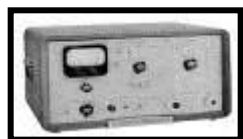


Измерение КШ на PNA-X

Agilent Technologies ...

более 45 лет на рынке систем измерения КШ



HP 340A

1960



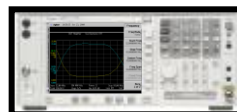
HP 8970

1980



Agilent NFA

2000



PSA with NF

2002



ESA with NF

2003



PNA-X with NF

2007



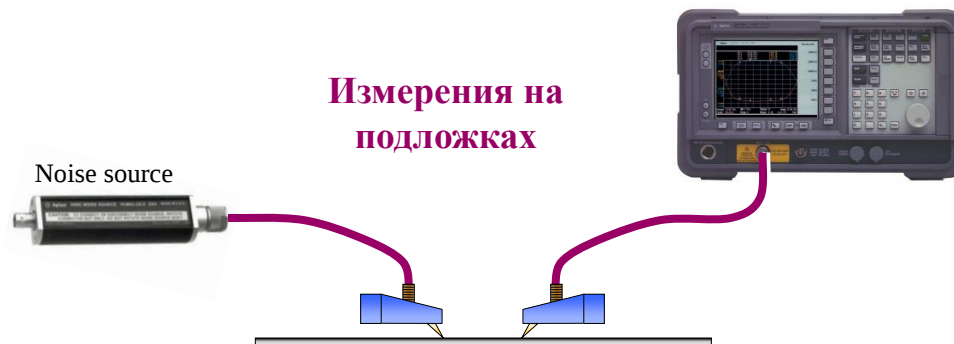
Agilent Technologies

4 способа измерения Коэффициента шума

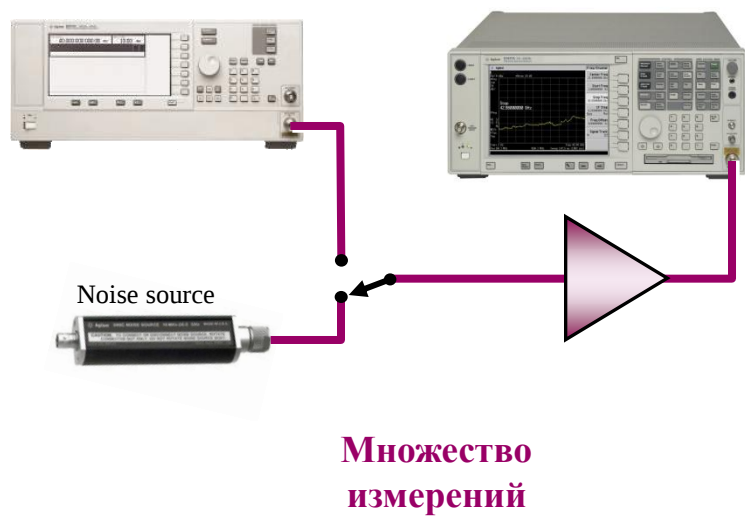
Y-фактор



1 2

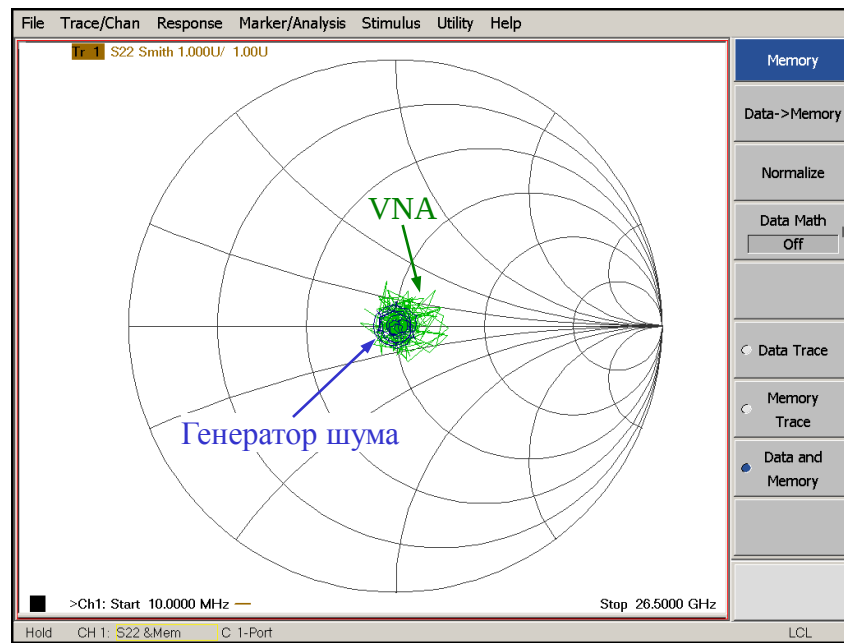


3 4



Проблемы при измерении коэффициента шума

- NFA и другие анализаторы измеряют КШ *номинально* в 50Ом тракте
- Тестовые системы не имеют идеального согласования (50Ом) по выходу источника
- Неидеальное согласование ведёт к:
 - Ошибкам из-за рассогласования
 - Взаимодействие шума ТУ/ Гс
- При работе с традиционными системами велики ошибки из-за неидеального импеданса источника



Измерение КШ на PNA-X

Опция 029

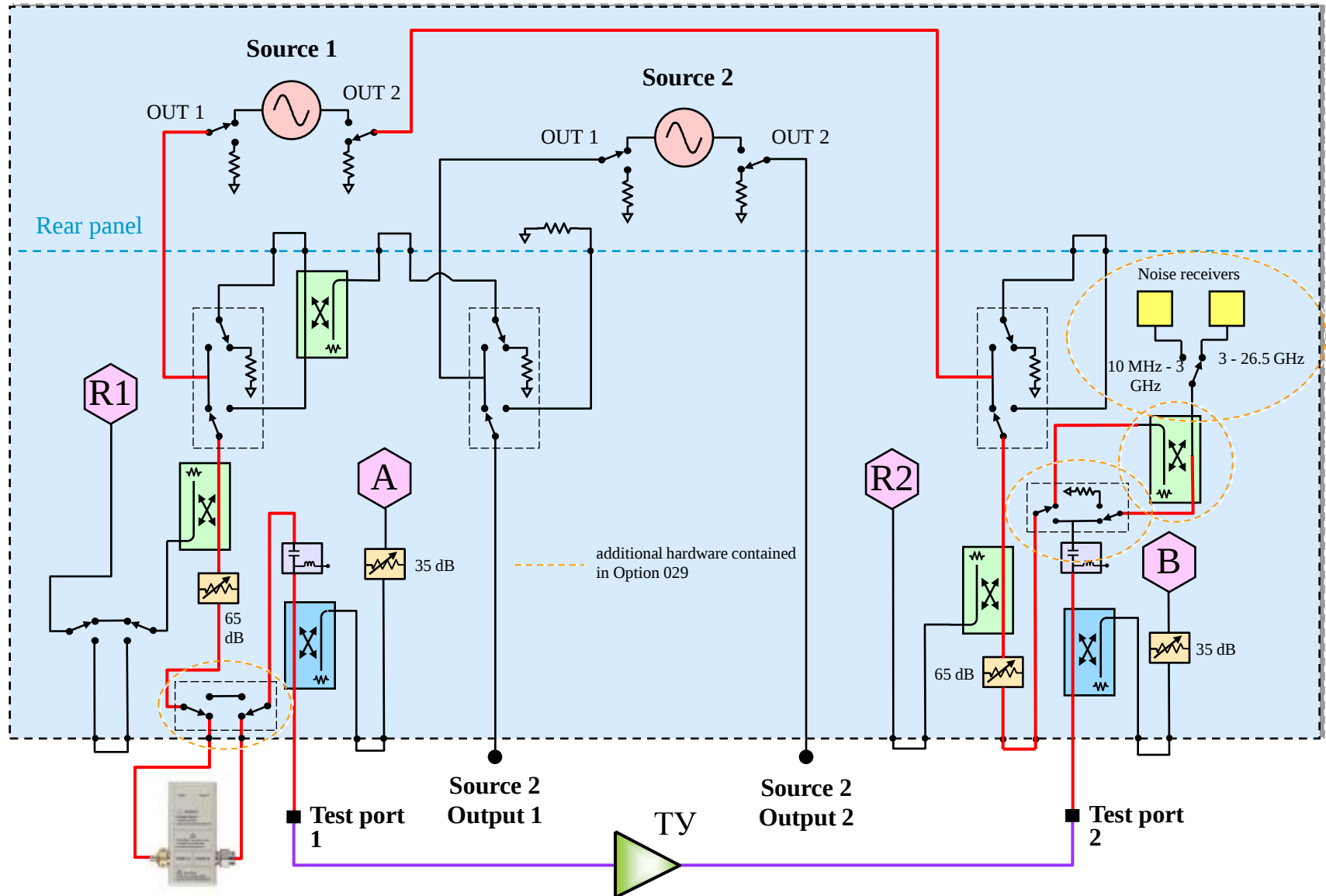


Уникальный метод измерения КШ на PNA-X использует модуль Ecal в качестве устройства варьирования входного импеданса (impedance tuner) для устранения эффектов неидеального согласования по входу

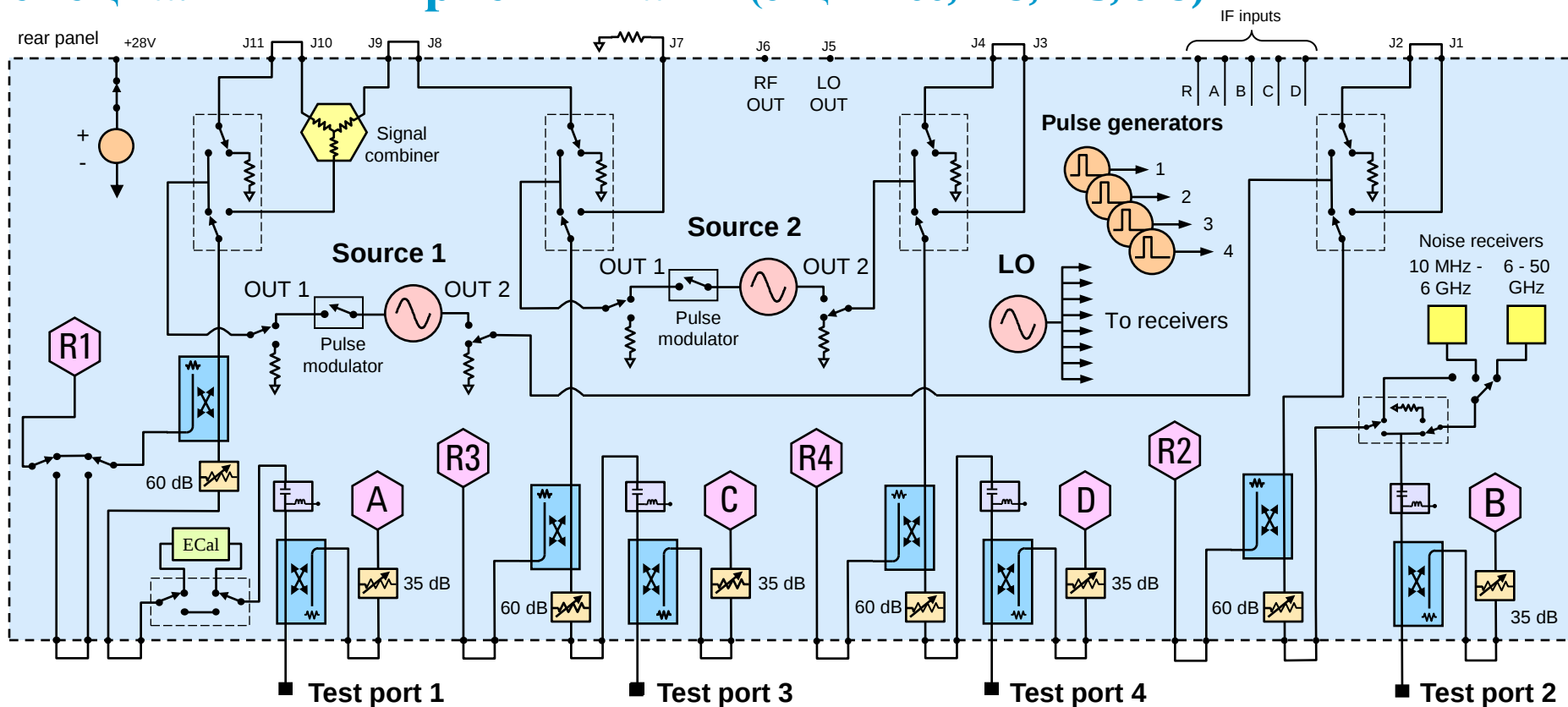
Опция измерения коэффициента шума с коррекцией параметров источника расширяет набор измерений PNA-X, выполняемых при одном подключении ТУ

- Измерение комплекса параметров усилителей в полосе до 50 ГГц при **одном подключении** ТУ (S-параметры, коэффициент шума, компрессия, интермодуляционные искажения, гармоники)
- **Наивысшая точность** среди любых приборов на рынке

2-портовый PNA-X до 13.26ГГц с опциями 200, 219, 224 и 029 (КШ)

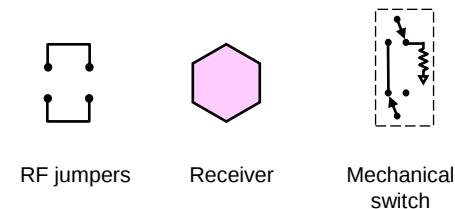


Структура 4х-портового PNA-X до 43.5/50ГГц со специальными приёмниками (опции 400, 419, 423, 029)

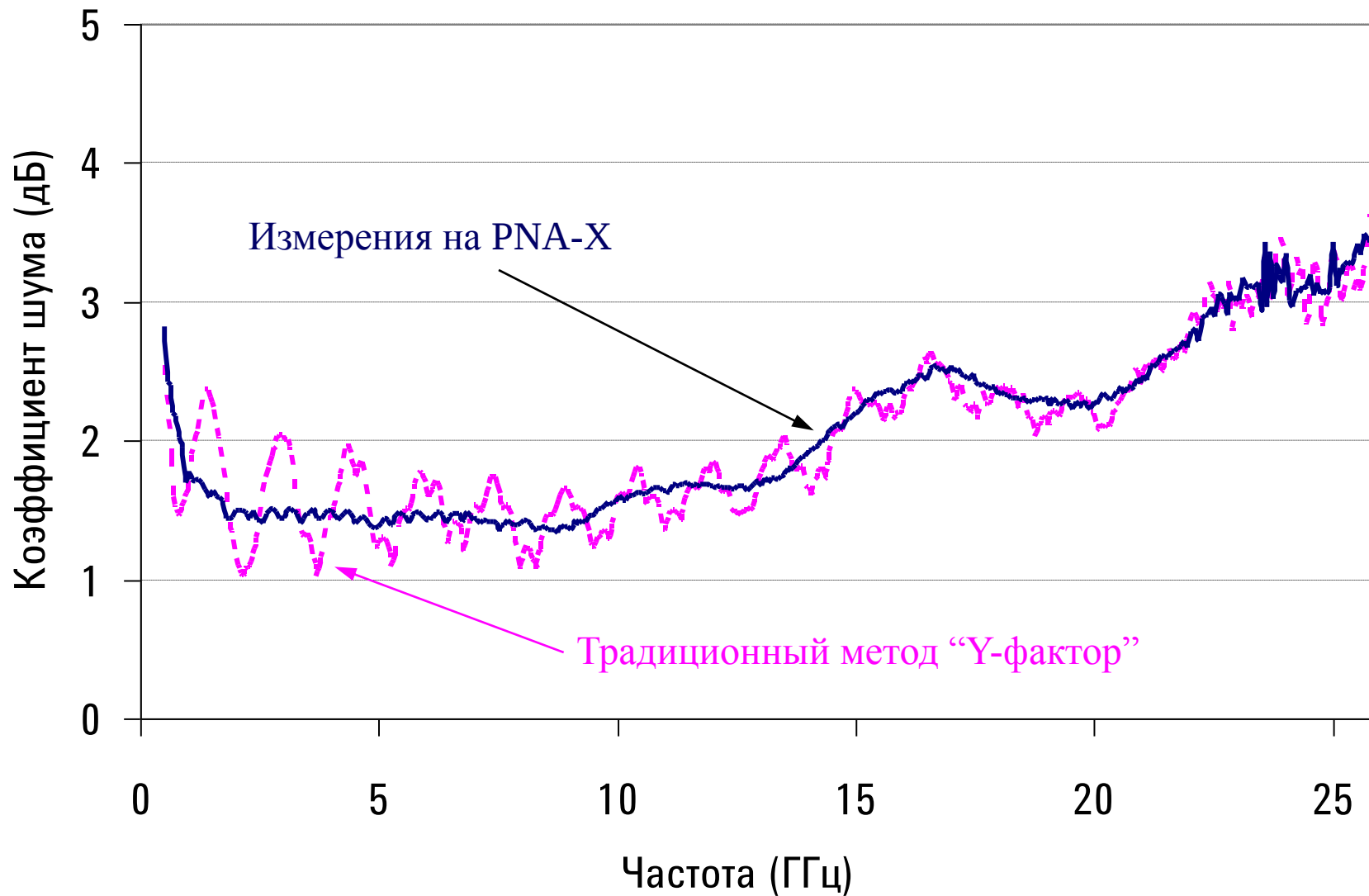


Основные отличия:

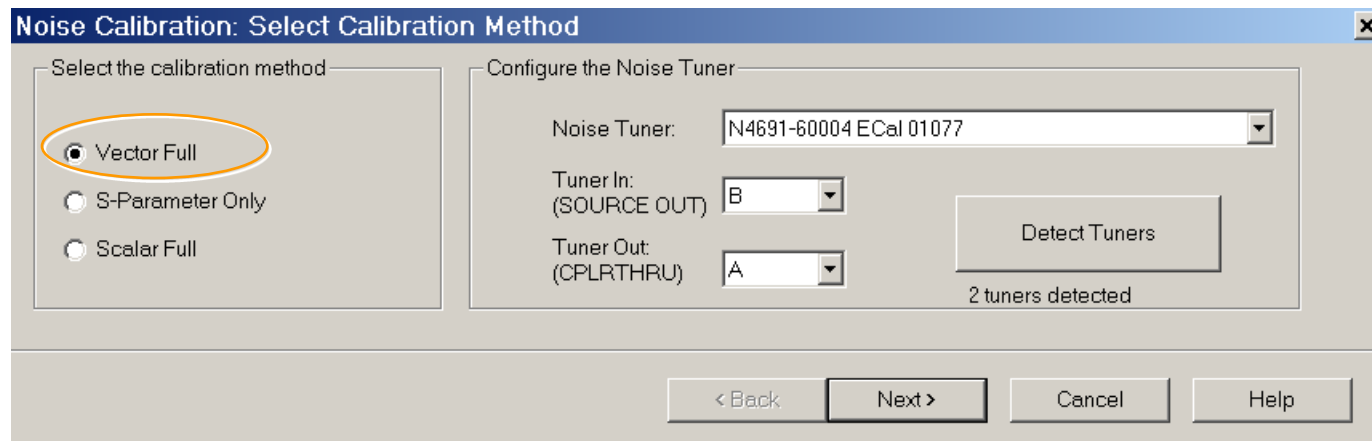
- ECal модуль встроен (с коммутатором)
- Разделение у шумовых приёмников происходит на 6ГГц
- Нет дополнительного НО по 2му порту (заменен переключателем)



Пример измерения КШ



Варианты калибровки при измерении КШ: векторная и скалярная



Полная векторная – техника “холодного источника”, калибровка S-параметров, приёмников шума, учёт неидеальности выходного импеданса анализатора (используется импедансный тюнер), даёт максимально точные результаты при измерении КШ

Полная скалярная – техника “холодного источника”, калибровка S-параметров, приёмников шума, импедансный тюнер не используется

Преимущества скалярной калибровки: выше скорость (меньше свипирований), экономичность

Недостаток скалярной калибровки – меньше точность

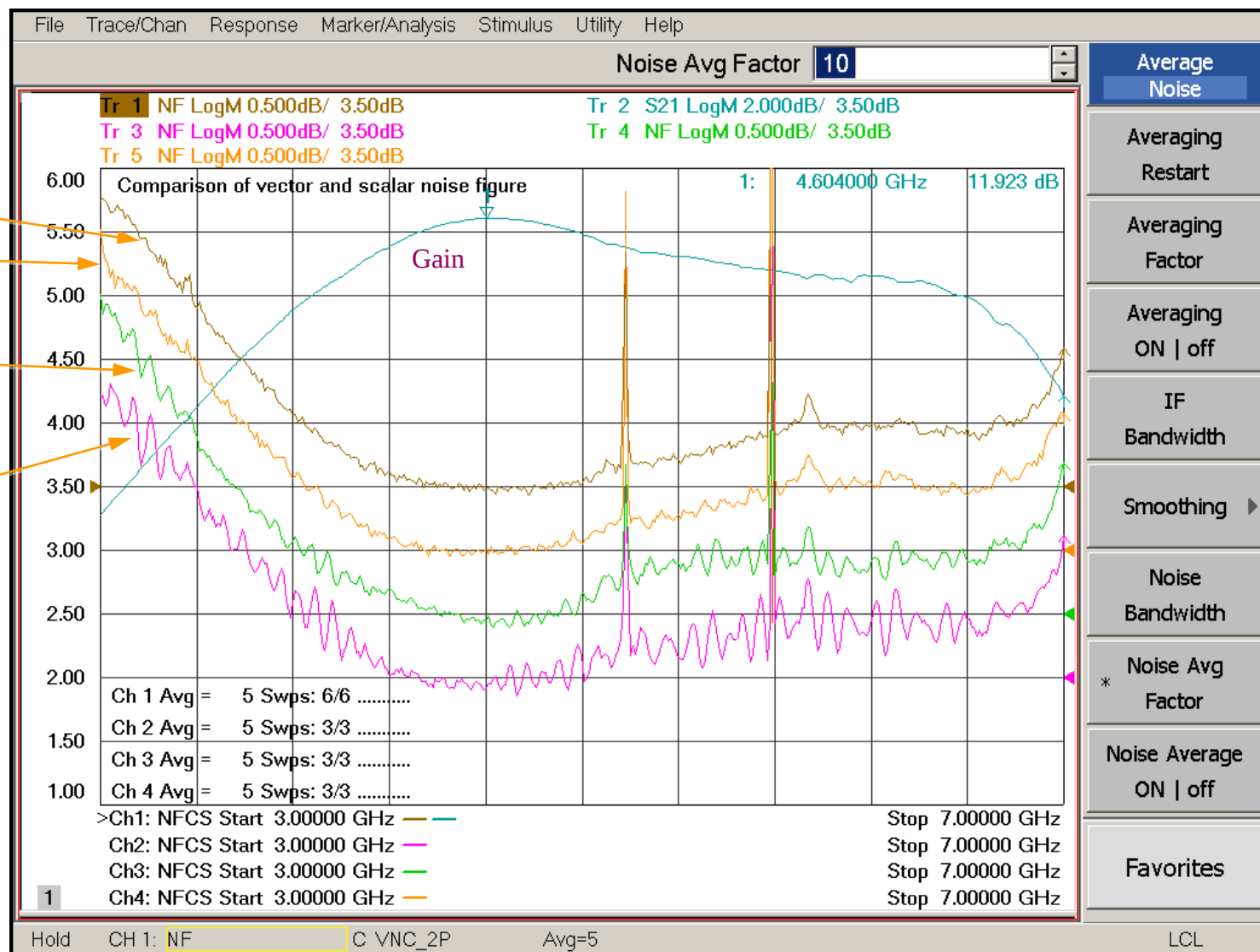
Сравнение векторной и скалярной калибровок

Векторная калибровка

Скалярная с
аттенюатором 6дБ

Скалярная с
аттенюатором 3дБ

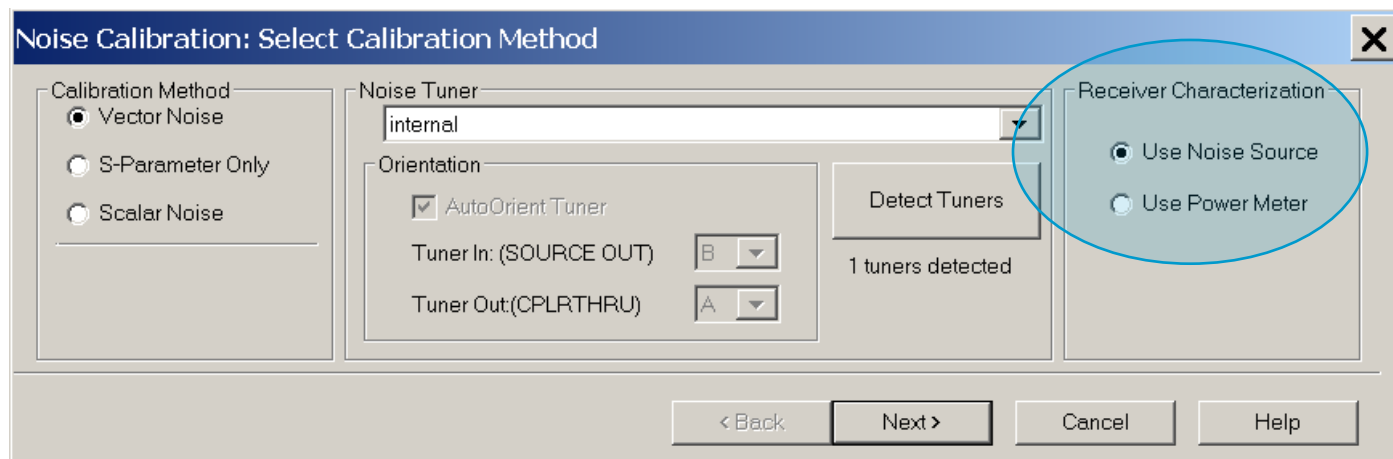
Скалярная без
аттенюатора



Примечание: трассы
отстроены на 1 клетку
для удобства

Калибровка приёмников шума

- Для калибровки специальных приёмников есть выбор - **ГЕНЕРАТОР ШУМА** или **ИЗМЕРИТЕЛЬ МОЩНОСТИ***

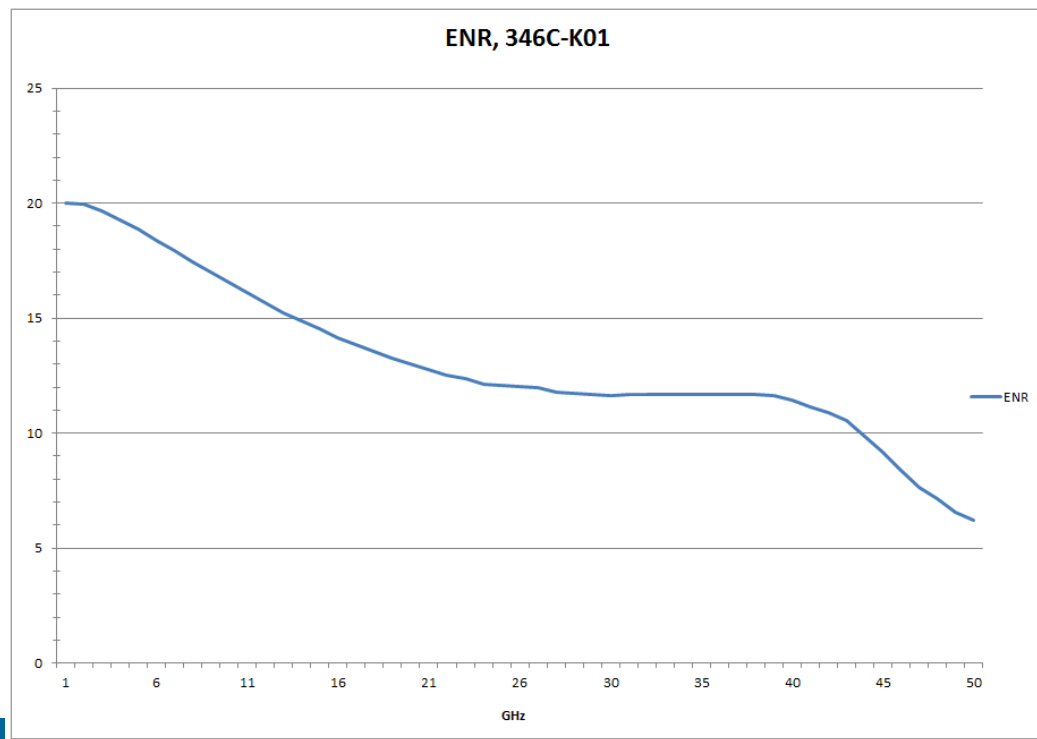


- Шаги по сути такие же: подключение стандарта, соединение на проход, подключение мер для обычной калибровки (S-параметры)
- Для калибровки стандартного приёмника используется измеритель мощности

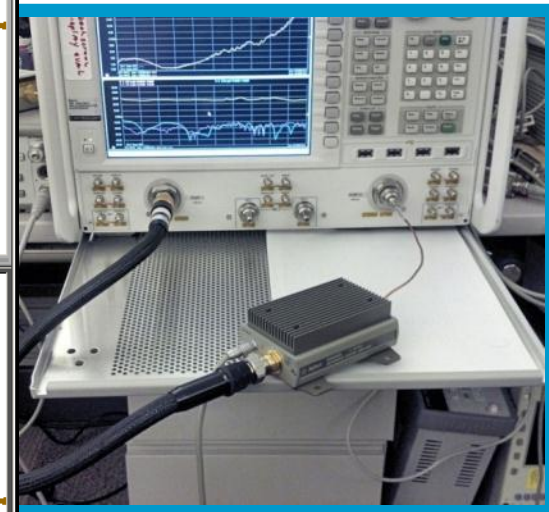
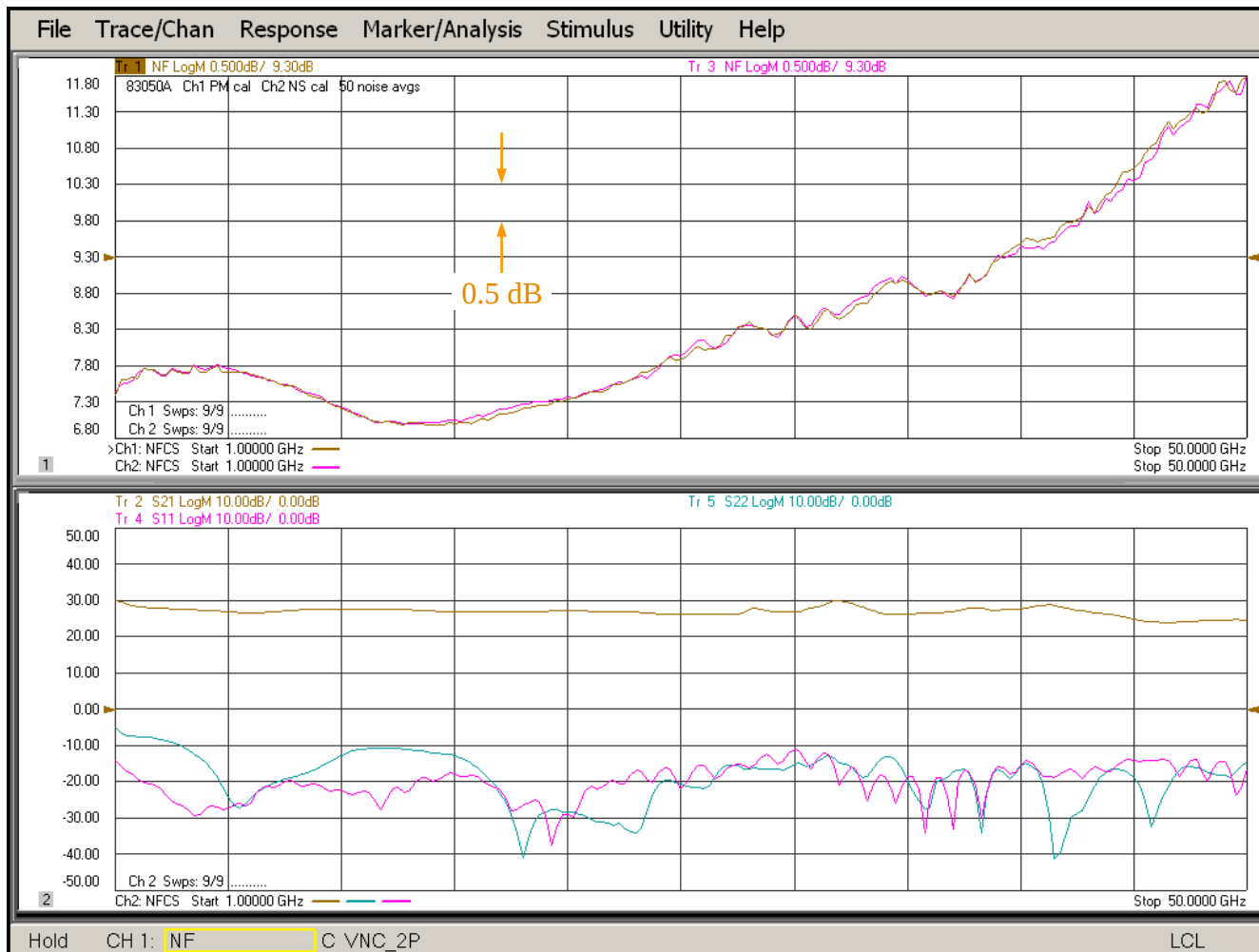
* При использовании измерителя мощности доступны полосы 0.8, 2, 4МГц

Погрешность при калибровке измерителем мощности

- Калибровка приёмников шума измерителем мощности даёт **такое же или лучшее значение** погрешности в сравнение с методом на основе ГШ
- В диапазоне 45-50ГГц наблюдается деградация уровня ENR у ГШ, чего нет у измерителей мощности **ENR roll-off**
- Погрешность при калибровке с использованием измерителя мощности сопоставима с погрешностью при использовании специально откалиброванных ГШ



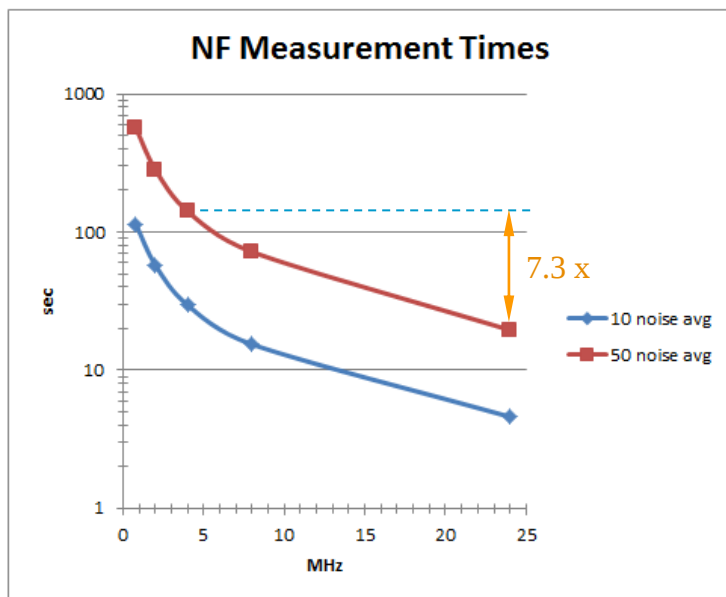
Сравнение результатов разных калибровок (ГШ или измеритель мощности) – измерение КШ 83050А



201 pts, 4 MHz noise BW, 50 noise avgs, 7 impd, sweep time 00:02:22

Сравнение методов калибровки (ГШ и измеритель мощности)

Метод	Преимущества	Недостатки
Измеритель мощности	• Проще найти версию до 50ГГц • Нет деградации в диапазоне > 45ГГц	• Скорость
Генератор шума	• Скорость • Традиционность	• Сложно найти • Уменьшение ENR в диапазоне > 45 увеличивает джиттер



50 MHz – 50 GHz, 201 points, 7 impedance states

Полоса шума	Генератор шума	Измеритель мощности
4 МГц	9.3	12.8
24 МГц	1.2	N/A

Время калибровки (мин)
50 noise avgs, 201 points

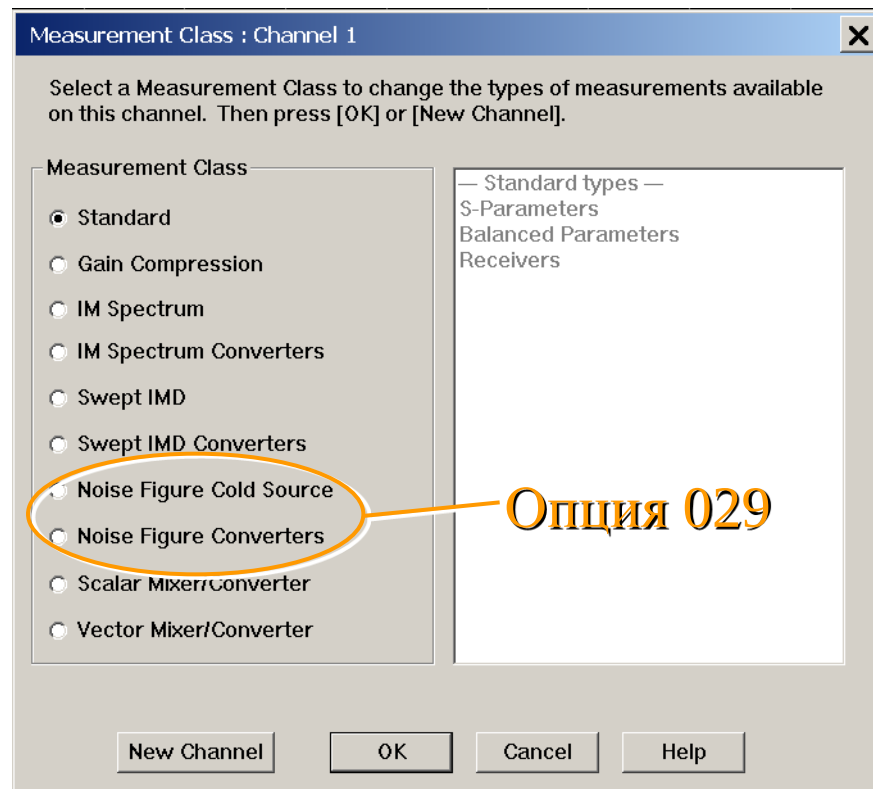
Измерение КШ преобразователей частоты (NFx)

Часть опции 029

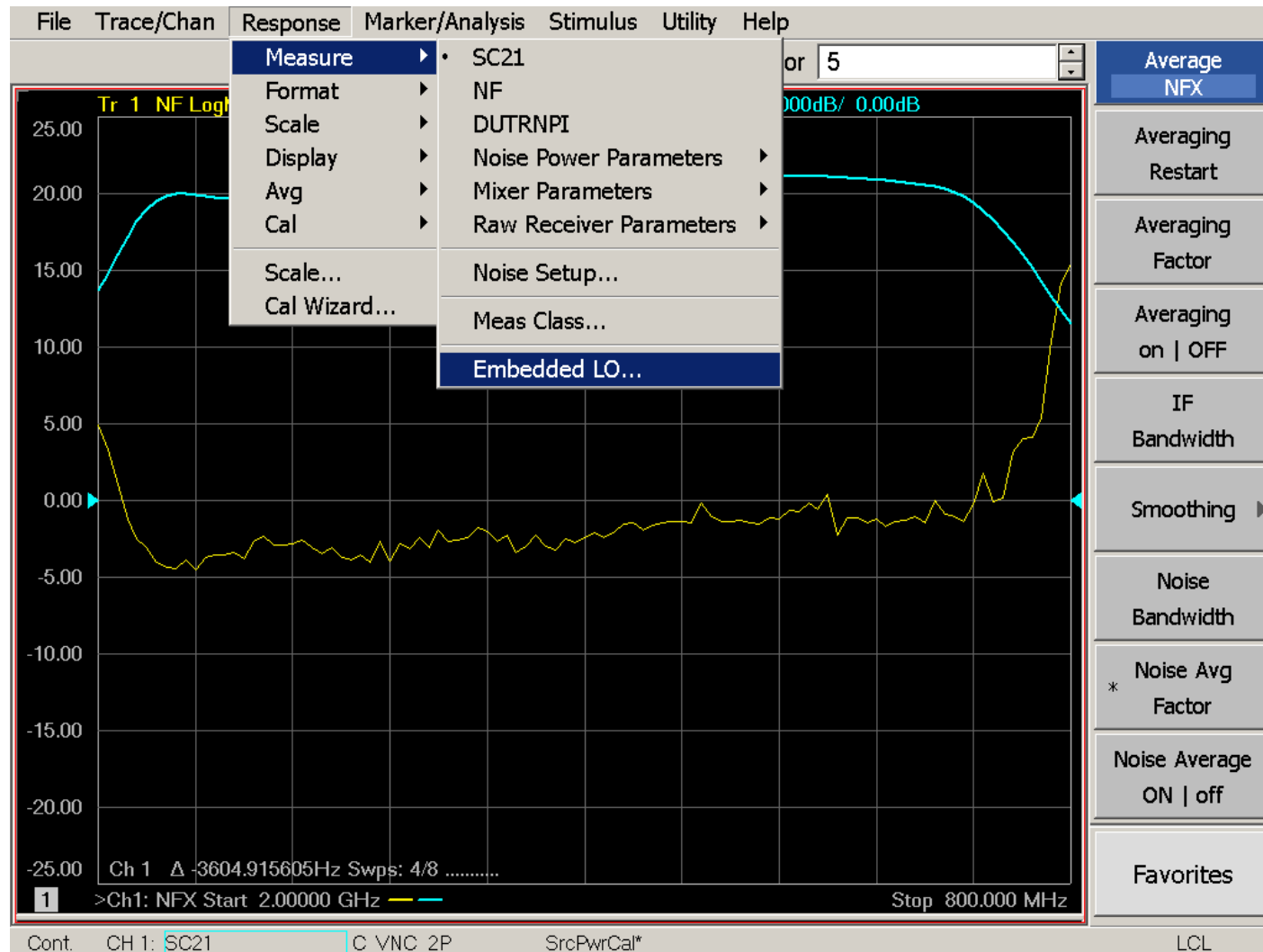
- отдельный измерительный класс
- техника “холодного источника”
- векторная и скалярные калибровки

Отличия от обычного измерительного класса (NF):

- Вместо S21 измеряется SC21
- 8 свипирований вместо 6 (векторная калибровка)
или 5 свипирований вместо 3 (скалярная калибровка)
- добавляется шаг измерения мощности при калибровке

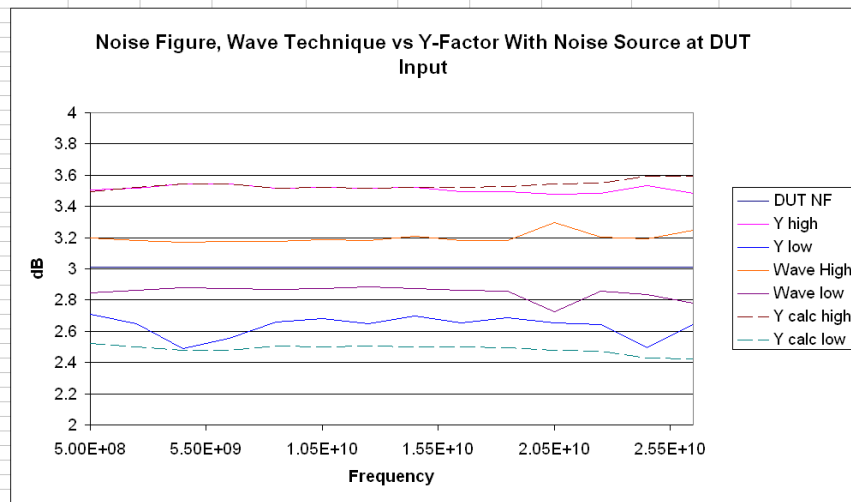


NF $\times$ измеряет преобразователи частоты с встроенным гетеродином, не имеющие доступа к нему (Embedded-LO)



Инструментальные погрешности

- Инструментальная погрешность NFA (спецификация):
 - ± 0.05 дБ в полосе до 3 ГГц
 - ± 0.15 дБ в полосе до 26.5 ГГц
- Линейность приёмника для измерения КШ в PNA-X: ± 0.05 дБ в полосе до 26.5 ГГц
- Однако есть другие факторы
- Есть PNA-X калькулятор погрешностей



Noise figure and gain

Performance is dependent on the ENR¹ of the noise source used:

N8973A, N8974A and N8975A (10 MHz to 3.0 GHz)		Noise source ENR		
		4-7 dB	12-17 dB	20-22 dB
Noise figure	Measurement range	0 to 20 dB	0 to 30 dB	0 to 35 dB
	Instrument uncertainty	$\pm < 0.05$ dB	$\pm < 0.05$ dB	$\pm < 0.1$ dB
Gain ²	Measurement range	-20 to +40 dB		
	Instrument uncertainty	$\pm < 0.17$ dB		

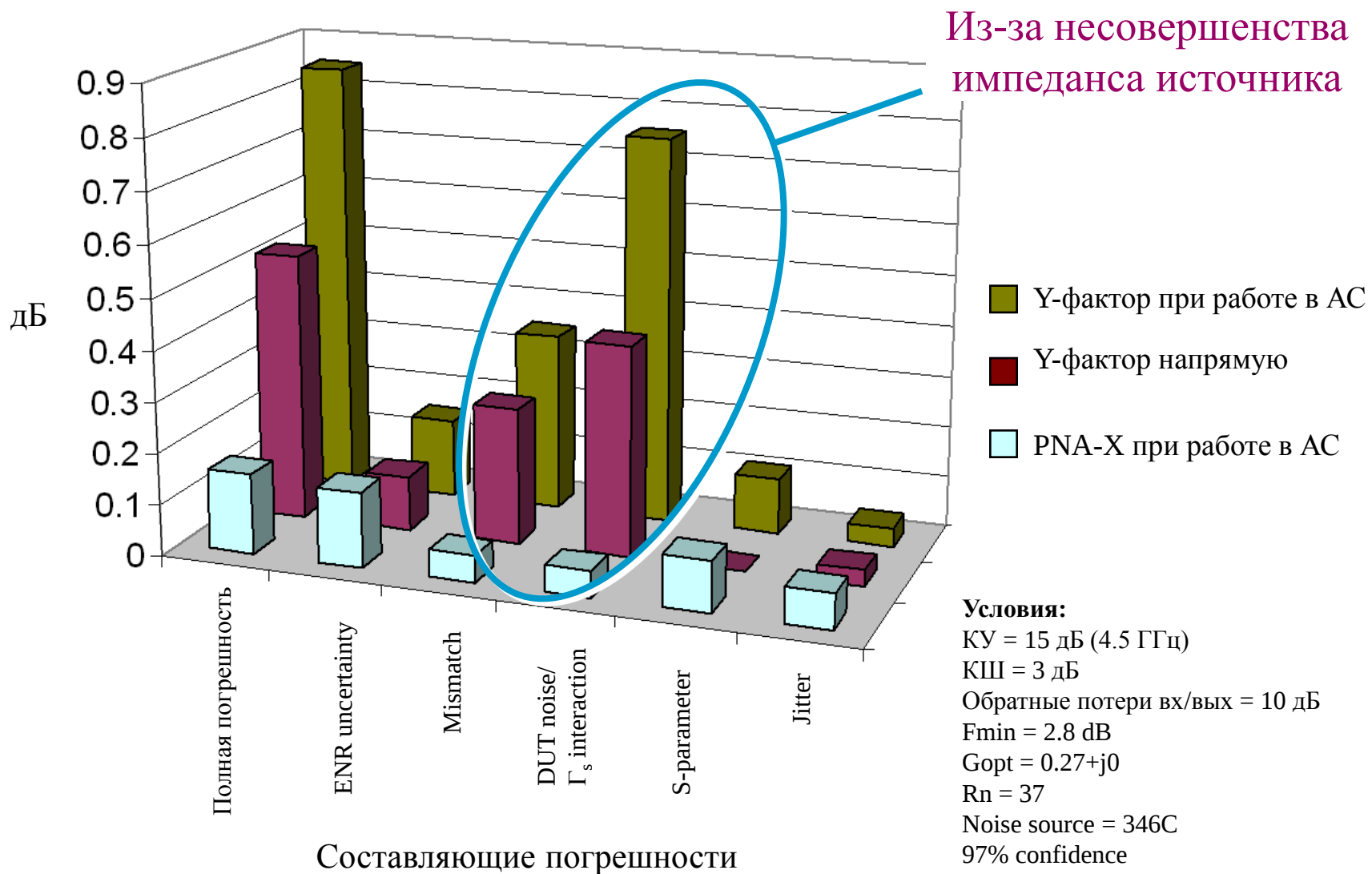
N8974A and N8975A (>3.0 GHz)		Noise source ENR		
		4-7 dB	12-17 dB	20-22 dB
Noise figure	Measurement range	0 to 20 dB	0 to 30 dB	0 to 35 dB
	Instrument uncertainty	$\pm < 0.15$ dB	$\pm < 0.15$ dB	$\pm < 0.2$ dB
Gain ²	Measurement range	-20 to +40 dB		
	Instrument uncertainty	$\pm < 0.17$ dB		

Instrument's noise figure

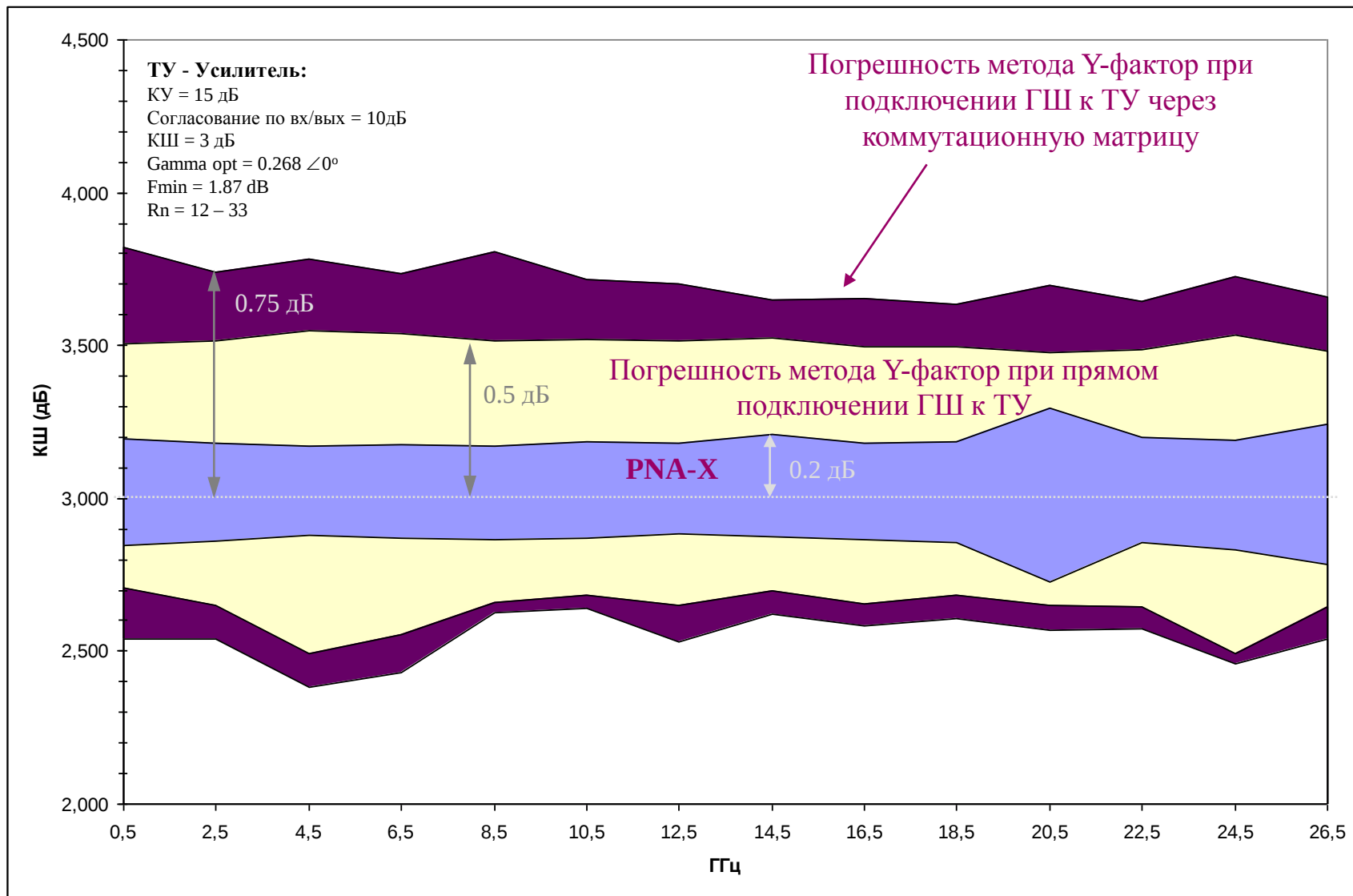
Frequency	Noise figure	Noise figure over a limited temperature range of 23° C $\pm$ 3° C
> 3.0 GHz to 13.2 GHz	< 12.0 dB	< 10.5 dB
> 13.2 GHz to 26.5 GHz	< 16.0 dB	< 12.5 dB



Погрешности измерения КШ в автоматизированных системах



Пример анализа погрешностей измерения КШ (АТЕ)



Калькулятор погрешности при измерении коэффициента шума на PNA-X



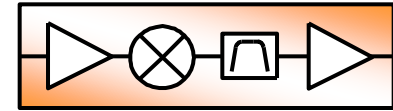
Доступен на:

[http://www.agilent.com/
find/nfcalc](http://www.agilent.com/find/nfcalc)

Работает внутри
PNA-X или на
внешнем ПК

Упрощённый режим измерения коэффициента шума (опция 028)

- Режим измерения КШ, при котором используются стандартные приёмники
- Измерение КШ усилителей, конверторов
- Со всеми моделями PNA-X (13.5/26.5/43.5/50ГГц)
- Необходим предусилитель, если $KШ + КУ (ТУ) < 30$ дБ
- Необходим внешний фильтр для устранения побочных составляющих (при измерении ТУ без фильтра или при использовании предусилителя)
- Расширенные возможности по калибровке
 - Векторные и скалярные калибровки для достижения лучших результатов в отрасли
 - Для калибровки приёмников используется измеритель мощности, а не ГШ



Особенности работы с опцией 028

- Требуется внешний **предусилитель** если КШ + КУ ТУ < 30 дБ в полосе до 20 ГГц, < 40 дБ в полосе до 50 ГГц, < 45 дБ в полосе до 67 ГГц
- Требуется **внешний фильтр (ы)** для устранения дополнительных шумовых составляющих (преобразование на гармонике)

Другие
анализаторы цепей
со стандартными
приёмниками
имеют такие же
ограничения

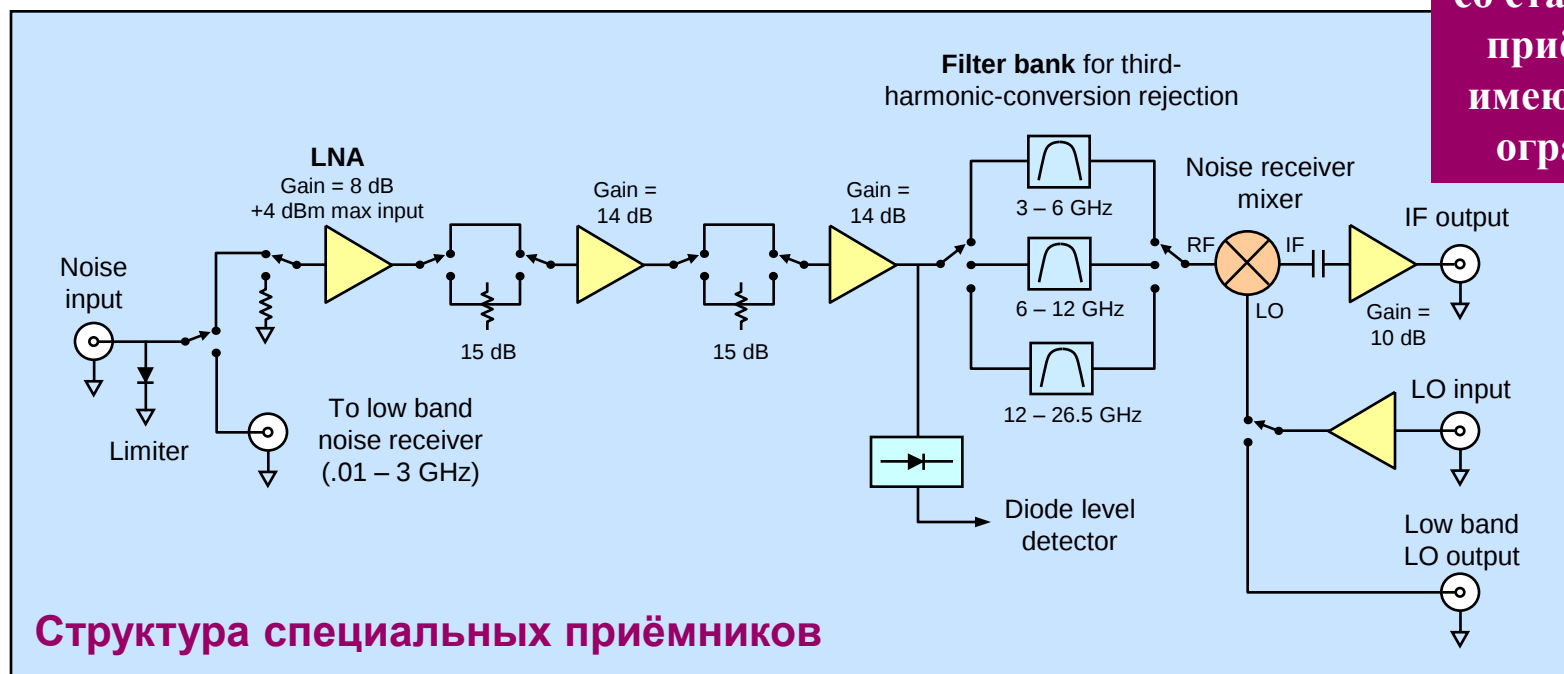
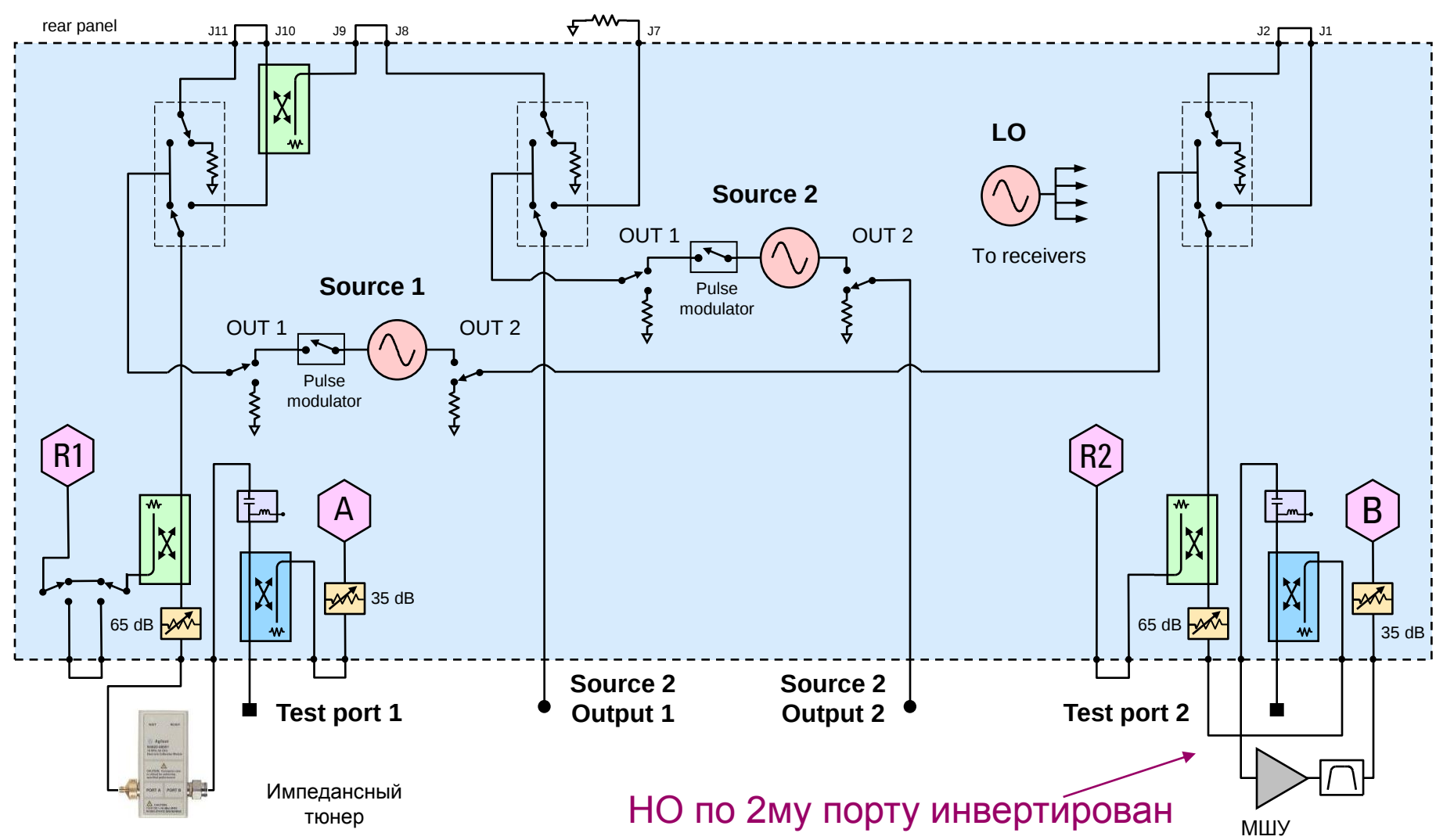
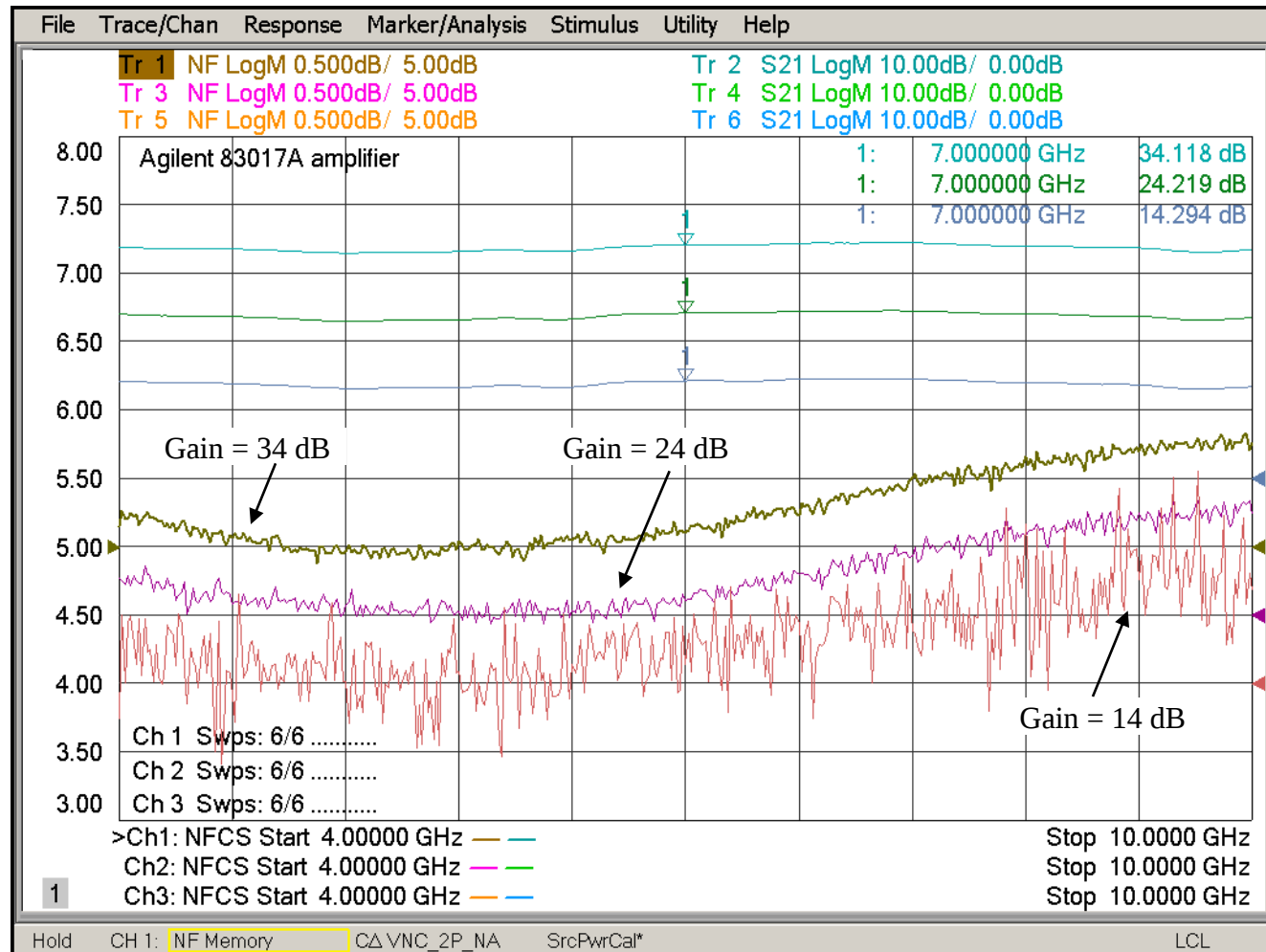


Схема измерения КШ с опцией 028 (векторная калибровка)



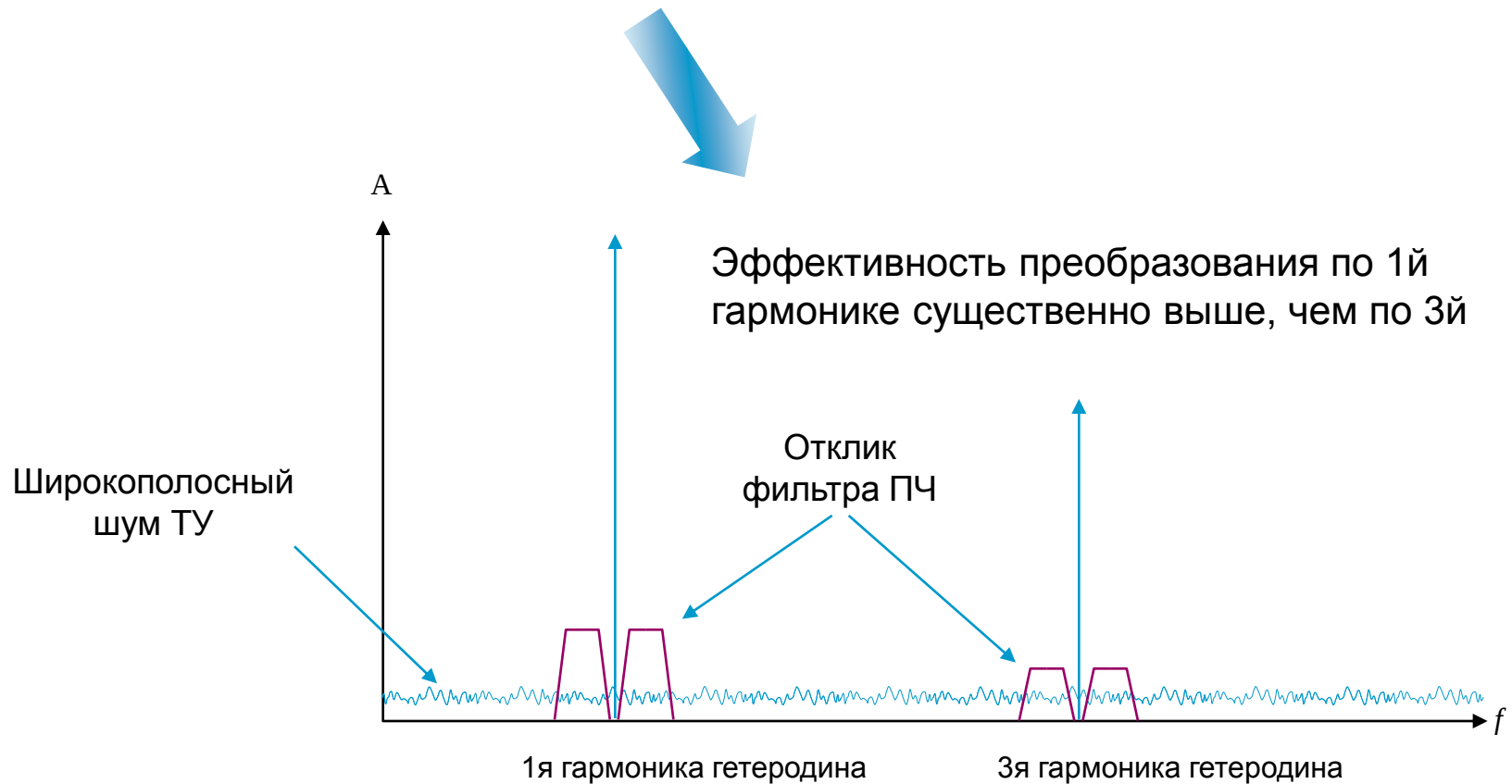
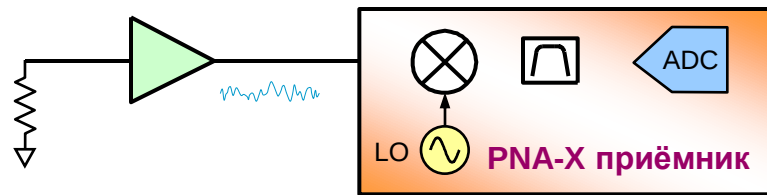
Измерение КШ с помощью стандартных приёмников: зависимость джиттера от КУ



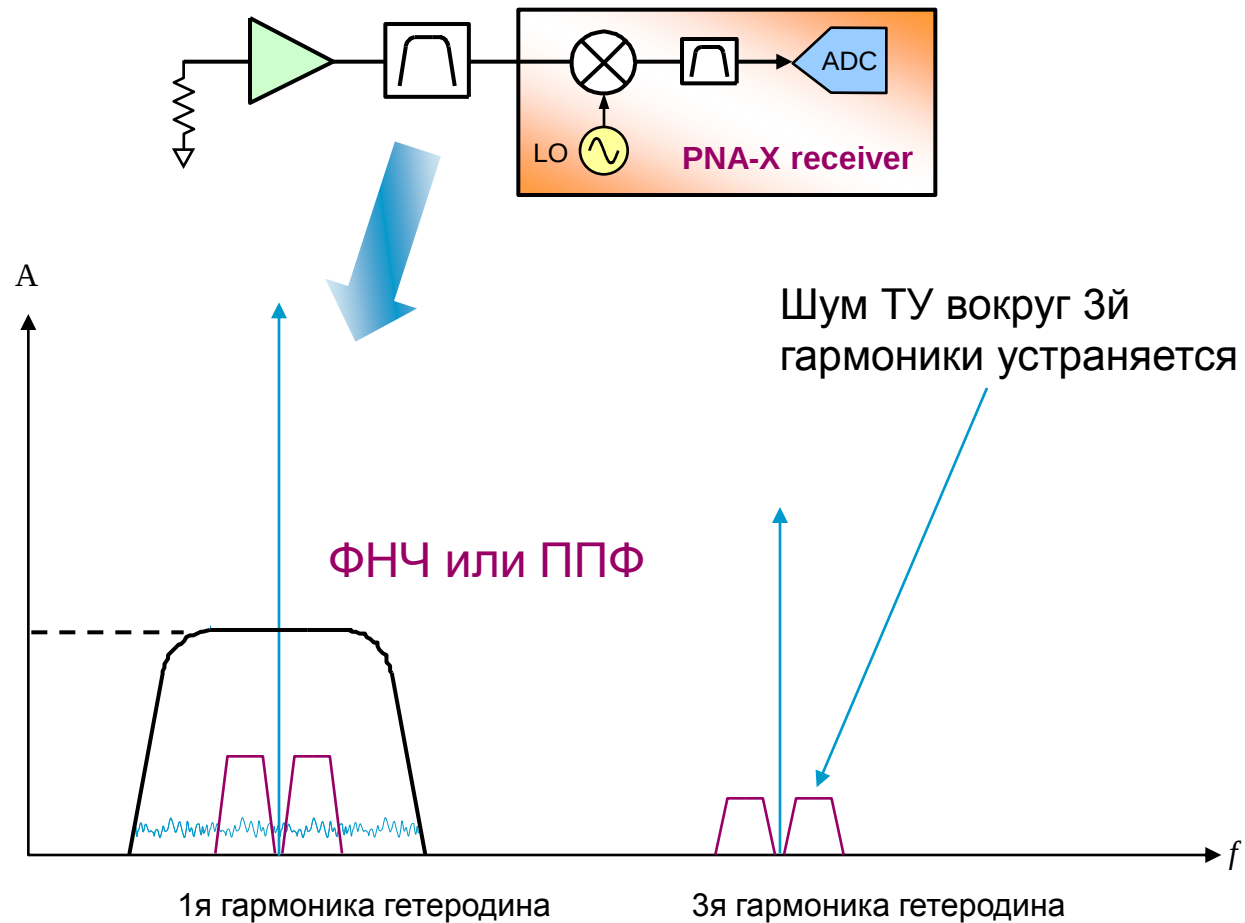
Note: Трассы сдвинуты на одну клетку для удобства

условия измерений: 60 усреднений шума, port 2 coupler reversed, cal power = -15 dBm, meas power = -45 dBm

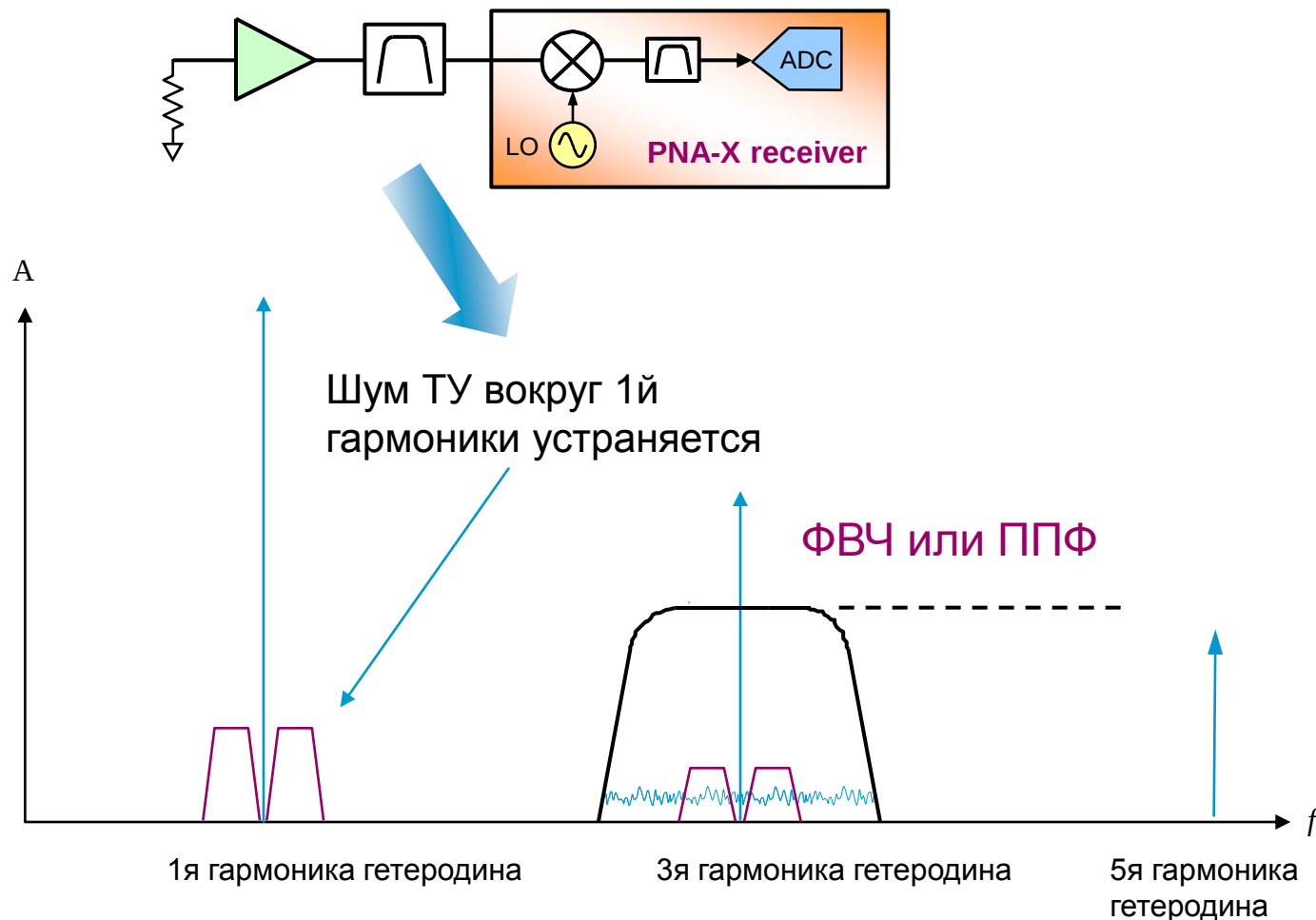
Преобразование на гармониках на стандартных приёмниках PNA и PNA-X



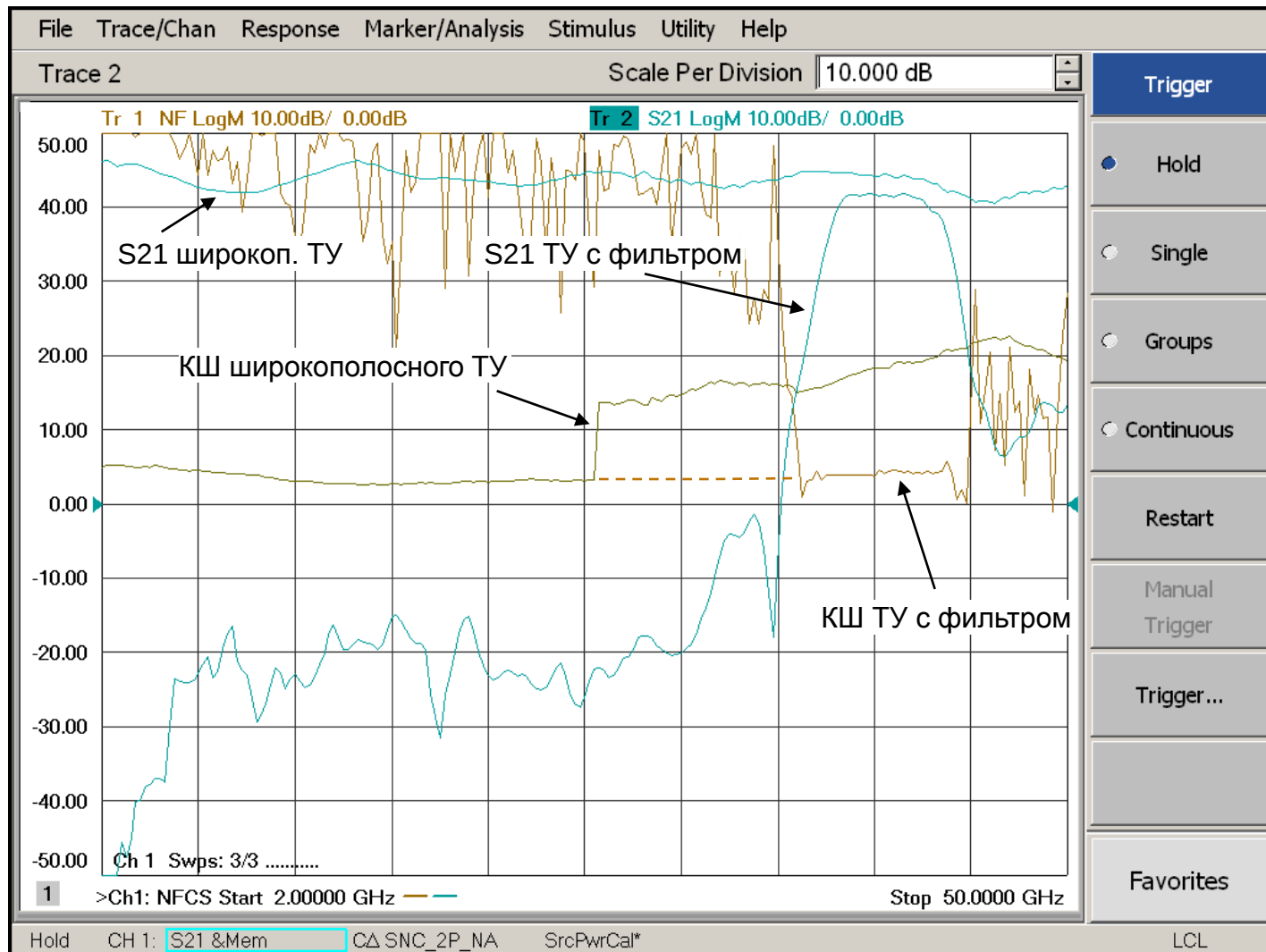
При работе с 1 гармоникой гетеродина
дополнительный фильтр устраняет вклад шума,
который смешивается с 3й гармоникой



При работе с 3й гармоникой дополнительный фильтр устраняет вклад шума, который смешивается с 1й гармоникой



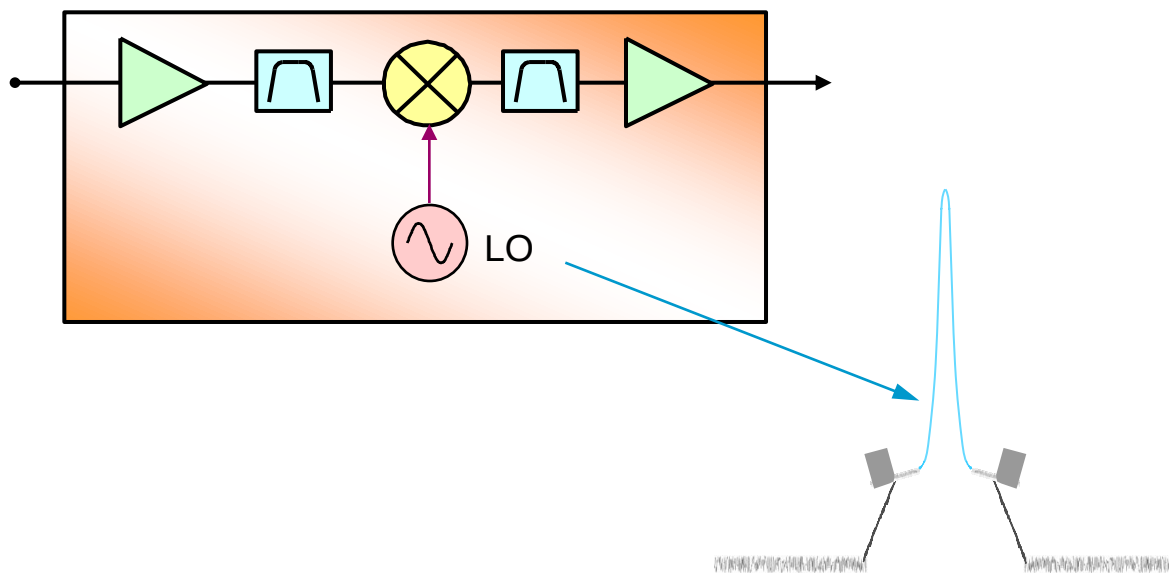
Пример измерения КШ стандартными приёмниками на PNA в полосе до 50ГГц



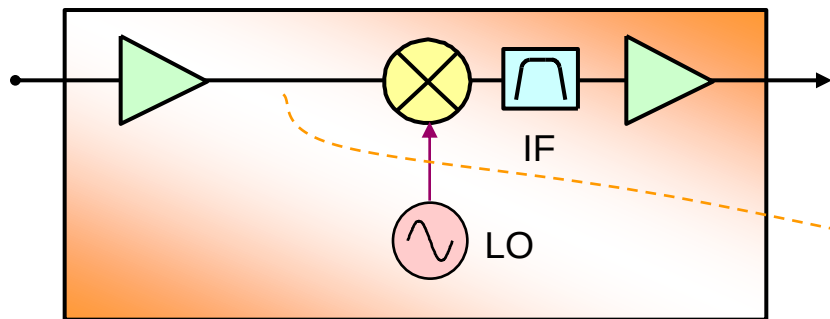
замечание:
измерения выполнены
с инвертированным НО
по 2му порту

Особенности измерения КШ конверторов

- КШ конвертора зависит от того, используется ли преобразование по одной боковой полосе (SSB) или по 2 боковым полосам (DSB)
- Широкополосный шум гетеродина влияет на КШ конвертора

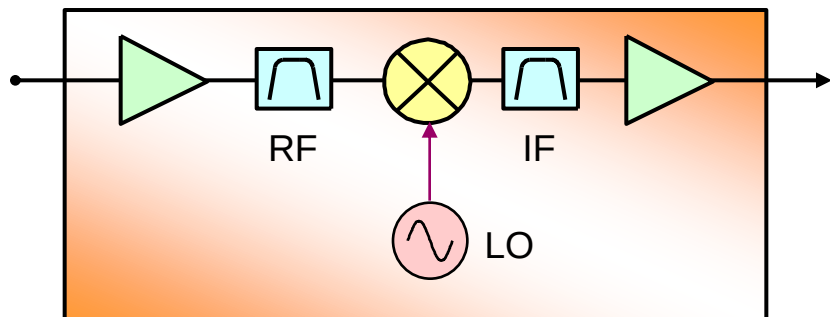


Конверторы с SSB и DSB



ТУ с DSB

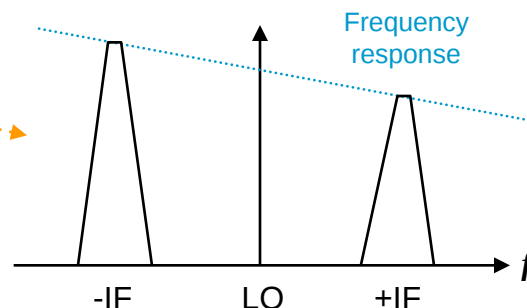
(обе полосы дадут вклад в мощность шума)



ТУ с SSB

(ненужная полоса отфильтрована)

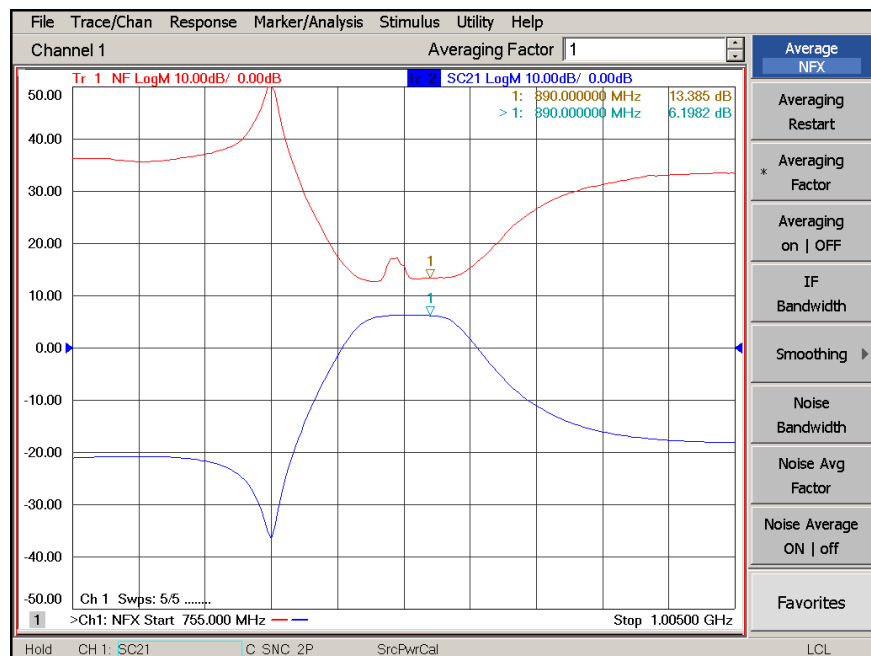
- ТУ с DSB DUT будет иметь больший уровень шума, чем эквивалентное ТУ с SSB (разница зависит от разницы преобразование боковых полос)



- Y-фактор измерит одно и тоже значение КШ для обоих ТУ, так как вычисляется на базе отношений результатов 2х измерений уровня мощности
- Для большинства ТУ с DSB NFA даст результат на 0-3дБ лучше реальности
- PNA-X измерит оба устройства корректно (КШ ТУ с DSB будет больше, чем КШ ТУ с SSB)

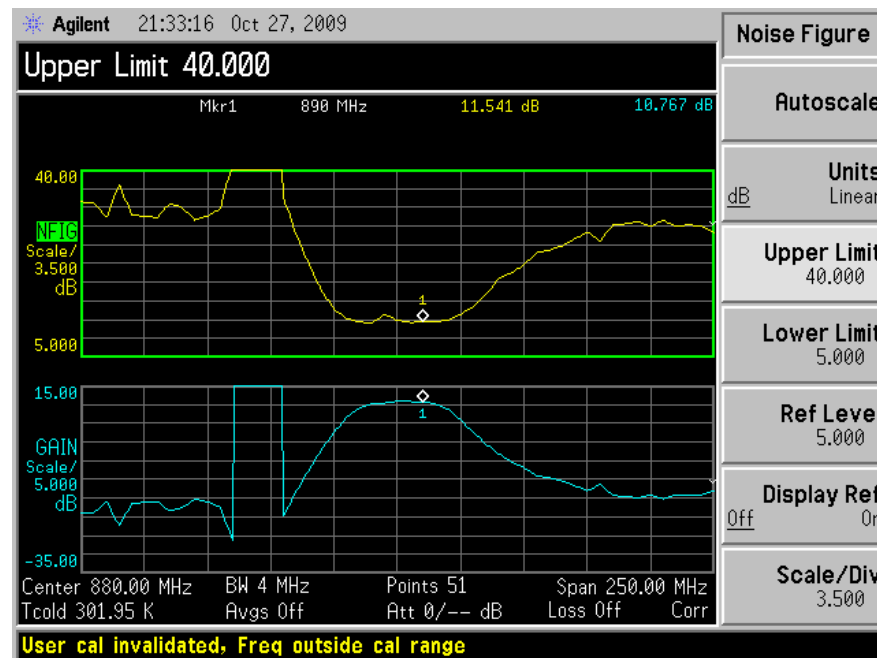


Пример измерения КШ ТУ с DSB



PNA-X: NF = 13.4 дБ

Правильное значение

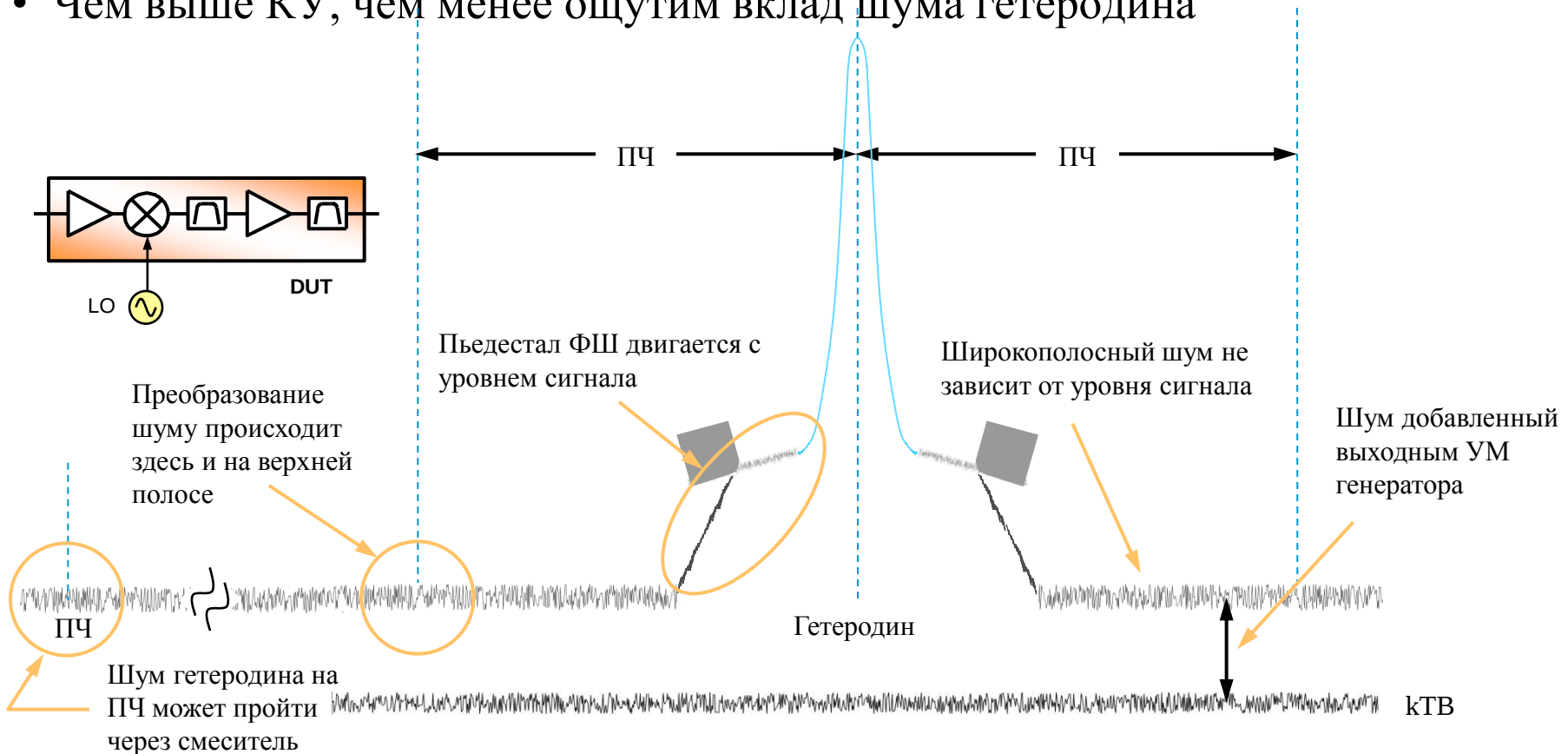


NFA: NF = 11.5 дБ

Заниженное значение

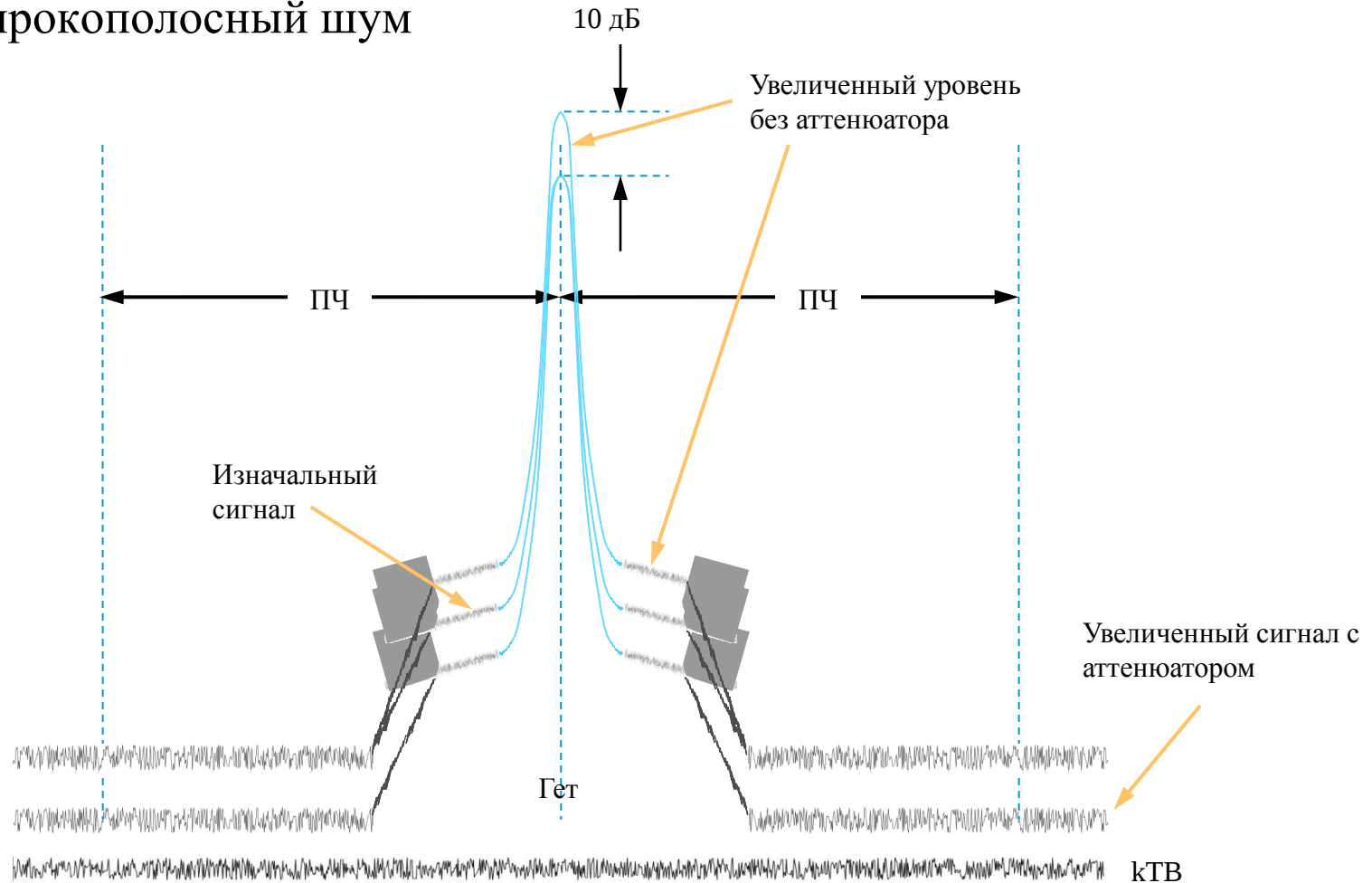
Вклад широкополосного шума гетеродина

- Шум гетеродина на отстройках $\pm$ ПЧ преобразуется в шум на выходе устройства
- Шум гетеродина суммируется с шумом по входу ТУ
- Чем выше КУ, тем менее ощутим вклад шума гетеродина



Минимизация вклада шума гетеродина: дополнительный аттенюатор

Увеличение мощности гетеродинного сигнала и добавление аттенюатора уменьшает широкополосный шум



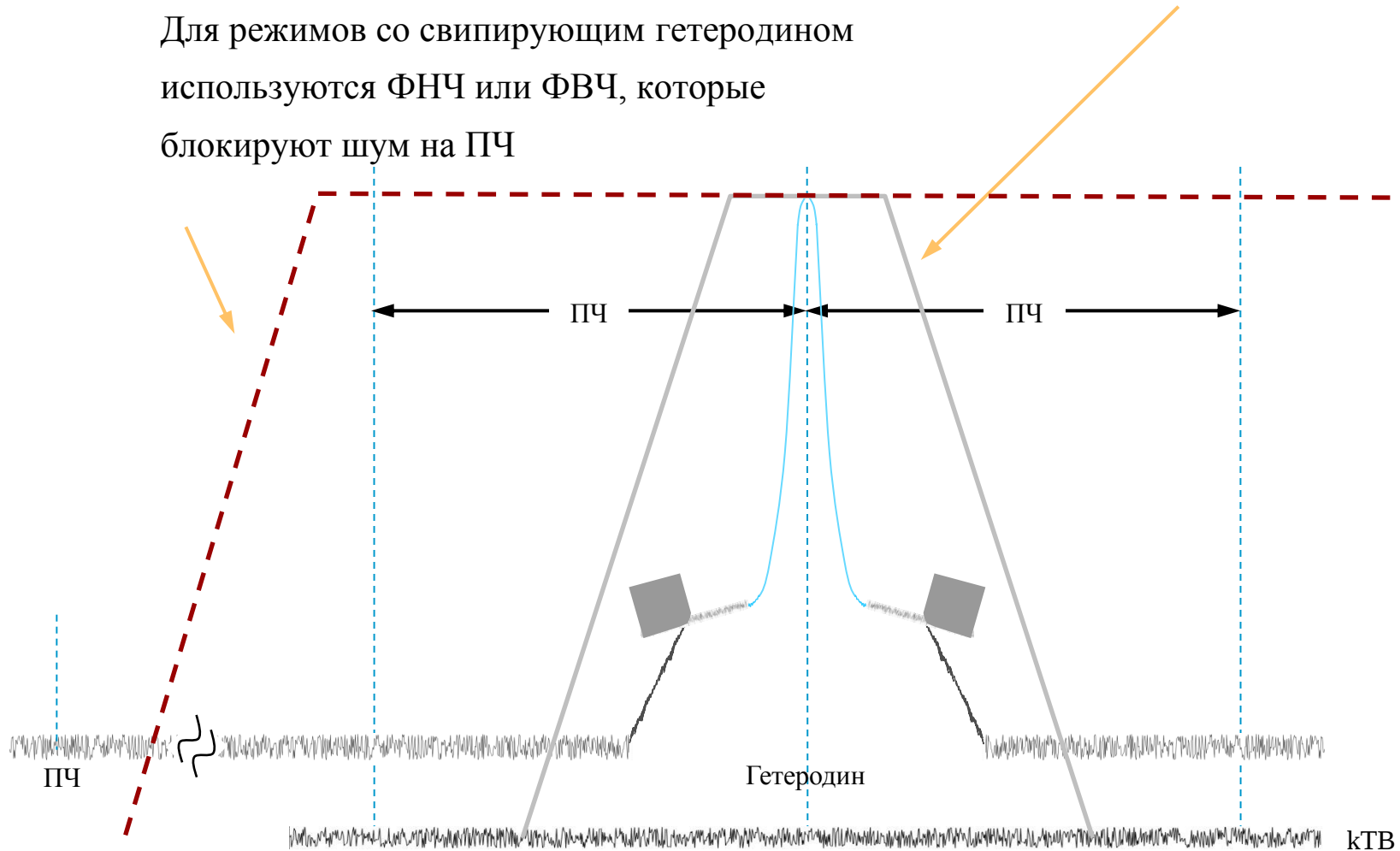
Минимизация вклада шума гетеродина: добавление фильтра

ППФ с полосой $\ll (2 \times \text{ПЧ})$ уменьшает широкополосный шум

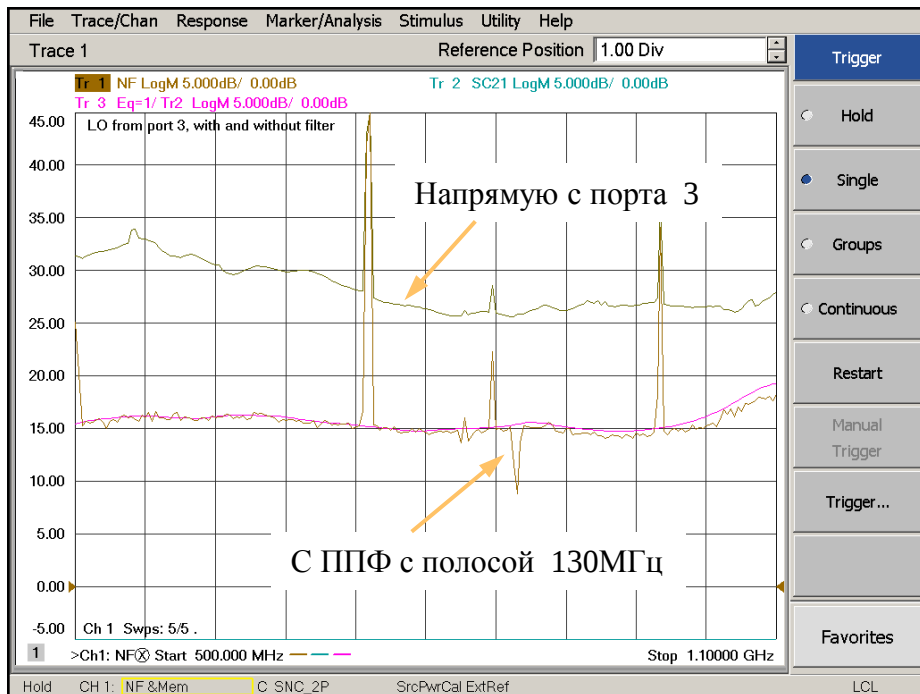
Для режимов со свипирующим гетеродином

используются ФНЧ или ФВЧ, которые

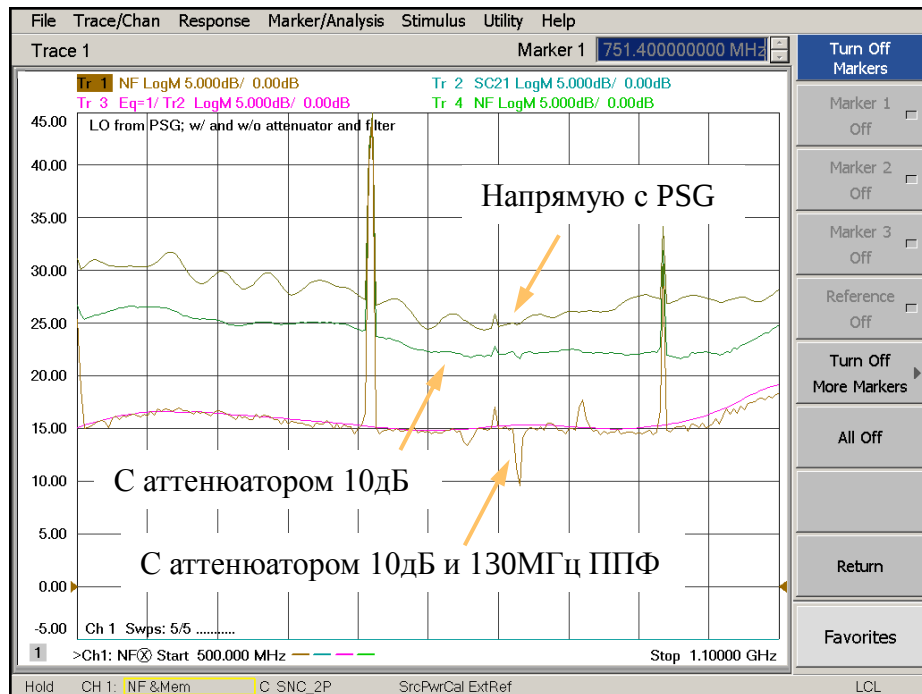
блокируют шум на ПЧ



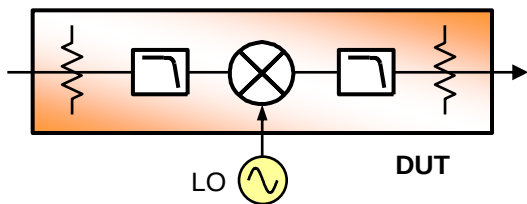
Вклад шума гетеродина (нет усилителя на входе)



Гетеродин – 3й порт PNA-X



Гетеродин - PSG опцией UNX



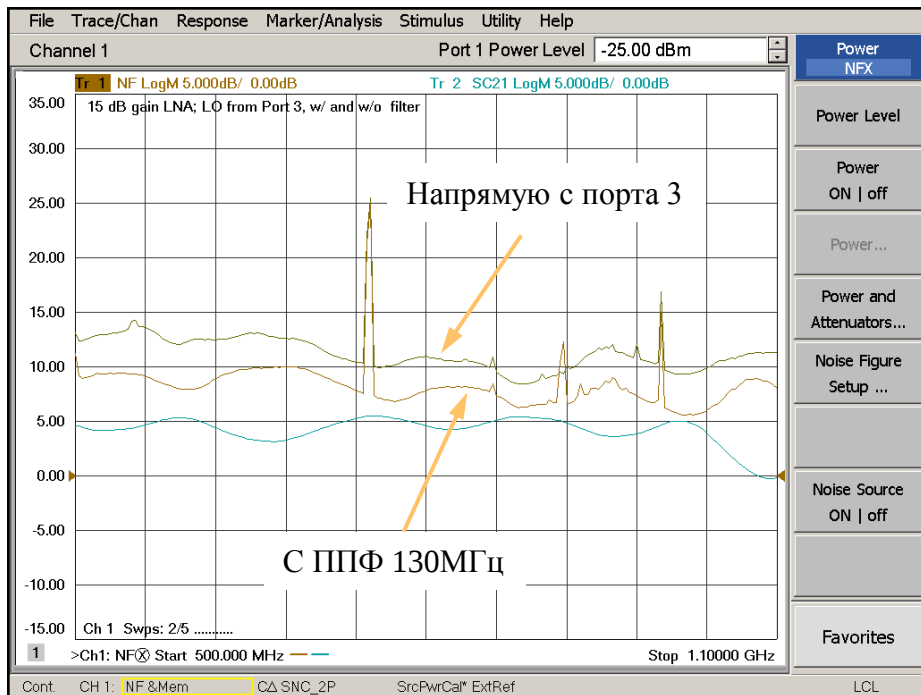
NF должен быть = $1/S_{21}$

Input	Start/Stop	2.000000000 GHz	2.600000000 GHz	Calc Input
LO1	Fixed	1.500000000 GHz	☒ Input > LO	
Output	Start/Stop	+ 3.500000000 GHz	4.100000000 GHz	Calc LO
		- 500.0000000 MHz	1.100000000 GHz	Calc Output

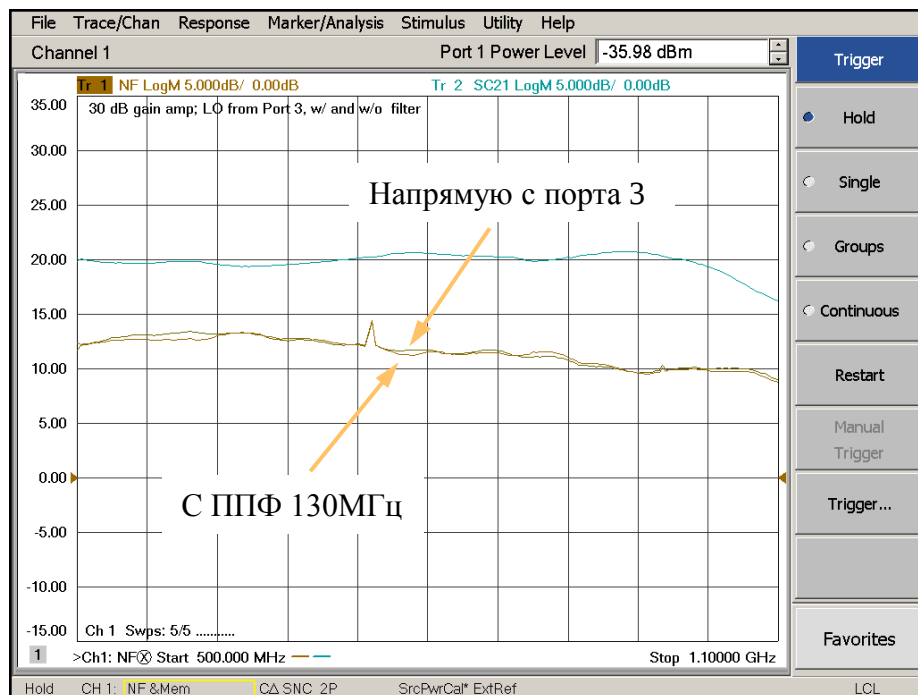


Agilent Technologies

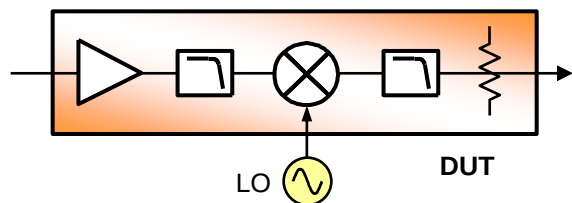
Вклад шума гетеродина (усилитель на входе)



КУ усилителя = 15дБ



КУ усилителя = 30дБ

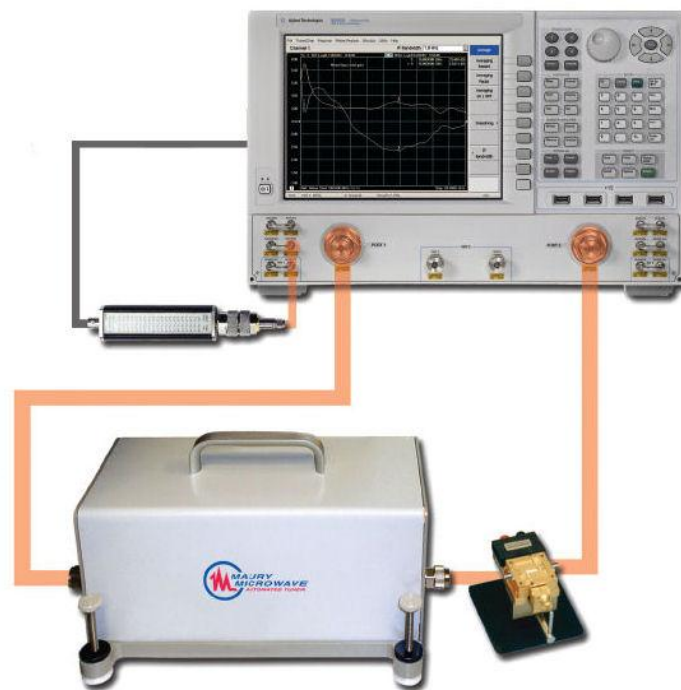
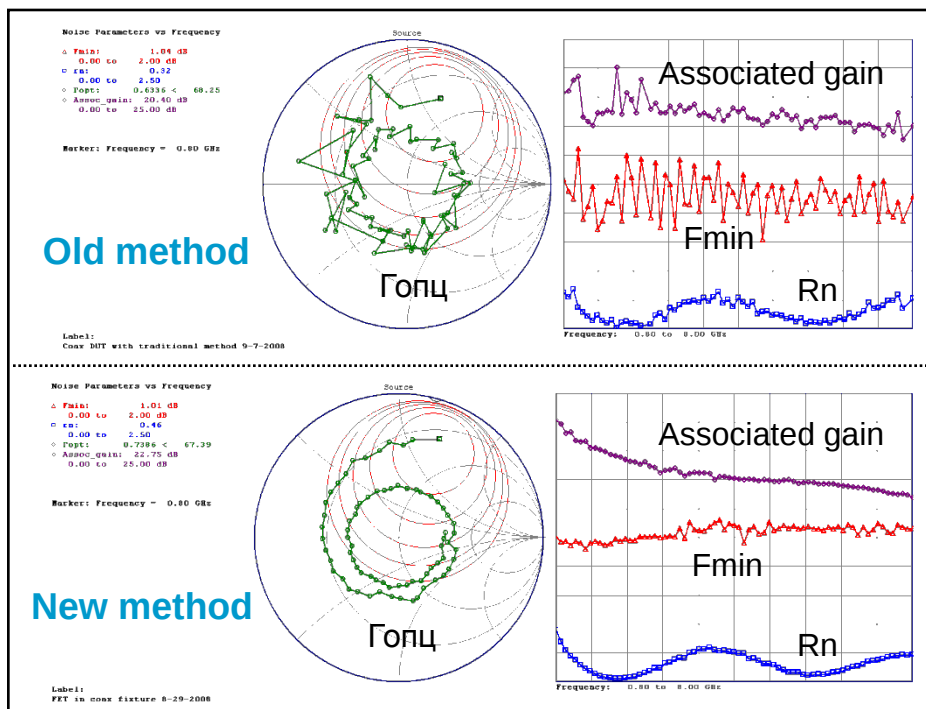


Input	Start/Stop	2.000000000 GHz	2.600000000 GHz	Calc Input
LO1	Fixed	1.500000000 GHz	☒ Input > LO	
Output	Start/Stop	+ 3.500000000 GHz	4.100000000 GHz	Calc LO
		- 500.0000000 MHz	1.100000000 GHz	Calc Output

Измерение шумовых параметров на базе PNA-X

Система на базе PNA-X и тюнеров Maury

- Простота установки
- Высокая скорость калибровки и измерений
- Высокая точность

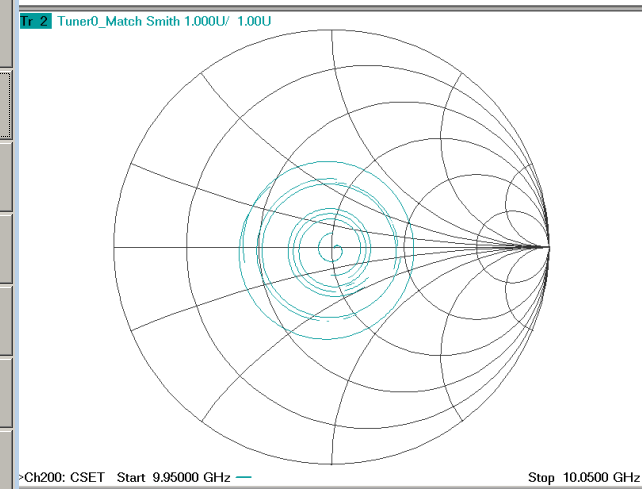
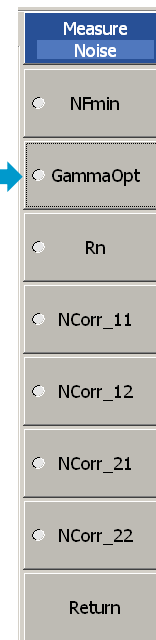
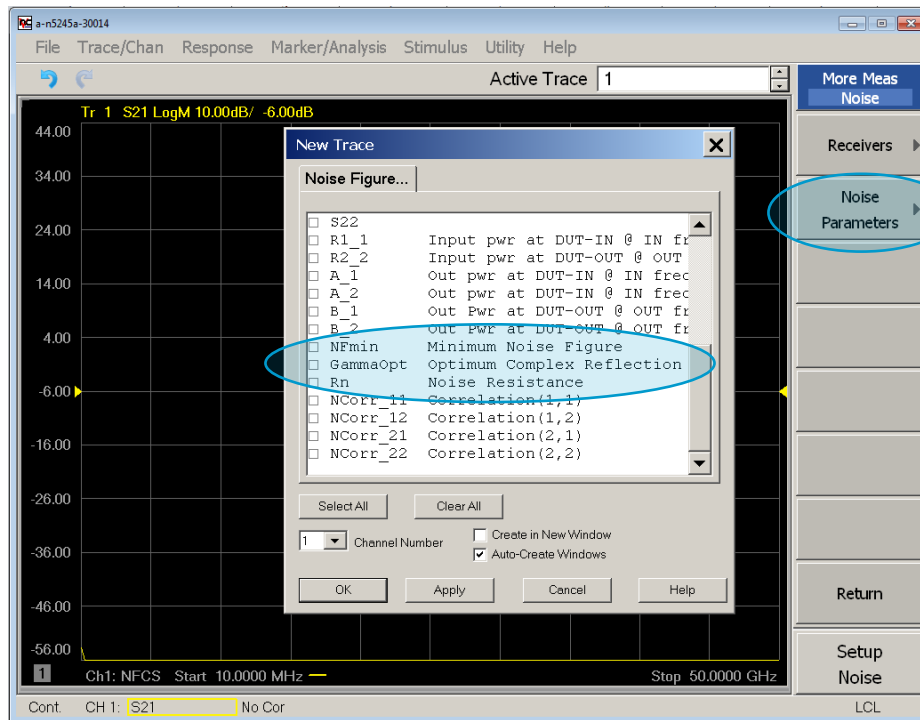


Maury Application Note 5C-085

73 frequencies, 224x faster!

Возможность измерения шумовых параметров в последней версии мкПО

- Для номинально согласованных устройств
- Решение от Maury Microwave по прежнему рекомендуется для несогласованных устройств



Internal impedance tuner states (10 GHz)

Пример измерения шумовых параметров (83050A)

