



Микроволновые и миллиметровые сигналы

Решения для измерения коэффициента

шума

компании Saluki Technology Inc.

1 Зачем нужен коэффициент шума?

Рисунок шума определяется как **ухудшение отношения сигнал/шум** между входом и выходом. Это значение в дБ, которое определяет количество шума, которое устройство/схема/система добавляет к сигналу, проходящему через него/нее.

Чем меньше, тем лучше. Это одна из ключевых характеристик для количественной оценки способности обрабатывать очень слабые сигналы. Она широко используется для характеристики возможностей усилителя, смесителя, повышающего/понижающего преобразователя частоты, приемного канала и даже целой приемной системы

$$NF = 10 \log_{10}(F) = 10 \log_{10} \left(\frac{SNR_i}{SNR_o} \right) = SNR_{i, \text{dB}} - SNR_{o, \text{dB}}$$



Оптимизация коэффициента шума от 2 дБ до 1 дБ для приемника равно увеличению на 26% мощности передачи или увеличению на 40% диаметра

1.1 Существуют две теории измерения КШ

А. Y-Фактор (горячий - холодный источник)

В этом методе используется откалиброванный широкополосный источник шума, который содержит два температурных состояния: высокотемпературное состояние, T (источник ВКЛ) с более высокой выходной мощностью шума, и состояние низкой температуры, T (источник ВЫКЛ) с уменьшенным выходным шумом. Сигнал с источник шума подается на вход тестируемого устройства (DUT), и мощность шума на выходе DUT измеряется для каждого из двух состояний входного шума. По этим измерениям рассчитываются коэффициент шума и усиление DUT.

Этот метод подходит для [анализатора спектра](#) с опцией измерения КШ и специального [анализатора коэффициента шума](#).

$$F = \frac{SNR_{in}}{SNR_{out(1)}} \quad \longrightarrow \quad N_s = kT_0BG_1 \left(\frac{ENR}{Y-1} - 1 \right) \quad ENR = \frac{T_{hot} - T_{cold}}{290K}$$

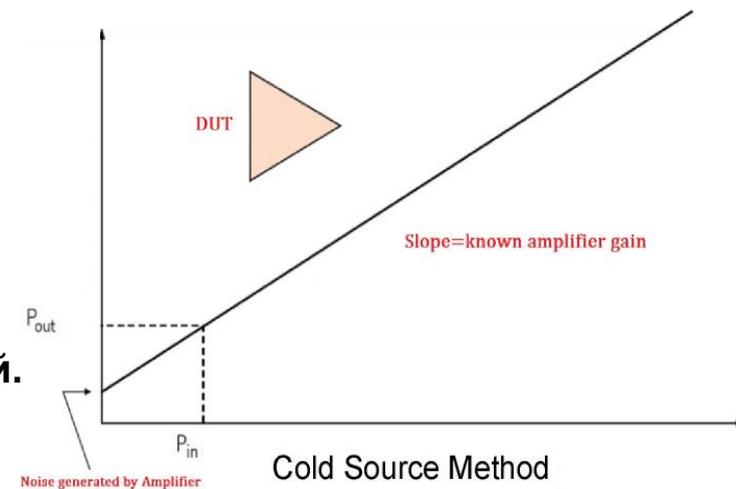
1.2 Существуют две теории измерения КШ

В. Холодный источник

Другой метод – это метод холодного источника или прямого шума. Устройство электронной калибровки E-cal может изменять согласование источника около 50 Ом. Используя модель мощности шума и векторной ошибки при различных импедансах, этот метод может рассчитать точный коэффициент шума менее 50 Ом.

Этот метод подходит для **векторного анализатора цепей** с опцией измерения КШ.

- Обеспечивает алгоритм коррекции рассогласования
- Данные S-параметров могут уменьшить погрешность определения коэффициента шума
- Требуется тюнер и программное обеспечение для анализа
- Система измерения может быть сложной и весьма дорогой.



1.3 Сравнение двух методов определения КШ

◆ Метод Y-фактора

- Самый распространенный метод и самое экономичное решение
- Когда источник шума может быть подключен к тестируемому устройству, а избыточный уровень шума (ENR) низкий, этот метод может обеспечить высокую и приемлемую точность.
- Источник шума необходим во время калибровки и измерения.

◆ Метод холодного источника

- Работа с высокопроизводительным векторным анализатором цепей, может одновременно обеспечивать измерение S-параметров и КШ
- Обладает высочайшей точностью измерений.
- Нужен ВАЦ, электронный калибратор и источник шума. Самое дорогостоящее решение.
- Источник шума необходим в процессе калибровки



Малошумящие микросхемы



смесители и конвертеры



цепь приемника сигналов

Решения для измерения коэффициента шума

▶ Анализ конкурентоспособности

2. Решения для измерения КШ

Система измерения коэффициента шума может автоматически измерять коэффициент шума линейной или квазилинейной цепи. Она может выполнять множество функций, таких как калибровка, коррекция ошибок и расчет погрешности.

Существуют три способа измерения КШ



Анализатор Коэффициента шума
(специализированный прибор)
(с опцией измерения Кш)



Анализатор
спектра



Векторный анализатор
цепей (с опцией
измерения КШ)

Вместе с различными **источниками шума** или **наборами для электронной калибровки (E-Cal)**.
Для приложений суб-терагерцового диапазона также необходимы приемные модули расширителей частоты.

2.1 Анализатор коэффициента шума серии S3986

Специальный прибор для измерения КШ

- От 10 МГц до 67 ГГц (до 110 ГГц)
- Режимы измерения усилителя /повышающего преобразователя /понижающего преобразователя
- Стандартный/интеллектуальный источник шума
- Компенсация потерь, калькулятор погрешности, функции ограничения
- Обладает очень низким собственным коэффициентом шума со стандартным предусилителем



Стандарт серии S16603



Интеллектуальный источник

Анализатор КШ серии S3986 коаксиального тракта
10 МГц - 67 ГГц, расширяемый до 110 ГГц



2.2 Анализатор коэффициента шума серии S3986

S3986A: 10 МГц - 4 ГГц
S3986D: 10 МГц - 18 ГГц
S3986E: 10 МГц - 26,5 ГГц
S3986F: 10 МГц - 40 ГГц
S3986H: 10 МГц - 50 ГГц
S3986L: 10 МГц - 67 ГГц
расширитель до 110 ГГц

Серия решений для измерения КШ с полной полосой



2.3 Анализатор коэффициента шума серии S3986

Высокая чувствительность, надежность и точность

Высокая чувствительность

Чувствительность лучше, чем -165 дБм/Гц от 10 МГц до 50 ГГц. Наилучшая чувствительность может составлять -170 дБм/Гц.

Для решения проблемы измерения коэффициента шума для сверхмалозумящих компонентов, схем и систем в новых приложениях

Высокая точность

Диапазон КШ: 0 - 35 дБ
Погрешность измерения: 0,1 дБ

радаров/5G.
Для точных измерений Кш в большом диапазоне Кш в передатчиках и лампах бегущей волны.

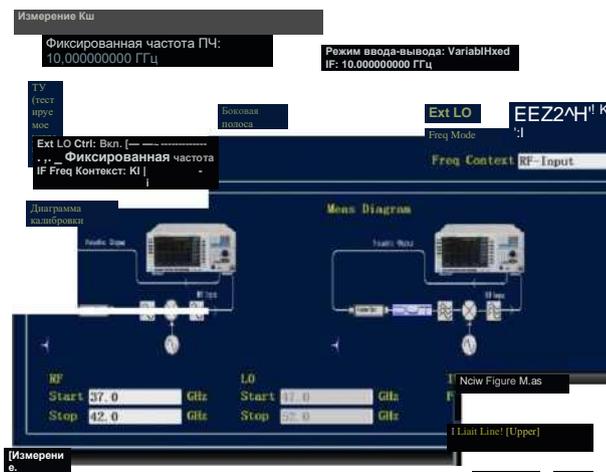
Высокая надежность

Максимальная рабочая входная мощность: +25 дБм
Выдерживает импульсы переменного тока, индуцированные сетью 50Гц/220В или 60 Гц/110

Цепи защиты портов могут гарантировать очень высокую надежность для удовлетворения требований радаров и систем связи к ИС или устройствам с высоким коэффициентом усиления.

2.4 Анализатор фигур шума серии S3986

Многофункциональность, высокая стабильность

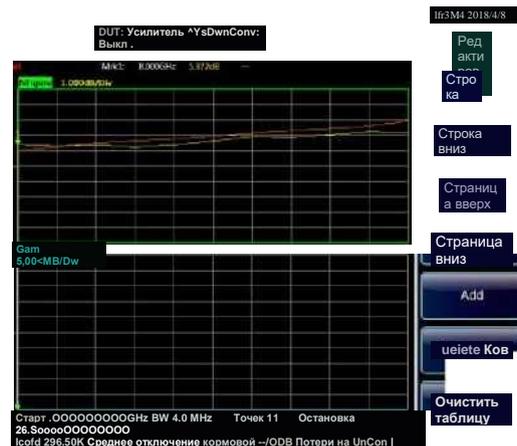


Анализ спектральной плотности шума

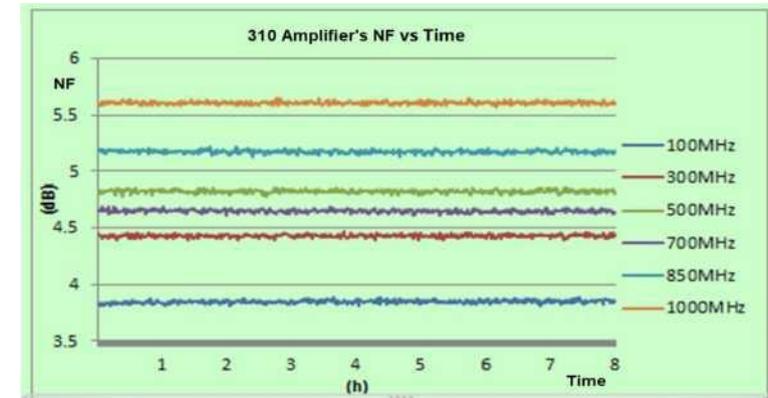
Несколько выражений, использующих таблицы или кривые

Встроенный калькулятор погрешности

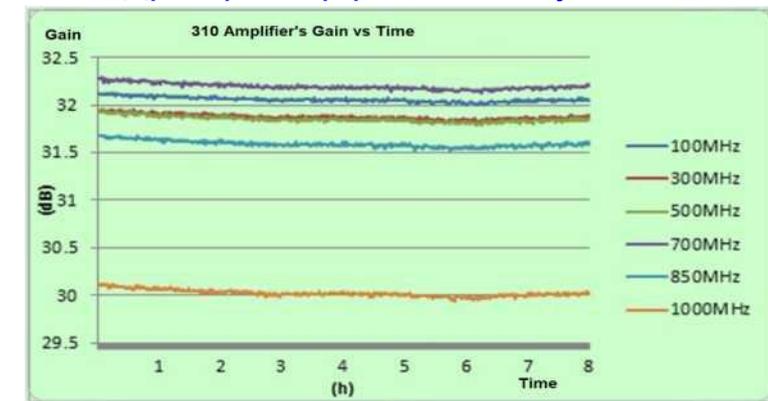
- Простая конфигурация;
- Автоматическое тестирование многоступенчатых цепей преобразования частоты;
- Компенсация усиления до или после ТУ.
- Автоматический расчет погрешности;
- Простота в эксплуатации;



Изменение КШ и усиления в течение 8 часов



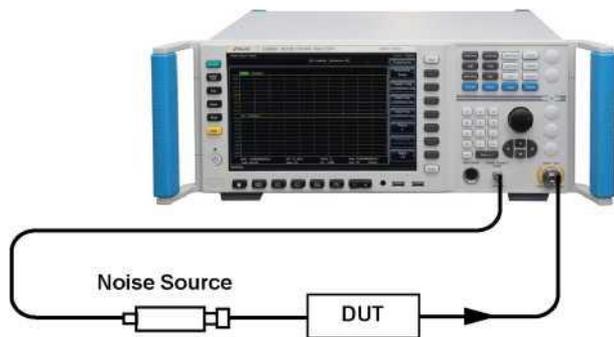
Дрейф коэффициента шума < 0,1 дБ



Дрейф коэффициента усиления < 0,2 дБ в течение 8 часов

3 Анализатор коэффициента шума серии S3986 имеет несколько функций

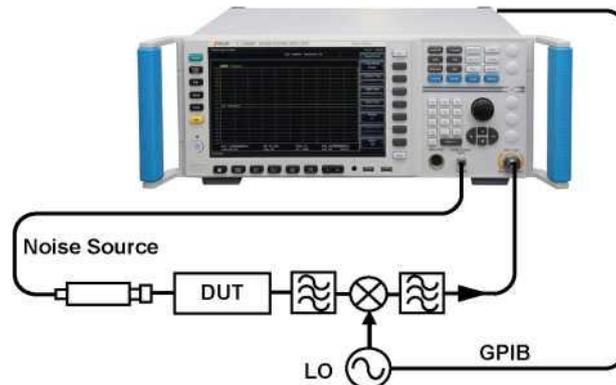
А. Измерение КШ и коэффициента усиления для линейных компонентов и систем



А. Базовый режим усилителя

Для общих измерений КШ и коэффициента усиления усилителя.

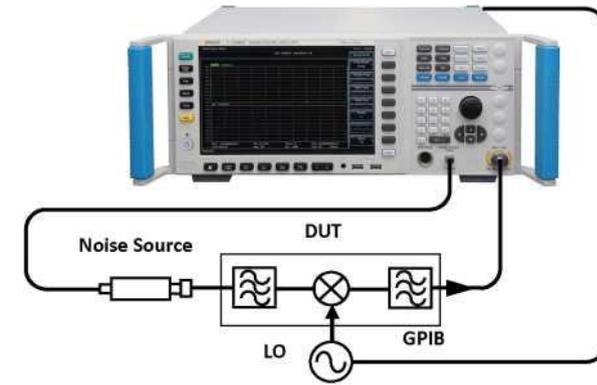
В. Измерение КШ и коэффициента усиления для усилителя с более высокой частотой



В. Режим понижающего преобразователя системы.

Когда частота усилителя больше, чем у КШ, внешний смеситель может быть настроен на понижающее преобразование частоты.

С. Измерение КШ и коэффициента усиления для канала повышающих /понижающих преобразователей и приемника



С. Измерение преобразователя вверх/вниз

Когда тестируемое устройство имеет повышающий /понижающий преобразователь, такой как смеситель/ передатчик/приемник, вы можете управлять внешним гетеродином через GPIB для выполнения измерений.

4 Анализатор коэффициента шума серии S3986

Выбор конфигурации анализатора КШ серии S3986

Модель	Частота	Диапазон Кш	Погрешность измерения Кш	Порты
S3986A	10 МГц - 4 ГГц	0 -30дБ	± 0,05 дБ	Вход: 3,5 мм (вилка) Источник шума: стандартный с разъёмом BNC или интеллектуальный с многопроводным разъёмом
		0 -35 дБ	± 0,10 дБ	
S3986D	10 МГц - 18 ГГц	0-30 дБ	± 0,10 дБ	
		0-35 дБ	± 0,15 дБ	
S3986E	10 МГц - 26,5 ГГц	0-30 дБ	± 0,10 дБ	
		0-35 дБ	± 0,15 дБ	
S3986F	10 МГц - 40 ГГц	0-30 дБ	± 0,10 дБ	Вход: 2,4 мм (вилка) Источник шума: стандартный с разъёмом BNC или интеллектуальный с многопроводным разъёмом
		0-35 дБ	± 0,15 дБ	
S3986H	10 МГц - 50 ГГц	0-30 дБ	± 0,10 дБ	
		0-35 дБ	± 0,15 дБ	

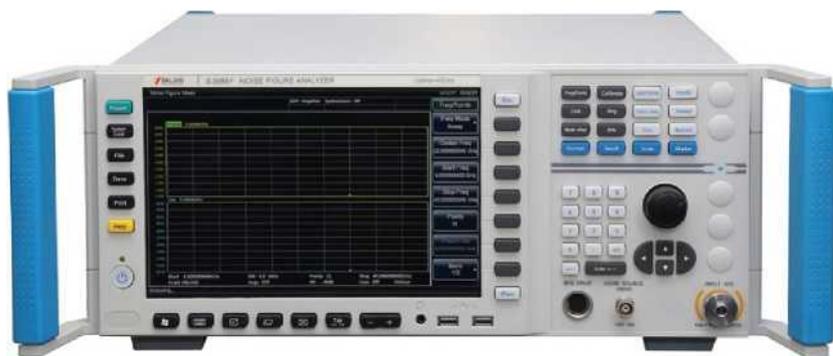
5 Анализатор коэффициента шума серии S3986

Выбор источника шума серии S16603/4

Модель источника шума	Частота	ENR	Выход	Типы
S16603DA	10 МГц - 18 ГГц	(5 - 8) дБ	3,5 мм(вилка)	Стандартный BNC
S16603DB	10 МГц - 18 ГГц	(14 - 17)дБ		
S16603EB	10 МГц - 26,5 ГГц	(12-17) дБ		
S16603FB	10 МГц - 40 ГГц	(12 - 19)дБ	2.4mm (вилка)	
S16603HB	10 МГц - 50 ГГц	(10-19) дБ		
S16603LB	10 МГц - 67 ГГц	(6 - 21)дБ	1,85 мм (вилка)	
S16604DA	10 МГц - 18 ГГц	(5 - 8) дБ	3,5 мм(вилка)	Интеллектуальный
S16604DB	10 МГц - 18 ГГц	(14 - 17)дБ		
S16604EB	10 МГц - 26,5 ГГц	(12-17) дБ		
S16604FB	10 МГц - 40 ГГц	(12 - 19) дБ	2.4mm (вилка)	
S16604HB	10 МГц - 50 ГГц	(10 - 19) дБ		
S16604LB	10 МГц - 67 ГГц	(6 - 21)дБ	1,85 мм (вилка)	

6 Анализатор коэффициента шума серии S3986

Расширение частоты измерения КШ до 110 ГГц



S82411H/K
(5 мм) |



S82411L/N/P
(3 мм) |



Анализатор коэффициента шума серии S3986

- Диапазон частот от 10 МГц до 50 ГГц
- Стандартная конфигурация с предварительным усилителем.
- Режим измерения Усилителя/Повышающего преобразователя/Понижающего преобразователя, поддержка стандартного/интеллектуального источника шума
- Анализатор КШ отличается сверхнизким коэффициентом собственного шума и очень низкой погрешностью.

Модуль расширения частоты для измерения

Для тестирования КШ микроволновых усилителей и повышающих/понижающих преобразователей на частотах до 110 ГГц.

7 Анализатор коэффициента шума серии S3986

Модули расширения частоты измерения КШ



Технические характеристики модулей расширения частотного диапазона серии Saluki S82411.

Поддерживают только анализатор КШ серии S3986.

Технические характеристики	S82411H	S82411K	S82411L	S82411N	S82411P
Диапазон частот (ГГц)	50 - 63.5	61.5 - 75	75 - 88.5	86.5 - 100	96.5 - 110
Входной КСВ	< 1.7:1	< 1.7:1	< 1.8:1	< 1.8:1	< 1.8:1
Собственный Кш (дБ)	< 16	< 16	< 10	< 10	< 10
Выходной диапазон ПЧ (ГГц)	4.5 - 18	4.5 - 18	4.5 - 18	4.5 - 18	4.5 - 18
Коэффициент преобразования канала (дБ)	> 5	> 5	> 5	> 5	> 5
Подавление зеркального изображения (дБ)	> 30	> 30	> 30	> 30	> 30

8 Анализатор коэффициента шума серии S3986

Типичная конфигурация измерения КШ 110 ГГц



Особенности системы:

- Очень низкий показатель собственного КШ прибора;
- Передовые в отрасли чувствительность и точность;
- Автоматический расчет погрешности измерений;
- Три режима измерения с большей гибкостью.

Конфигурация системы анализа КШ Saluki 110 ГГц

	Модуль и название	Марка	Кол-во	Замечания
1	Анализатор КШ S3986 D/E/F/H/L	Saluki	1	Основной блок с частотой более 18 ГГц
2	Расширительные модули серии S82411	Saluki	1 комплект	Полосовые модули для расширения до 110 ГГц. WR15/WR10
3	Источник шума NC5115 или NC5110	Noisecom	1	От 50ГГц до 75ГГц, WR15; от 75ГГц до 110ГГц, WR10

8.1 Опция КШ на основе анализатора спектра

Анализатор спектра/сигналов серии Saluki S3503



- От 3 Гц до 67 ГГц, до 750 ГГц
- Обширные функции измерения
- полоса анализа 550 МГц
- Мощная способность анализа спектра

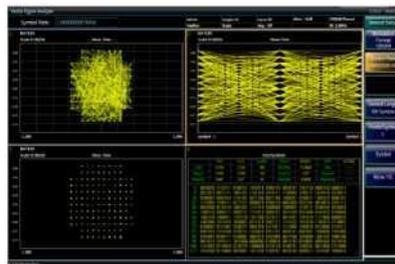
Широкий
диапазон
частот

Высокие
характеристики

Несколько
функций

Высокая
надежность

3 Гц до 4/ 9/ 13.2/ 18/ 26.5/ 40/ 45/ 50/ 67 ГГц



8.2 Опция КШ на основе анализатора спектра

Анализатор спектра/сигналов серии Saluki S3503



Анализатор спектра/сигналов серии S3503
(H34: малошумящий предусилитель + H48: опция КШ)

+

Источник шума серии S16603/4



Автоматический импорт

Имеет те же возможности, что и анализаторы КШ серии S3986!

Авторские права принадлежат компании Saluki Technology
Перевод выполнен компанией ООО «Интермера» в 2021г.
www.intermera.ru, www.pribor4test.ru
Тел.: +7 495 941-04-34

8.3 Опция КШ на основе анализатора спектра

Особенности

- Измерение коэффициента шума до 50 ГГц;
- Комплексные функции измерения коэффициента шума для K_u , Y -фактора, эффективной температуры и т. д.
- Измерение коэффициента шума до 50 ГГц;
- Комплексные функции измерения коэффициента шума для K_u , Y -фактора, эффективной температуры и т. д.
- С дополнительным внутренним предусилителем в анализаторе спектра
- Работает с интеллектуальными источниками шума серии S16604 и традиционными источниками шума серии S16603 с питанием от BNC
- Калькулятор погрешности измерения поможет вам быстро получить её значение



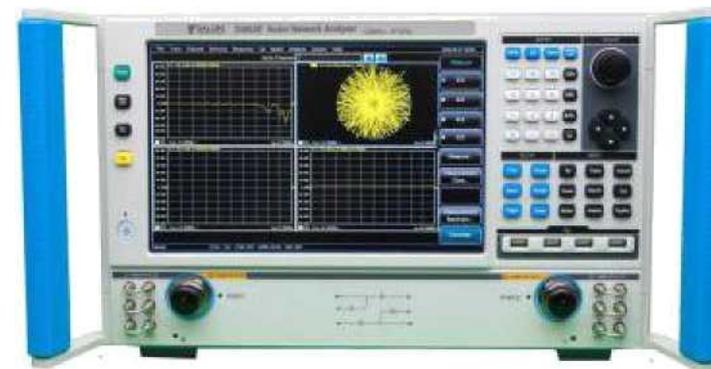
Результат теста КШ и КУ

Имеет те же возможности, что и анализаторы КШ серии S3986!

8.4 Измерение КШ на основе ВАЦ

Векторный анализатор цепей серии Saluki S3602

- Широкий диапазон частот: 10 МГц - 67 ГГц, с возможностью расширения до 750 ГГц
- Превосходный динамический диапазон и скорость тестирования
- Высокоинтегрированный и настраиваемый
- Несколько функций с множеством опций, расширяемые функции
- Высокая повторяемость, надежность и стабильность
- Полная тестовая конфигурация для различных систем автоматического тестирования



S3602 ВАЦ (2 или 4 порта)

Анализатор цепей серии S3602 + Модули расширения частоты S364x

And S364X Frequency Extender Modules



8.5 Измерение КШ на основе ВАЦ

Как измерить КШ с помощью ВАЦ - 1

- Частота от 10 МГц до 50 ГГц
- Обеспечивает скалярные и векторные методы
- Поддержка S-параметров, КШ и измерения параметров шума с одного нажатия
- Поддержка различных методов калибровки

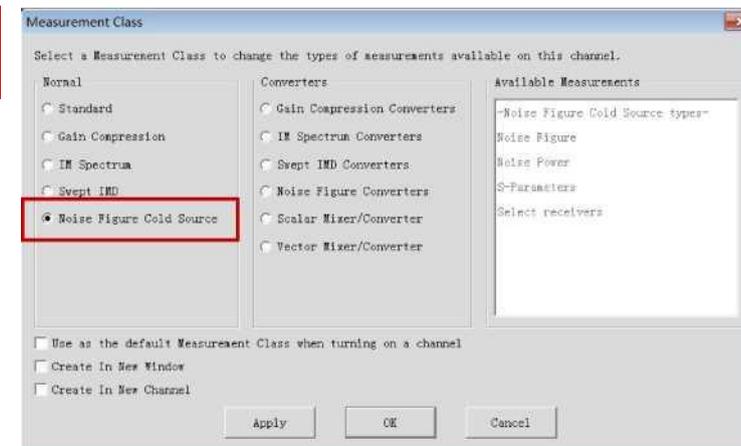


Настройка конфигурации измерений Кш

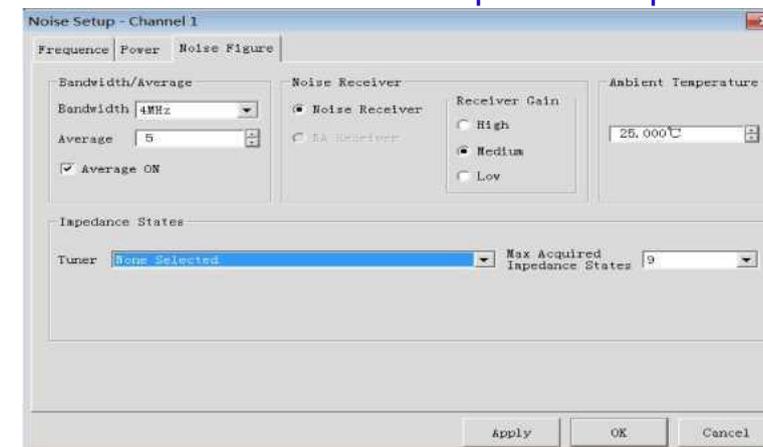
VNA серии S3602
(003: опция КШ)
+
Серия 2040X E-cal
+
16603 серия ИШ



Источник шума + E-cal



Шаг 1. Выберите измерение



Шаг 2: Настройка конфигурации измерения КШ

Авторские права принадлежат компании Saluki Technology
Перевод выполнен компанией ООО «Интермера» в 2021г.

www.intermera.ru, www.pribor4test.ru

Тел.: +7 495 941-04-34

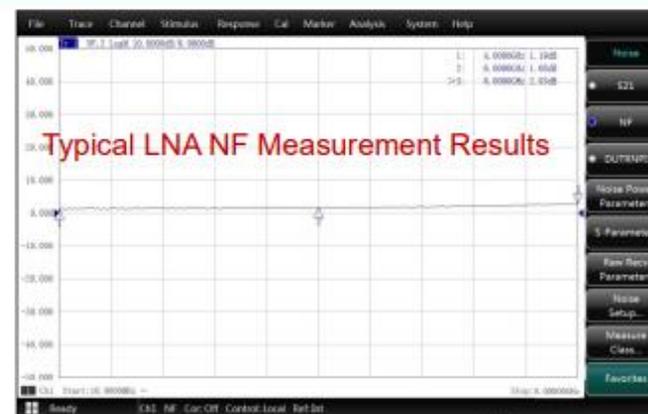
*Авторские права принадлежат компании Saluki Technology
Перевод выполнен компанией ООО «Интермера» в 2021г.
www.intermera.ru, www.pribor4test.ru
Тел.: +7 495 941-04-34*

8.6 Измерение КШ на основе ВАЦ

Как измерить КШ с помощью ВАЦ – 3



E-Cal



Шаг 3: Выбор и настройка методов калибровки

Saluki - надежность и точность

Авторские права принадлежат компании Saluki Technology
Перевод выполнен компанией ООО «Интермера» в 2021г.
www.intermera.ru, www.pribor4test.ru
Тел.: +7 495 941-04-34

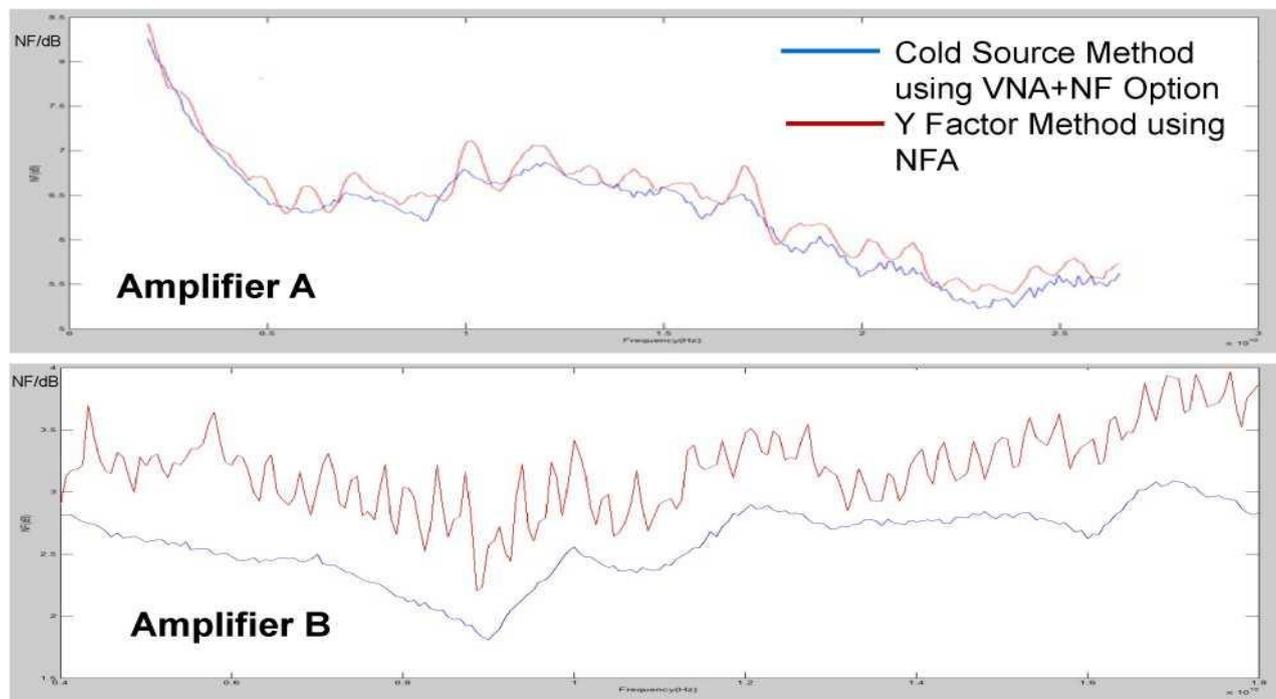
9 Измерение КШ на основе ВАЦ

Сравнение результатов измерений КШ с использованием ВАЦ и анализатора КШ



Шаг 4: Подключите ТУ и проведите измерение

Электронная калибровка и источник шума необходимы только в процессе калибровки.



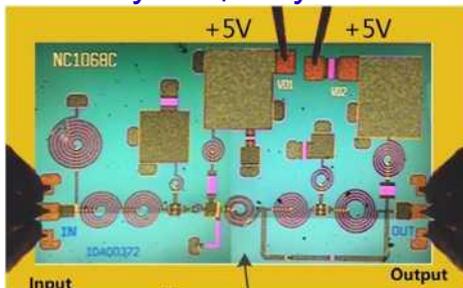
Оба метода имеют схожий результат. Метод холодного источника на основе ВАЦ может дать более точное и плавное значение.

10 Измерение КШ на основе ВАЦ

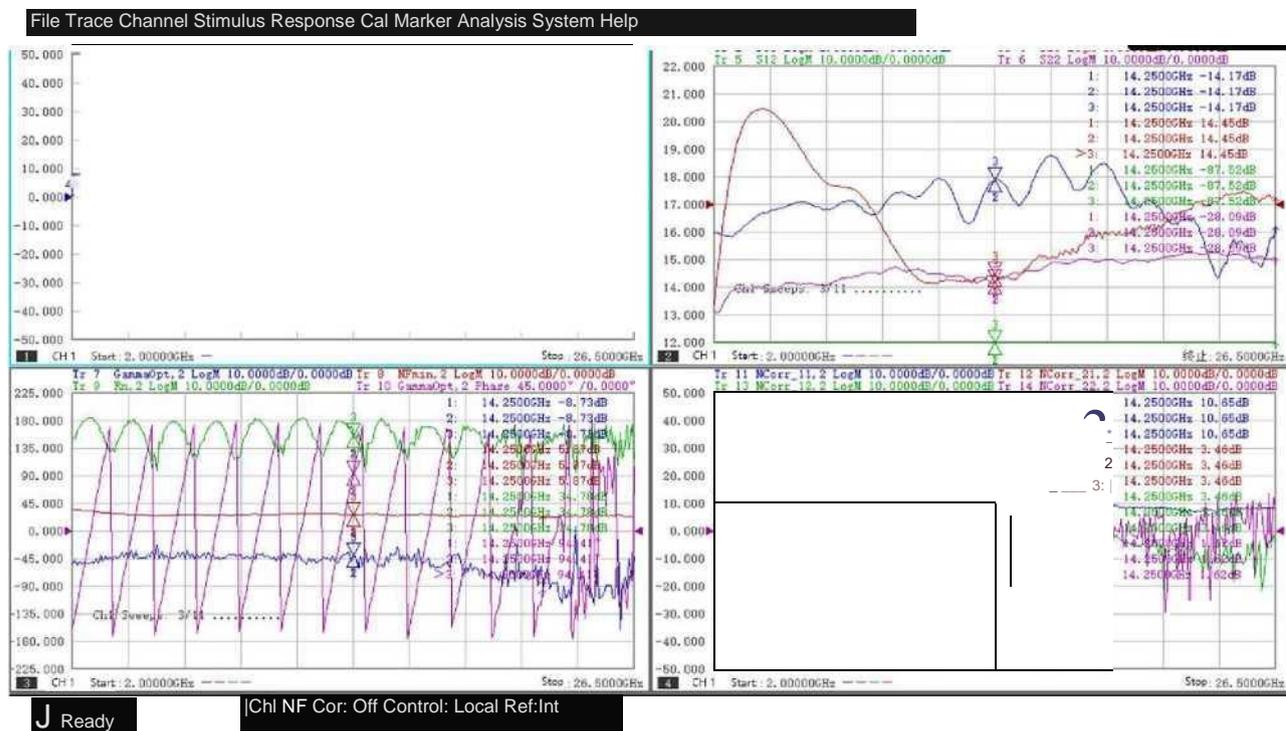
Высочайшая эффективность и точность измерений для комплексной характеристики компонентов

- Одно соединение для S-параметров, коэффициента шума, параметров шума, сжатия и интермодуляционных искажений и т. д.
- Более высокая скорость: как минимум в 4 раза быстрее, чем в обычном анализаторе КШ
- Несколько типов отображения для выражения результатов.

Тест микросхемы малошумящего усилителя



Скриншот измерения параметров шума с помощью

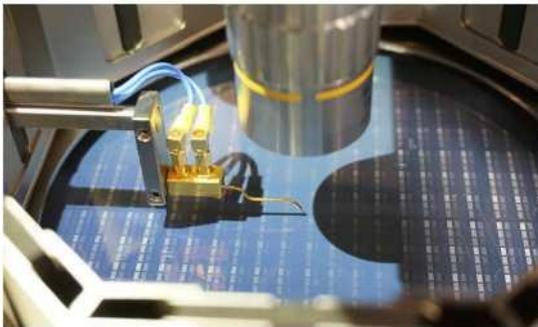


Авторские права принадлежат компании Saluki Technology
Перевод выполнен компанией ООО «Интермера» в 2021г.
www.intermera.ru, www.pribor4test.ru
Тел.: +7 495 941-04-34

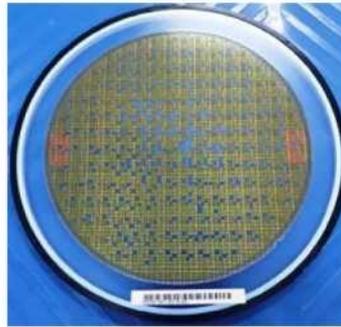
11 Измерение КШ на основе ВАЦ

Идеальное решение для одновременного тестирования коэффициента шума на пластине и S-параметров.

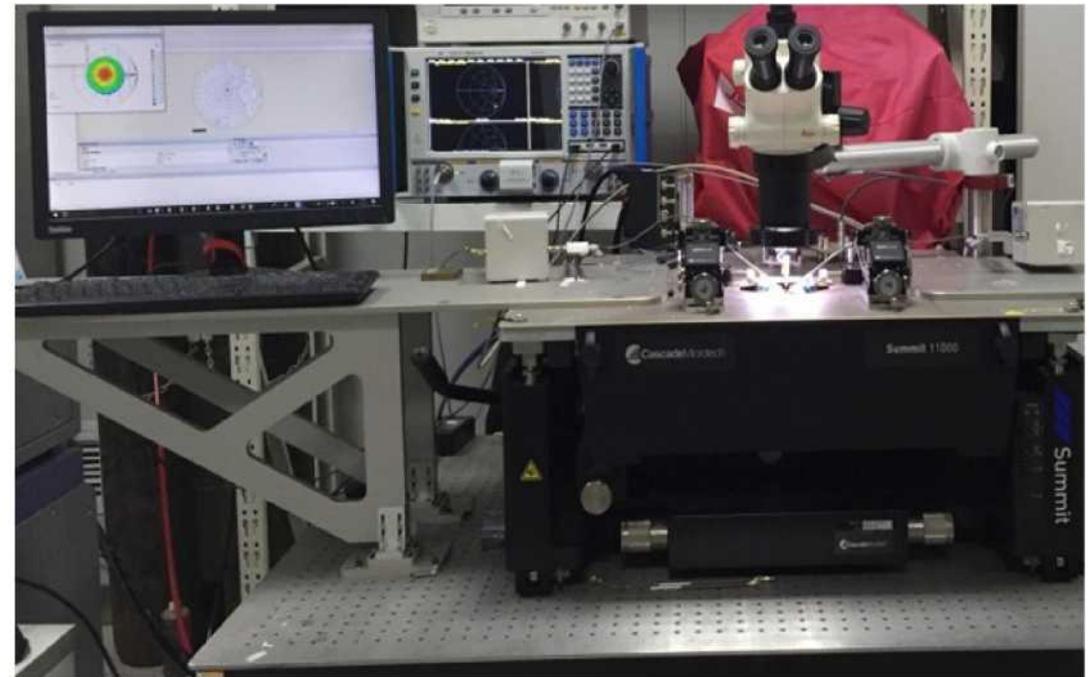
- Нет необходимости в источнике шума или электронной калибровке во время измерения;
- Отлично работают с коаксиальными, волноводными интерфейсами;
- Точный и воспроизводимый тест устройства на пластине для определения параметров шума и S-параметров



Зондовая



Тестируемая



Платформа для измерения полных параметров на пластине с одной остановкой

12 Сравнение методов измерения КШ

Проблемы выбора методов измерения КШ

	Метод	Конфигурация	Особенности	Измеряемые параметры	Точность	Стоимость
А	Y-фактор	S3986 анализатор КШ источник шума S16603/4	Специализированный прибор	КШ, КУ	Высокий	Низкий
		S3503 Анализатор спектра, предусилитель и опция КШ, источник шума S16603/4	Опции анализатора спектра	КШ, КУ	Низкий	Средний
В	Холодный источник	S3602 ВАЦ, опция КШ, ИШ S16603	Опция ВАЦ, тест на пластине	КШ, КУ, S-параметры	Выше	Высокий
		S3602 ВАЦ, опция КШ, ИШ S16603, Электронные калибровочные комплекты 2040X	Опция ВАЦ, тест на пластине, более широкий диапазон тестирования КШ	КШ, КУ, S-параметры	Самый высокий	Выше

Основы тестирования КШ

Решения для измерения КШ

▶ Анализ конкурентоспособности

1 Типовой отраслевой анализ

Электронная инженерия,
материаловедение и инженерная
радиофизика

Метрология и аккредитация

Национальные,
промышленные и
заводские стандарты

Испытание микросхем и компонентов

Микросхемы или модуль
МШУ, смеситель,



Космическая разведка и авиационные системы

Модули приема сигналов или цепи и
модули; внешний интерфейс приемника

Радиолокация и спутниковая связь

Модули приема сигналов или цепи и
модули; внешний интерфейс приемника

2 типичных случая - университет, институт и компания

	Покупатель	Метод	Конфигурация
1	Qingdao RPM Electronics Co., Ltd	Анализатор коэффициента шума S3986B	Исследования и разработки в области радаров безопасности
2	JEZETEK Group	Анализатор коэффициента шума S3986D	Тест КШ и КУ ИС, испытание приемных цепей
3	Ксидианский университет	Анализатор коэффициента шума S3986D	Тестирование КШ микросхем и модулей, тестирование схем, обучение и НИОКР
4	Бейханский университет (BUAA)	Анализатор коэффициента шума S3986E	Тестирование КШ микросхем, тестирование схем, обучение и НИОКР
5	Нанкинский университет науки и техники	Анализатор коэффициента шума S3986H	Тестирование КШ и КУ, тестирование схем, обучение и НИОКР
6	Китайский национальный институт метрологии	Векторный анализатор цепей S3602E (с опцией измерения КШ)	НИОКР по метрологическим системам и разработка стандартов
7	Китайская корпорация аэрокосмической науки и промышленности	Анализатор спектра/сигнала S3503E с опцией КШ	НИОКР по коммуникационным системам, НИОКР, по ИС/модулям
8	Институт электроники Китайской Академии наук	Анализатор спектра/сигнала S3503H с опцией КШ	НИОКР по ИС, испытания связных приемников
9	Пекинский технологический институт дистанционного зондирования	Анализатор коэффициента шума S3986C	Тестирование цепей приемников, системное тестирование
10	Шанхайский институт микросистем и информационных технологий	Анализатор коэффициента шума S3986E с расширителем диапазона до 110 ГГц	Проектирование компонентов и микросистемное тестирование
11	Китайская академия космических технологий (CAST)	Анализатор коэффициента шума S3986F	НИОКР по приемникам космической связи
12	IC Valley Microelectronics Co., Ltd	Анализатор коэффициента шума S3986A	Линия по производству микросхем
13	HW Technologies CO., Ltd	Анализатор коэффициента шума S3986D и анализатор спектра 4051E	НИОКР систем связи, НИОКР и производство 4G/5G
14	Addvalue Innovation Pte Ltd	Анализатор коэффициента шума S3986A	Исследования и разработки в области устройств спутниковой связи

СПАСИБО!
