

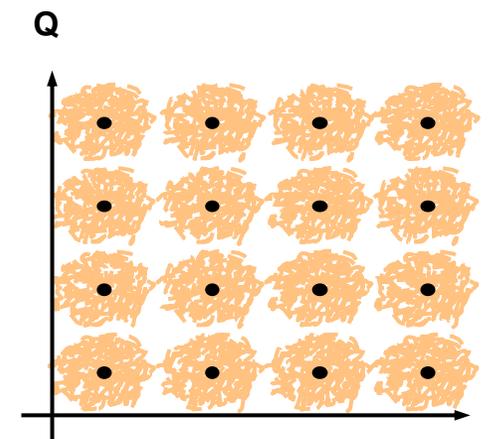
# ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ШУМА

Андрей Крылов  
Руководитель инженерной группы  
[andrey.krylov@planarchel.ru](mailto:andrey.krylov@planarchel.ru)



# КОЭФФИЦИЕНТ ШУМА

- **Шум в системе:**
  - Ограничивает чувствительность системы (к примеру, дальность действия радара)
  - Увеличивает коэффициент битовых ошибок (BER) для цифровых сигналов и радиосигналов с цифровой модуляцией
- **Способы улучшить отношение сигнал-шум (SNR):**
  - Увеличение мощности передаваемого сигнала (мощнее усилители и больше антенны)
  - Уменьшить потери в тракте (обычно невозможно)
  - Снизить собственный шум приёмника
- **Проще и дешевле снизить собственный шум приемника, чем увеличить передаваемую мощность**
- **Коэффициент шума - мера собственного шума устройств**

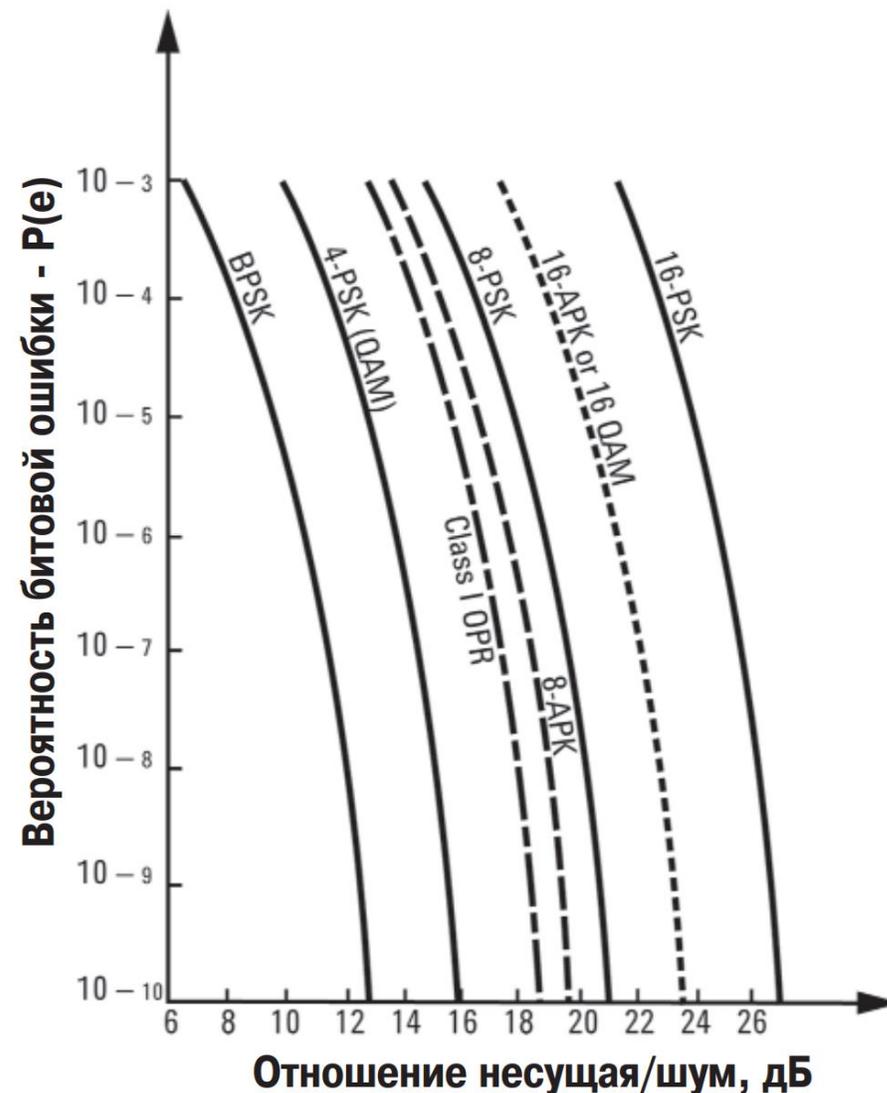


# ВЛИЯНИЕ КШ НА КАЧЕСТВО КАНАЛА СВЯЗИ

Для цифровых систем связи в качестве количественной меры надёжности используется коэффициент битовых ошибок (BER) или вероятность появления битовой ошибки  $P(e)$ .

Коэффициент битовых ошибок нелинейно связан с коэффициентом шума.

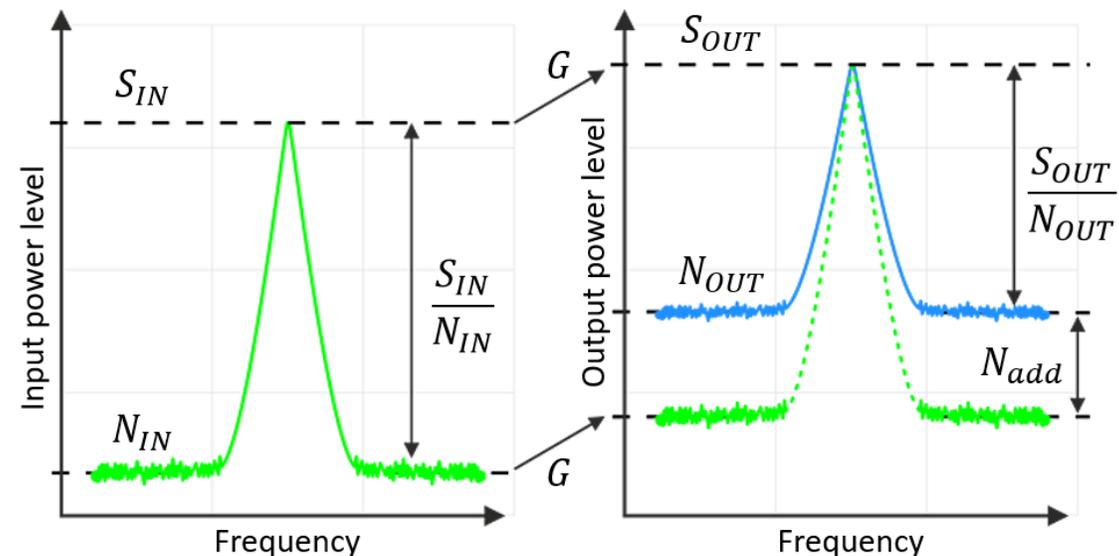
Коэффициент шума характеризует работоспособность системы, тогда как BER показывает является ли система действующей или неработоспособной.



# ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ШУМА

Фундаментальное определение коэффициента шума появилось в 1940 году, когда Гарольд Фриис (Harold Friis) определил коэффициент шума  $F$  цепи как отношение относительной мощности сигнал/шум на входе цепи к относительной мощности сигнал/шум на выходе цепи.

$$F = \frac{S_{IN}/N_{IN}}{S_{OUT}/N_{OUT}}, \quad NF = 10\log(F)$$



$S_{IN}/N_{IN}$  – отношение сигнал/шум на входе четырехполюсника;

$S_{OUT}/N_{OUT}$  – отношение сигнал/шум на выходе четырехполюсника;

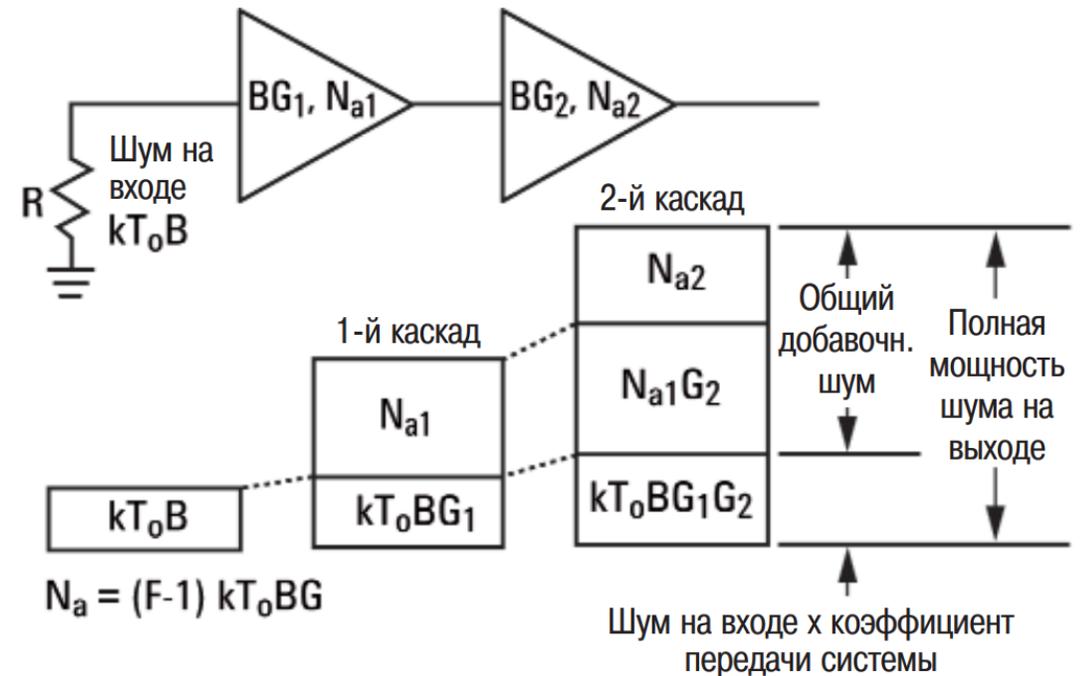
$S$  и  $N$  – номинальные мощности сигнала и шума, Вт.

# КОЭФФИЦИЕНТ ШУМА МНОГОКАСКАДНЫХ СИСТЕМ

Общий коэффициент шума системы может быть вычислен, если известны индивидуальные коэффициенты шума и коэффициенты передачи компонентов системы.

Чтобы найти коэффициент шума каждого компонента, должен быть найден внутренний шум  $N_a$ , добавляемый каждым каскадом. Коэффициент передачи тоже должен быть известен.

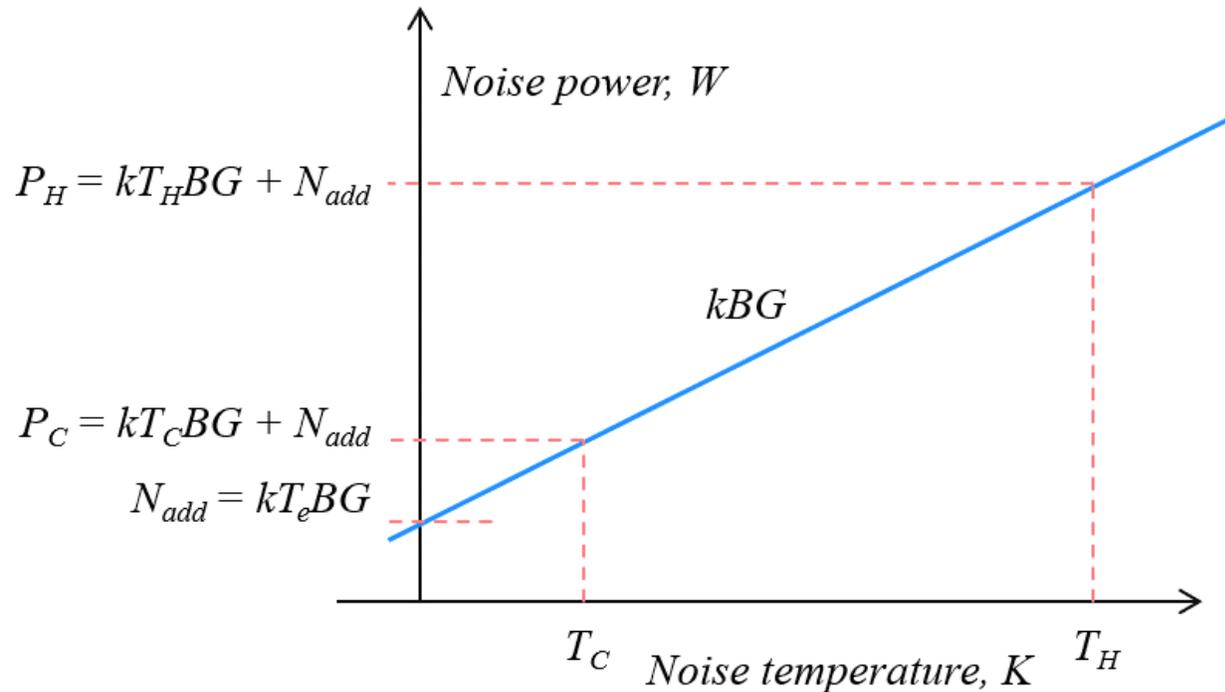
$$F_{sys} = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} + \dots + \frac{F_n - 1}{G_1 G_2 \dots G_{n-1}}$$



# МЕТОД Y-ФАКТОРА

**Метод Y фактора** является основой большинства измерений коэффициента шума, выполняемых внутренними средствами анализатора коэффициента шума как в ручном, так и автоматическом режимах.

Используя источник шума (генератор шума), этот метод позволяет определять внутренний шум в ИУ и, следовательно, коэффициент шума или эффективную температуру входного шума.



# ТРЕБОВАНИЯ К ИЗМЕРИТЕЛЬНОМУ ПРИЕМНИКУ

Стандартный приемник ВАЦ выполнен по супергетеродинной схеме без преселектора.

Входная цепь приемника ВАЦ – группа выделения сигналов, представляющая собой пассивное устройство с потерями, приблизительно равными 15...20 дБ.

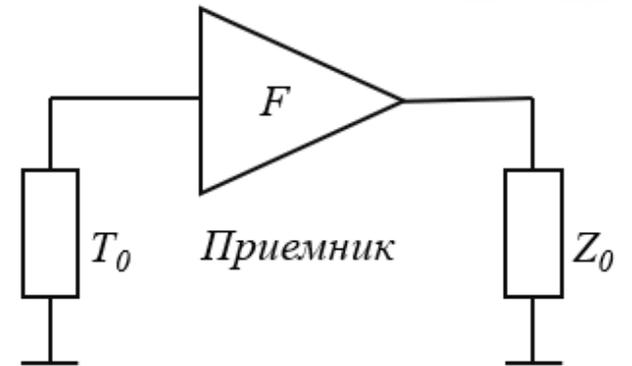
Распределение усиления в тракте приемника выбрано так, чтобы обеспечить прием сигналов в широком динамическом диапазоне, значительно превышающем **100 дБ**.

Уровень собственного шума составляет **порядка -135...140 дБм/Гц** в зависимости от модели анализатора.

В терминах КШ, то получается, что **КШ стандартного приемника близок к 40 дБ**.



$$B=1 \text{ МГц}, F=40 \text{ дБ}$$
$$N_{IN} = kT_0 BF \approx -74 \text{ дБм}$$



Мощность шума на входе приемника для полосы 1МГц:

$$N_{IN} = kT_0 BF \approx -74 \text{ дБм}$$

# ОСОБЕННОСТИ АППАРАТНЫХ РЕАЛИЗАЦИЙ

## Один прибор:

- + Не требует дополнительных операций по подключению
- + Удобство использования
- + Удобство обслуживания и эксплуатации
  
- Большая стоимость при покупке
- Модернизация ранее приобретенных приборов затруднительна

## Модульная система:

- + Возможность апгрейда пользователем
- + Создание дополнительных узкоспециализированных систем
- + Возможность модернизации ранее выпущенных приборов
  
- Сложность эксплуатации
- Точность результатов может зависеть от действий пользователя

# РЕШЕНИЕ: ПРОГРАММНО-АППАРАТНАЯ ОПЦИЯ NF

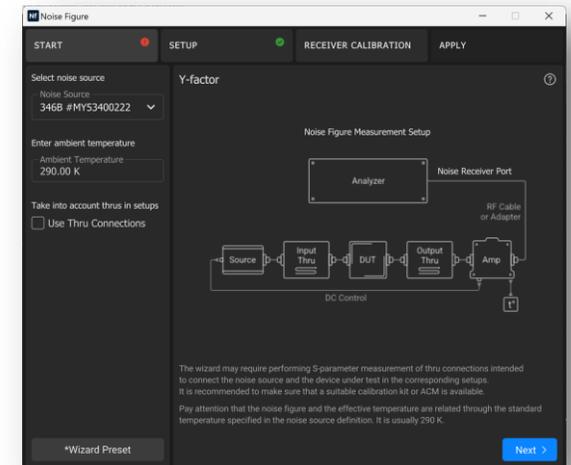
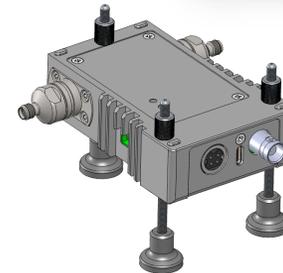
## NF - новая программно-аппаратная опция

Возможности проведения оперативной проверки усилительных и приемных устройств в условиях промышленного производства, в том числе и на автоматизированных измерительных стендах

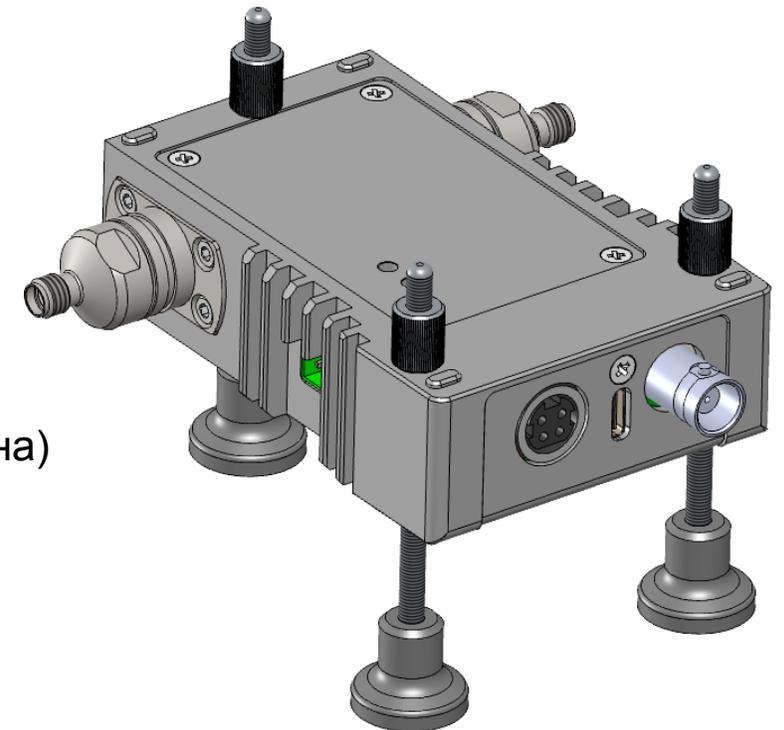
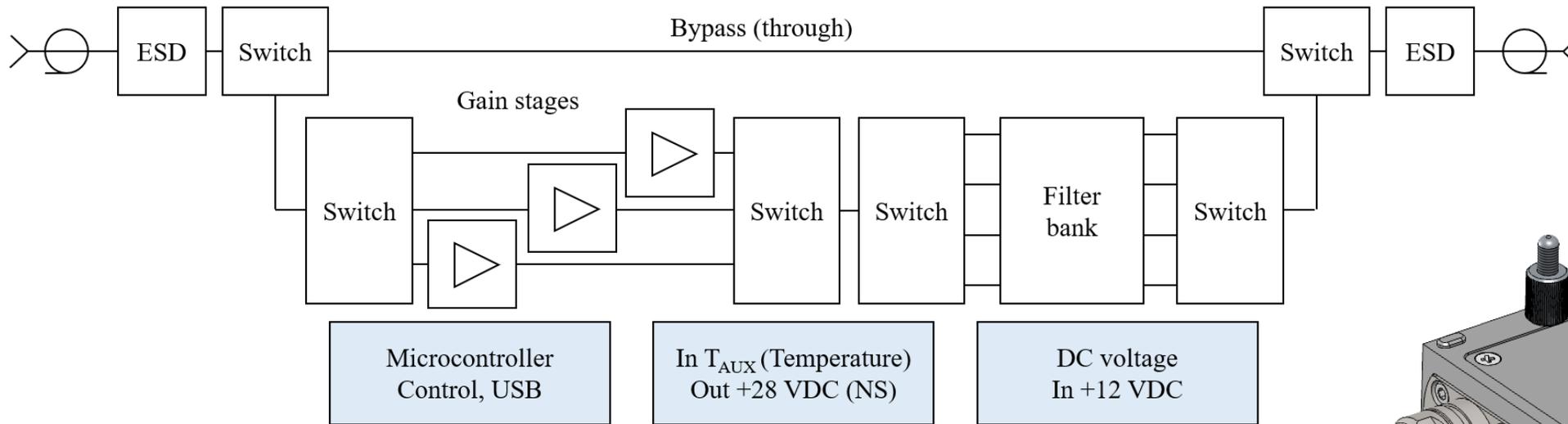
- измерение **КШ до 9 или 20 ГГц**
  - метод Y-фактор
  - метод Y-фактор с учетом эффекта рассогласования в тракте распространения шумового сигнала

## Состав оборудования и ПО для проведения измерений коэффициента шума:

- **Измерительный приемник** (ВАЦ семейства КОБАЛЬТ до 9 и 20 ГГц)
- **Внешний блок предусилителя AMP-xx-LSU** (от 0,1 до 9 ГГц и от 1 до 20 ГГц)
- **Программа NF**, программное обеспечение ВАЦ S2VNA/S4VNA
- **Генератор шума** (опционально, в комплект поставки не входит)
- **Терморезистор** (опционально, в комплект поставки не входит)



# БЛОК ПРЕДУСИЛИТЕЛЯ



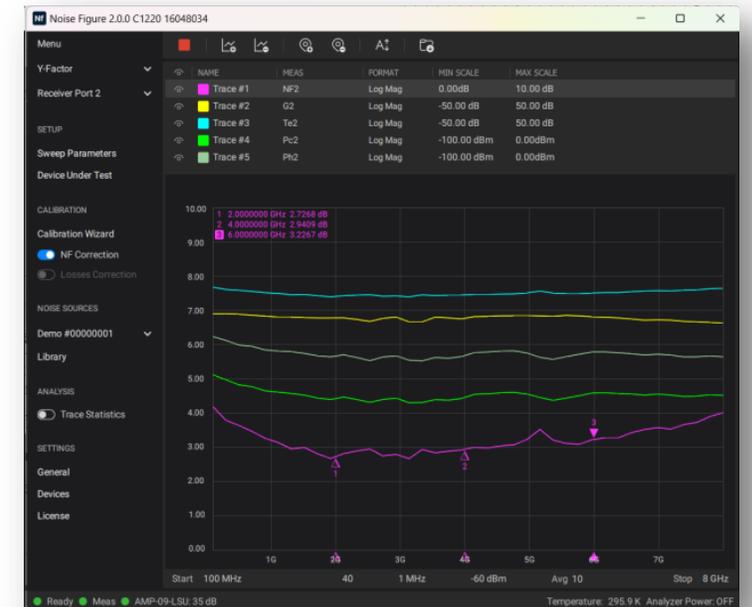
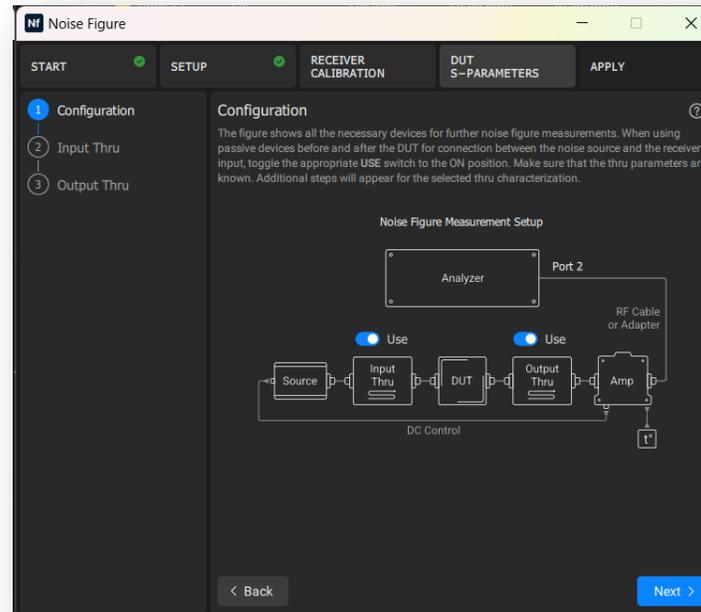
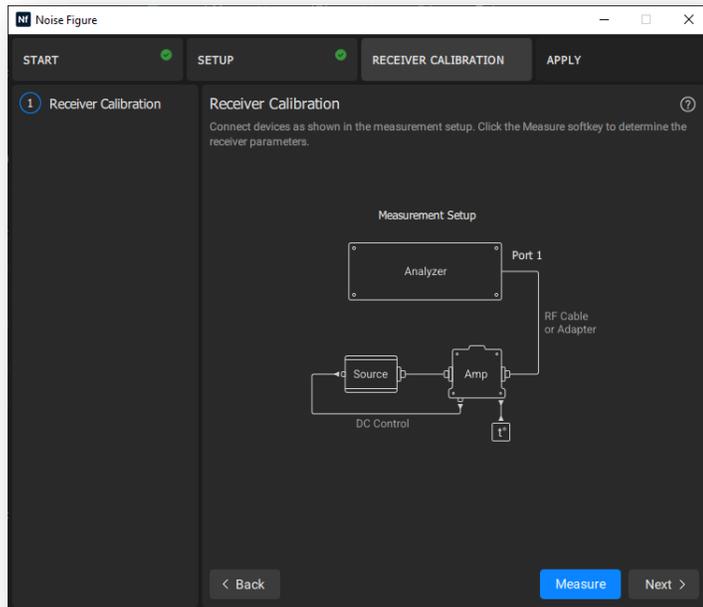
- Увеличение чувствительности приемника ВАЦ
- Селекция сигналов (встроенные фильтры для фильтрации гармоник гетеродина)
- Управление ГШ (встроенный модулятор 28 В)
- Работа с датчиком температуры (терморезистором)

# ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Программа NF имеет два отдельных режима измерений КШ:

- метод Y-фактор
- метод Y-фактор с учетом эффекта рассогласования в тракте распространения шумового сигнала

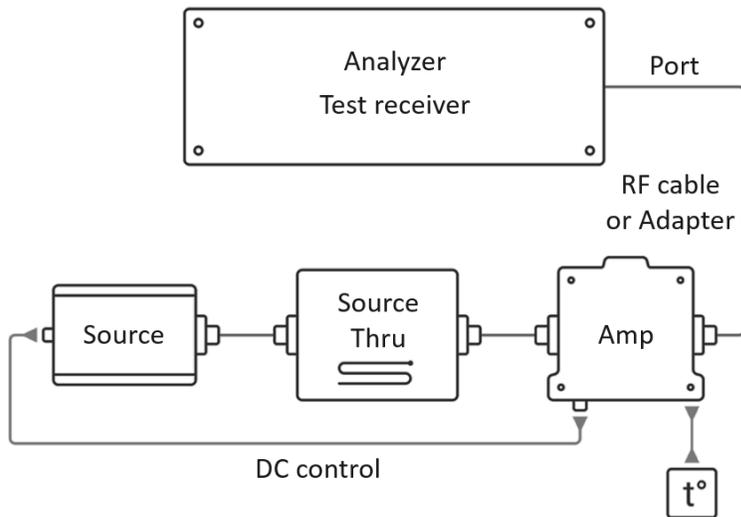
Метод Y-фактор с учетом эффекта рассогласования потребует обязательного выполнения измерений S-параметров ИУ, устройств для подключения ГШ и ИУ и входа приемника.



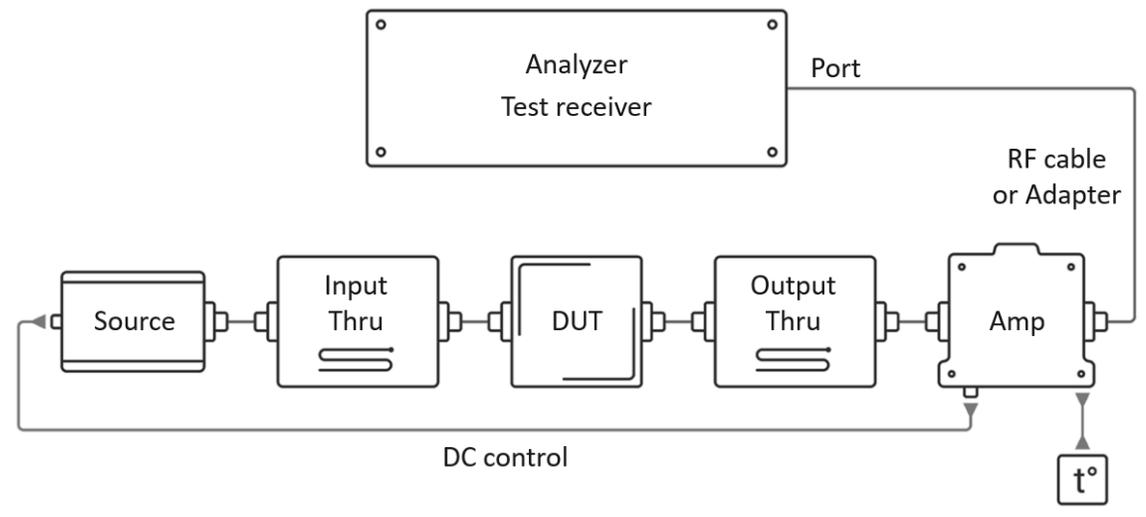
# ПРОЦЕДУРА ИЗМЕРЕНИЙ

## Последовательность действий:

1. Измерение собственного коэффициента шума приемника (калибровка);
2. Измерение коэффициента шума каскадного соединения «исследуемое устройство + приемник»;
3. Вычисление коэффициента шума устройства.



Шаг 1.



Шаг 2.

# ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ

Составляющая погрешности	Оценка погрешности
ГШ, ENR=15 дБ, КСВН не более 1,25	$\pm 0,15$ дБ
Линейность приемника ВАЦ, Кш не более 10 дБ, КСВН не более 2,0	$\pm 0,05$ дБ
Паразитные каналы приема	$\pm 0,1$ дБ
Зеркальный канал приема	$\pm 0,15$ дБ
DUT (Кш=1 дБ, Ку=10 дБ, КСВН не более 2,0)	
Неисключенная погрешность из-за рассогласования	$\pm 0,05$ дБ
Влияние шумовых параметров	$\pm 0,1$ дБ
Случайная погрешность	$\pm 0,15$ дБ
<b>Суммарная погрешность</b>	<b><math>\pm 0,3</math> дБ</b>

**БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ**

ОСТАЛИСЬ ВОПРОСЫ?

