVNA с помощью минимального количества аппаратных принадлежностей и программных опций нелинейного анализа. Основа этого преобразования – процесс калибровки нелинейных измерений. Достоверность измеренных данных важна так же, как и сами данные. В нелинейном векторном анализаторе цепей векторная

калибровка фазы и амплитуды производится в соответствии со стандартами Национального института стандартов и технологий США (NIST). Простой трехэтапный процесс калибровки выполняется под руководством графического мастера калибровки, в результате чего устраняются любые систематические ошибки и максимально повышается точность.



Мастер калибровки NVNA

Векторная калибровка с использованием стандартного набора электронных или механических калибровочных мер Keysight



Калибровочный модуль

Калибровка амплитуды с помощью измерителя мощности или USB датчика мощности Keysight



USB датчик мощности

Калибровка фазы с использованием нового высококачественного генератора комбинационных частот компании Keysight

Простые в использовании генераторы комбинационных частот Keysight U9391C/F/G, используемые для задания опорной фазы гармоник, отличаются превосходными характеристиками и широким диапазоном частот. Генератор комбинационных частот, используемый в качестве основного компонента для калиброванных измерений фазы интересующих спектральных составляющих, имеет:

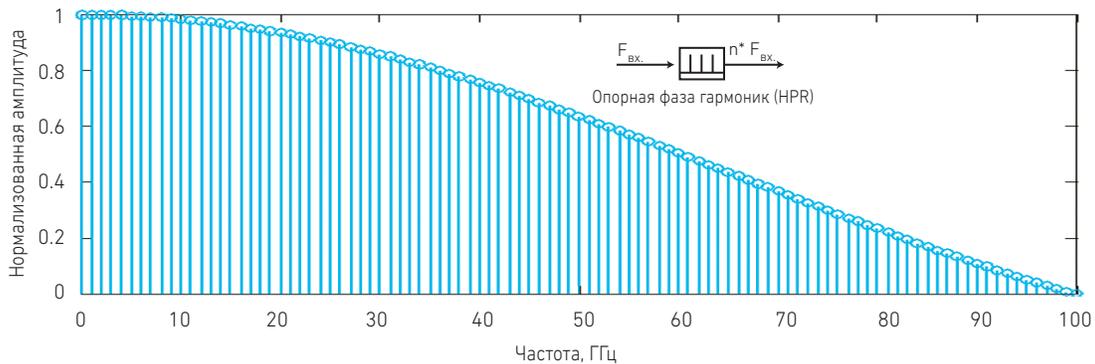
- Низкую чувствительность к изменениям температуры, входной мощности и частоты входного сигнала
- Диапазон частот от 10 МГц до 67 ГГц
- Широкий динамический диапазон



Генератор комбинационных частот U9391C, от 10 МГц до 26,5 ГГц



Генератор комбинационных частот U9391F/G, от 10 МГц до 50 ГГц или до 67 ГГц



С выхода опорной фазы выдается широкий спектр тонов с разнесением менее 1 МГц

## Информация для заказа

### Нелинейный векторный анализатор цепей (NVNA)

Нелинейный векторный анализатор цепей построен на базе анализатора цепей высшего класса серии PNA-X. Для получения дополнительной информации см. техническое описание анализатора цепей серии PNA-X по ссылке: [www.keysight.com/find/pna](http://www.keysight.com/find/pna)

#### Анализаторы цепей семейства PNA-X

N5241B, от 10 МГц до 13,5 ГГц

N5242B, от 10 МГц до 26,5 ГГц

N5244B, от 10 МГц до 43,5 ГГц

N5245B, от 10 МГц до 50 ГГц

N5247B, от 10 МГц до 67 ГГц

Нелинейный векторный анализатор цепей <sup>1</sup>	Для серии PNA-X	Для серии PNA	Для серии PNA-L	Дополнительная информация
Измерение характеристик нелинейных компонентов	S94510A <sup>2</sup>	нет	нет	Требуется опциональный измерительный блок 41x или 42x
Измерение характеристик нелинейных компонентов	S94511A <sup>2</sup>	нет	нет	Версия для стран с экспортным контролем. Требуется опциональный измерительный блок 41x или 42x
Нелинейные X-параметры <sup>3, 4</sup>	S94514A <sup>5</sup>	нет	нет	Требуется опциональный измерительный блок 42x и прикладное ПО S94510A или S94511A
Измерения огибающей импульса в нелинейной области	S94518A	нет	нет	Требуется аппаратная опция 021 и прикладное ПО S94510A или S94511A, а также S93025A или S93026A
X-параметры для нагрузки с произвольным импедансом <sup>3, 4, 7</sup>	S94520A	нет	нет	Требуется прикладное ПО S94514A
X-параметры для нагрузки с управляемым произвольным импедансом <sup>3, 4</sup>	S94521A	нет	нет	Требуется прикладное ПО S94520A

#### Генераторы комбинационных частот для задания опорной фазы<sup>6</sup>

U9391C Генератор комбинационных частот от 10 МГц до 26,5 ГГц для задания опорной фазы

U9391F Генератор комбинационных частот от 10 МГц до 50 ГГц для задания опорной фазы

U9391G Генератор комбинационных частот от 10 МГц до 67 ГГц для задания опорной фазы (требуется источник питания +15 В, 2 А)

В качестве источника питания постоянного тока для генераторов комбинационных частот рекомендуется источник N6705B с соответствующими модулями или эквивалентный.

С техническим обзором генераторов комбинационных частот Keysight U9391C/F/G можно ознакомиться по ссылке:

<http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5989-7619EN.pdf>

#### Требуемые нелинейные принадлежности

Измеритель или датчик мощности Keysight, или USB датчик мощности Keysight.

Механические или электронные калибровочные меры Keysight для векторной калибровки.

Если требуемое разнесение между тонами отличается от 10 МГц, для подачи основного сигнала на генератор комбинационных частот вместо встроенного источника опорного сигнала 10 МГц анализатора цепей PNA-X можно использовать другой источник сигналов Keysight, например, генератор MXG или PSG.

- Для создания полностью конфигурируемой системы нелинейного векторного анализа цепей необходимы два генератора комбинационных частот с источниками питания, механические или электронные калибровочные комплекты Keysight, а также измеритель мощности с датчиком или USB датчик мощности.
- Для импульсных измерений требуются опция 021 и прикладное ПО S93025A или S93026A.
- Для извлечения X-параметров требуется генератор сигналов EXG, MXG или PSG (если требуемое разнесение между тонами составляет 10 МГц, можно использовать выход опорной частоты 10 МГц анализатора цепей PNA-X).
- X-параметры являются торговой маркой и зарегистрированным товарным знаком компании Keysight Technologies 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](http://www.keysight.com/find/eesofx-parameters-info).
- Для импульсных измерений требуются опции 021, 022 и прикладное ПО S93025A или S93026A.
- Для нелинейных измерений требуются генераторы комбинационных частот, задающие две опорные фазы; измерения X-параметров только на основной частоте выполняются без генераторов комбинационных частот.
- Требуется дополнительное приложение для управления нагрузкой: ПО Keysight S94521 или ПО Maury Microwave или ПО Focus Microwave.

## Развиваемся с 1939 года

Уникальное сочетание наших приборов, программного обеспечения, знаний и опыта наших инженеров позволит вам воплотить в жизнь новые идеи. Мы открываем двери в мир технологий будущего.

От Hewlett-Packard и Agilent к Keysight



### 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)

### myKeysight

myKeysight

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

Персонализированная подборка только нужной вам информации.

[http://www.keysight.com/find/emt\\_product\\_registration](http://www.keysight.com/find/emt_product_registration)

Зарегистрировав свои приборы, вы получите доступ к информации о состоянии гарантии и уведомлениям о выходе новых публикаций по приборам.

### KEYSIGHT SERVICES Accelerate Technology Adoption. Lower costs.

Услуги Keysight

[www.keysight.com/find/service](http://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 проверке 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.

Планы технической поддержки Keysight

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

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

Получите двойную выгоду: глубокие профессиональные знания в области измерений и широкий ассортимент решений компании Keysight в сочетании с удобствами, предоставляемыми торговыми партнерами.

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

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



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

Система управления качеством  
Keysight Technologies, Inc.

сертифицирована DEKRA по ISO 9001:2015



Unlocking Measurement Insights

Технические характеристики и описания  
продуктов могут изменяться без  
предварительного уведомления.

© Keysight Technologies 2017

Published in USA, December 01, 2017

5989-8575RURU

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