



**НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ПОСТРОЕНИЮ КОМПЛЕКСОВ
ФУНКЦИОНАЛЬНОГО И ПРОИЗВОДСТВЕННОГО
ТЕСТИРОВАНИЯ МНОГОКАНАЛЬНЫХ
ПРИЕМОПЕРЕДАЮЩИХ СИСТЕМ**

Андрей Гельцер

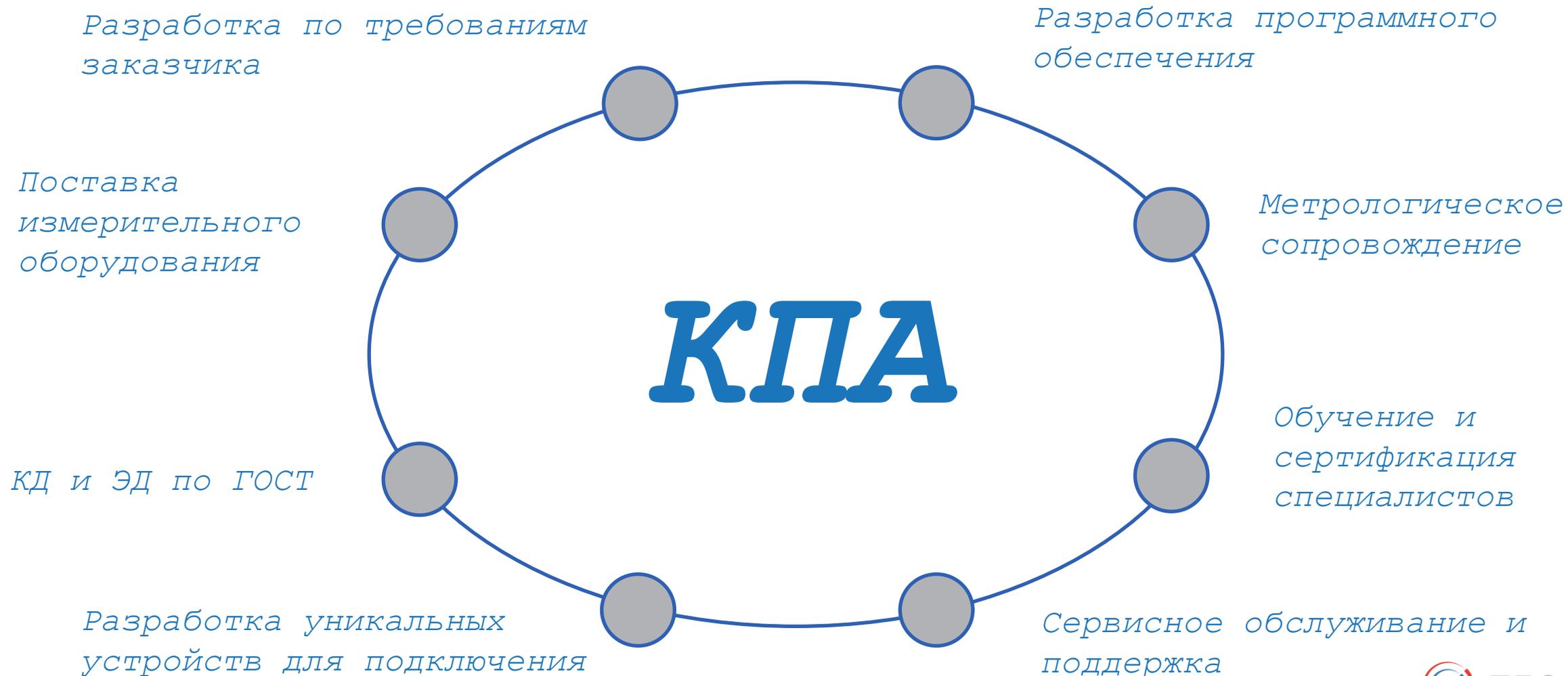
Директор по развитию НПК ТЕСАРТ, к.т.н.

Основные задачи заказчика

- Увеличение производительности
- Уменьшение себестоимости
- Автоматизация процессов
- Уменьшение «человеческого» фактора
- Уменьшение брака

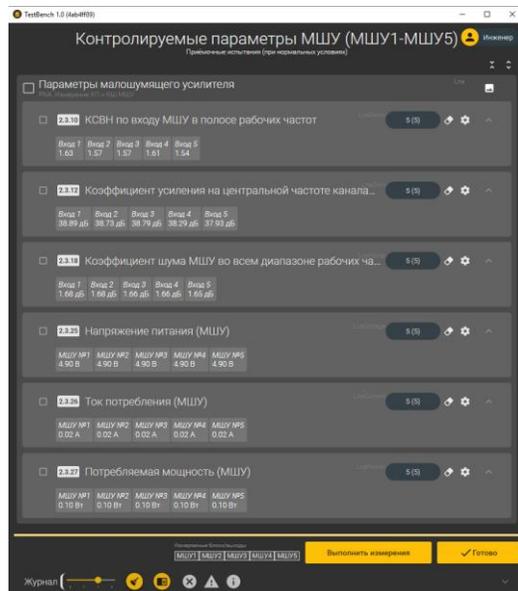
НПК ТЕСАРТ

КПА ПОД КЛЮЧ



НПК ТЕСАРТ

КПА :: СОСТАВ СТЕНДА



ЧТО МОЖЕТ ВХОДИТ В СОСТАВ КПА

- ИЗМЕРИТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ
- УСТРОЙСТВА ПОДКЛЮЧЕНИЯ
- УСТРОЙСТВА КОММУТАЦИИ
- МОДУЛИ РАСШИРЕНИЯ ЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА
- ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
- КД И ЭД ПО ГОСТ
- АТТЕСТОВАННЫЕ МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЙ
- ПУСКО-НАЛАДОЧНЫЕ РАБОТЫ
- ОБУЧЕНИЕ СОТРУДНИКОВ

НПК ТЕСАРТ

КПА :: ТИПЫ ЗАДАЧ ТЕСТИРОВАНИЯ

АНТЕННЫ,
ЭЛЕМЕНТЫ
АНТЕННО-
ФИДЕРНОГО ТРАКТА

КОМПОНЕНТЫ
ПОЛЕЗНОЙ
НАГРУЗКИ

МНОГОКАНАЛЬНЫЕ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ
ЧАСТОТЫ

БЛОКИ ЦИФРОВОГО
ДИАГРАММО-
ОБРАЗОВАНИЯ

ЦИФРОВЫЕ ВЫСОКО-
СКОРОСТНЫЕ ШИНЫ
ДАННЫХ

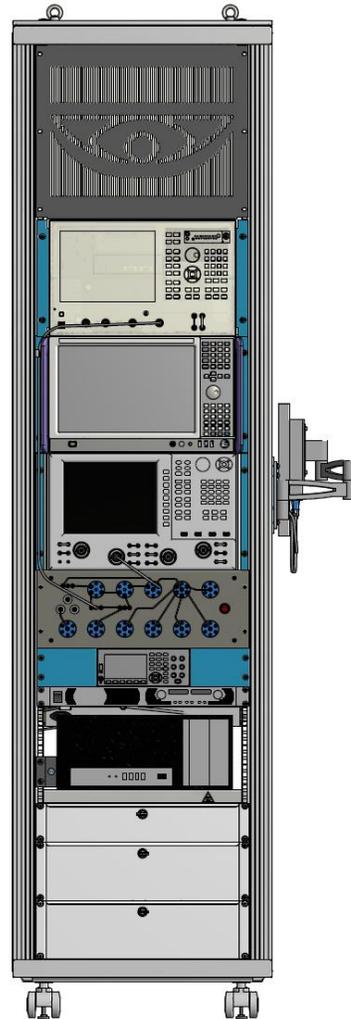
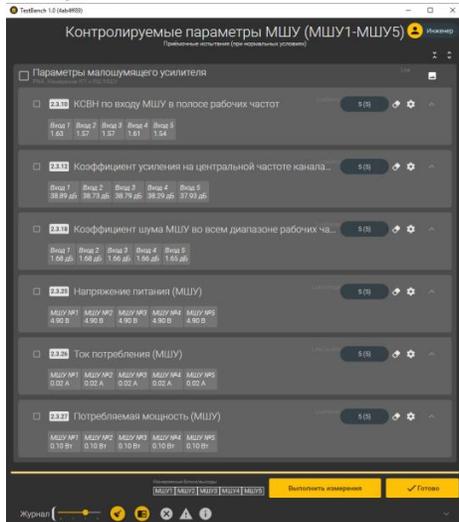
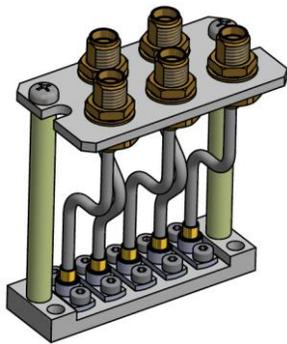
ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕТРАНСЛЯТОРОВ/ТРАНСПОНДЕРОВ

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЦАФАР

ТЕЛЕМЕТРИЯ ПАРАМЕТРОВ СПУТНИКА НА ОРБИТЕ

НПК ТЕСАРТ

КПА :: ПРИМЕР – МНОГОКАНАЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЧАСТОТЫ



КЛЮЧЕВЫЕ ОСОБЕННОСТИ

- АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ 125+ КАНАЛОВ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ ПО 40 ПАРАМЕТРАМ
- ПОЛНАЯ ПАСПОРТИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ
- УНИКАЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА ПОДКЛЮЧЕНИЯ К ИССЛЕДУЕМОМУ УСТРОЙСТВУ
- РАЗРАБОТКА КАЛИБРОВОЧНЫХ СТАНДАРТОВ
- БЛОК ЭМУЛЯТОРА ШИНЫ УПРАВЛЕНИЯ И ТЕЛЕМЕТРИИ В СОСТАВЕ СТЕНДА

НПК ТЕСАРТ

КПА :: КАЛИБРОВОЧНЫЕ НАБОРЫ

МЕХАНИЧЕСКИЕ КАЛИБРОВОЧНЫЕ НАБОРЫ



КЛЮЧЕВЫЕ ОСОБЕННОСТИ

- КАЛИБРОВОЧНЫЕ СТАНДАРТЫ ДЛЯ НЕСТАНДАРТНЫХ СЕЧЕНИЙ
- МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТАНДАРТОВ
- ДИАПАЗОН РАБОЧИХ ЧАСТОТ ДО 110 ГГц

КОМПЛЕКТ ПОСТАВКИ

- КАЛИБРОВОЧНЫЕ СТАНДАРТЫ
- ОПИСАНИЕ КАЛИБРОВОЧНЫХ СТАНДАРТОВ
- РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ
- ТРАНСПОРТНАЯ ТАРА

НПК ТЕСАРТ

КПА :: МАТРИЦЫ КОММУТАЦИИ

МАТРИЦЫ КОММУТАЦИИ СВЧ



КЛЮЧЕВЫЕ ОСОБЕННОСТИ

- МАТРИЦА КОММУТАЦИИ ПРЕДНАЗНАЧЕНА ДЛЯ КОММУТАЦИИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СХЕМЫ
- ПОСТРОЕНА НА БАЗЕ СВЧ КОММУТАТОРОВ SPDT, DPDT, SP4T, SP6T И Т.Д.
- ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ ОБЕСПЕЧИВАЮТ МИНИМАЛЬНЫЕ ВНОСИМЫЕ ПОТЕРИ, ЛУЧШЕЕ СОГЛАСОВАНИЕ И ПОВТОРЯЕМОСТЬ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЙ, ШИРОКОПОЛОСНОСТЬ ОТ DC
- ДИАПАЗОН РАБОЧИХ ЧАСТОТ ОТ 0 Гц ДО 50 ГГц

КОМПЛЕКТ ПОСТАВКИ

- МАТРИЦА КОММУТАЦИИ
- РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ
- ТРАНСПОРТНАЯ ТАРА

НПК ТЕСАРТ

КПА :: ДЕЛИТЕЛИ И СУММАТОРЫ МОЩНОСТИ

ДЕЛИТЕЛИ МОЩНОСТИ СВЧ



КЛЮЧЕВЫЕ ОСОБЕННОСТИ

- ДЕЛИТЕЛИ/СУММАТОРЫ МОЩНОСТИ ПОСТРОЕНЫ НА БАЗЕ ДЕЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ 1-В-2, 1-В-4, 1-В-8
- ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОСТОВ ВИЛКИНСОНА ОБЕСПЕЧИВАЕТ МИНИМАЛЬНЫЕ ВНОСИМЫЕ ПОТЕРИ И МАКСИМАЛЬНУЮ РАЗВЯЗКУ КАНАЛОВ
- ДИАПАЗОН РАБОЧИХ ЧАСТОТ ДО 50 ГГц

КОМПЛЕКТ ПОСТАВКИ

- БЛОК ДЕЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ СВЧ
- РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ
- ТРАНСПОРТНАЯ ТАРА

НПК ТЕСАРТ

КПА :: КОНВЕРТЕРЫ ЧАСТОТЫ

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЧАСТОТ

КОНВЕРТЕРЫ ЧАСТОТЫ

Ключевой элемент в построении измерительных стендов

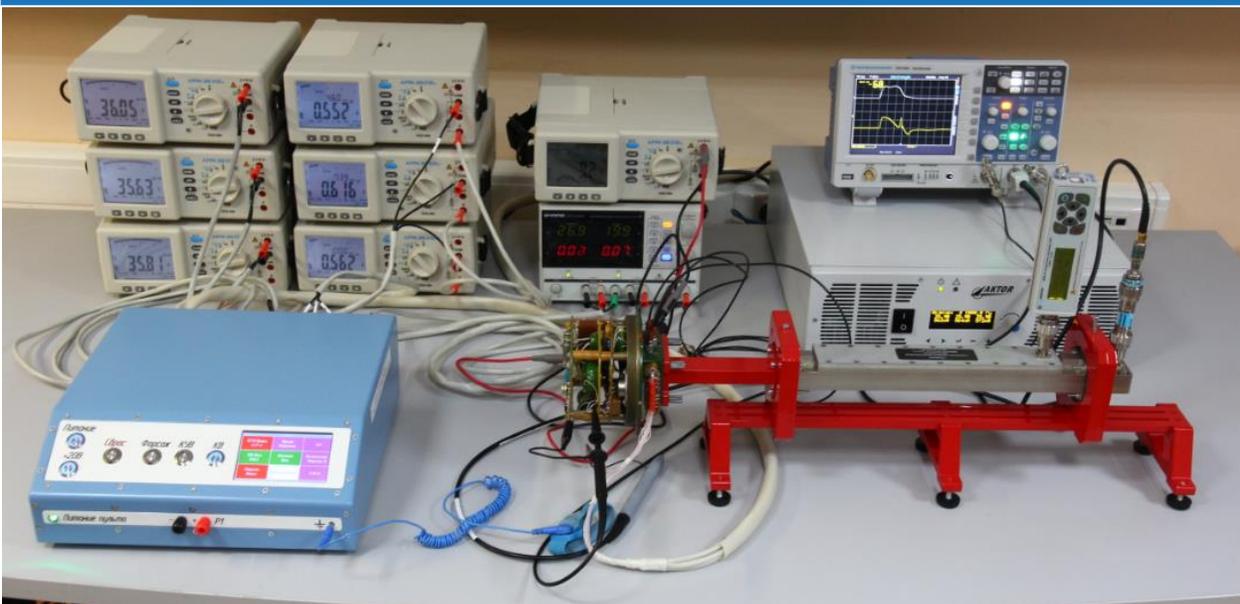


КЛЮЧЕВЫЕ ОСОБЕННОСТИ

- Диапазон рабочих частот от 0,5 Гц до 50 ГГц
- Низкий фазовый шум, 30 ГГц @100 кГц: - 125 дБн/Гц
- Количество каналов преобразования в одном корпусе: до 8
- Система управления: Сенсорный дисплей, web-интерфейс, SCPI-команды/Ethernet

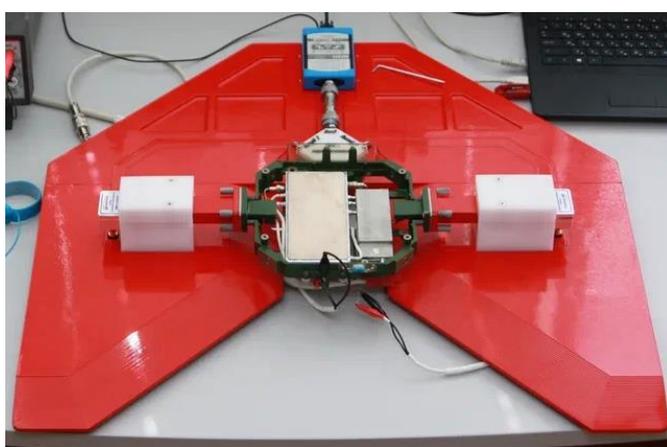
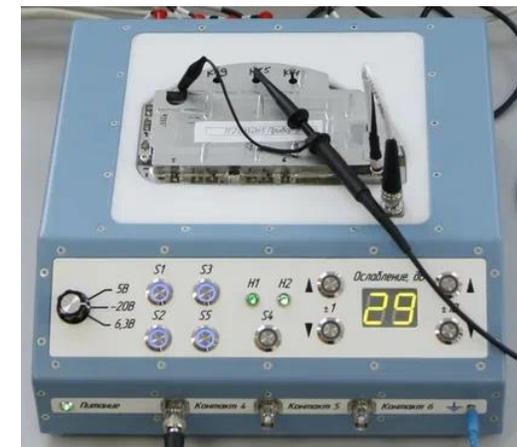
НПК ТЕСАРТ

КПА :: ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ



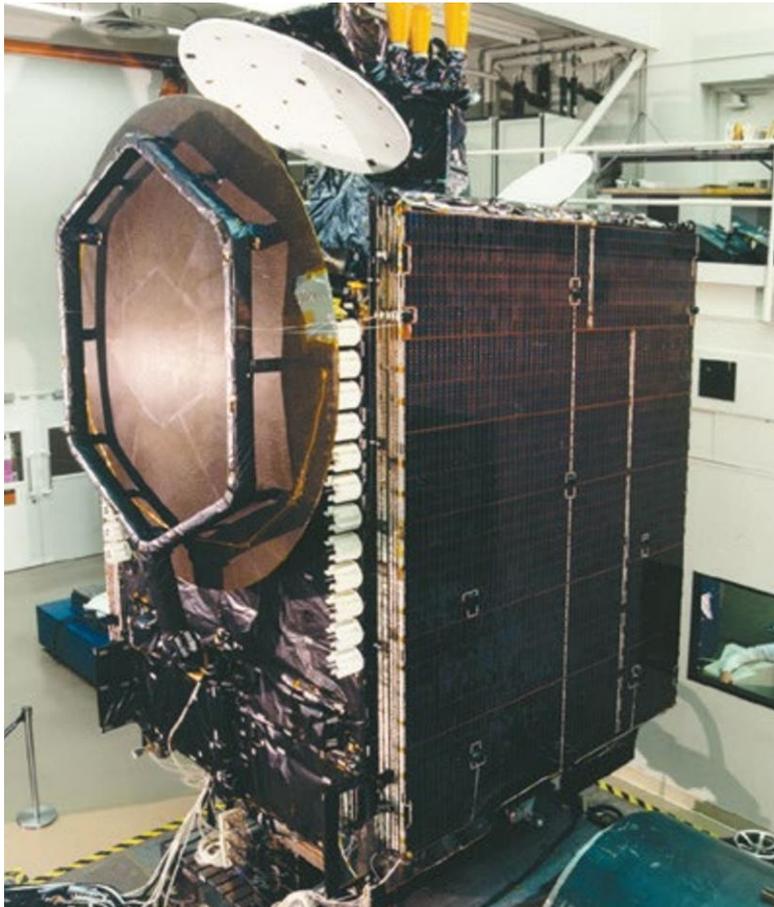
ЧТО МОЖЕТ ВХОДИТ В СОСТАВ

- ИЗМЕРИТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ
- УСТРОЙСТВА ПОДКЛЮЧЕНИЯ И КОММУТАЦИИ
- ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
- КД И ЭД ПО ГОСТ
- МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЙ
- ПУСКО-НАЛАДОЧНЫЕ РАБОТЫ
- ОБУЧЕНИЕ СОТРУДНИКОВ



НПК ТЕСАРТ

Постановка задачи



Контролируемые параметры устройств с преобразованием частоты

- Модуль коэффициента преобразования на центральной частоте рабочего диапазона частот
- Неравномерность модуля коэффициента преобразования в рабочей полосе частот
- Неравномерность ГВЗ в рабочей полосе частот
- Фаза коэффициента преобразования (контролируется в многоканальных преобразователях частот)

Особенности измерений

- Требуется проводить измерения без синхронизации опорного генератора ВАЦ и ИУ (Embedded LO)
- Исключение влияния технологической оснастки

НПК ТЕСАРТ

НОВЫЕ МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ КОНВЕРТЕРОВ

Ранее применявшиеся методы измерений:

1. SMC+Phase Keysight
2. Двухтоновый метод R&S
3. Метод опорного смесителя



Решения разрабатываемые НПК ТЕСАРТ

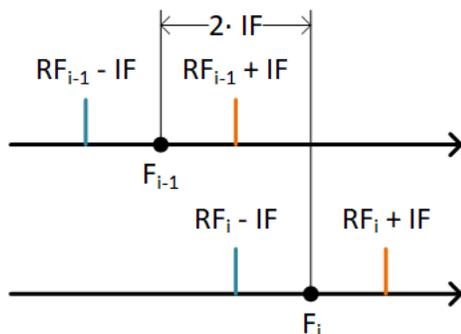
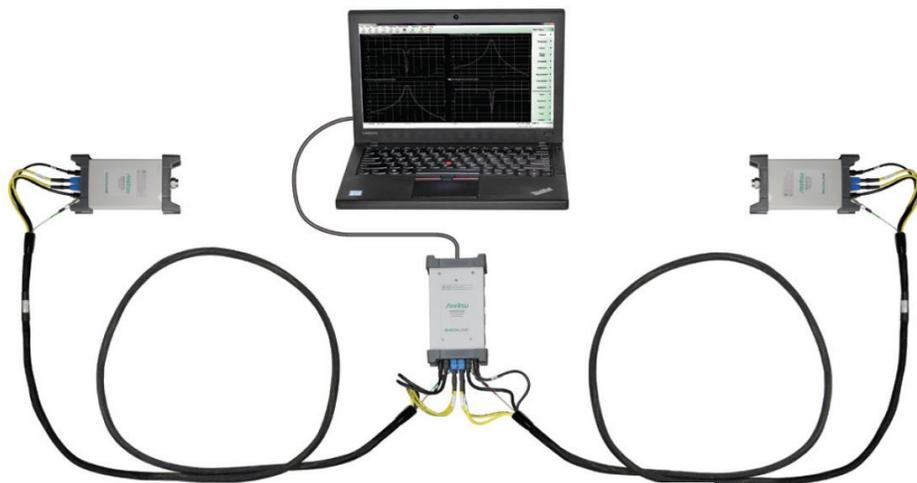
1. Метод АБ – с помощью ВАЦ «Планар»
2. Мультитон – Векторный генератор + Анализатор спектра
3. Созвездие – Векторный генератор + Осциллограф

Ключевые особенности

- 1) Неравномерность АЧХ; 2) Неравномерность ГВЗ; 3) Недоступный LO

НПК ТЕСАРТ

МЕТОД АБ :: Система разнесенных ВАЦ ShockWave Anritsu



$$\arg(S21_i) = \arg(S21_{i-1}) + \arg(Bb_i/R1b_i) - \arg(Ba_i/R1a_i)$$

Дрейф гетеродина удаленного ВАЦ компенсируется проведением двух измерений - с верхним и нижним гетеродином (ПЧ остается постоянной).

Отсюда и название метода АБ (измерение №1 «А» + измерение №2 «Б»)

Передача опорного сигнала осуществляется через оптический удлинитель

ДОСТОИНСТВА

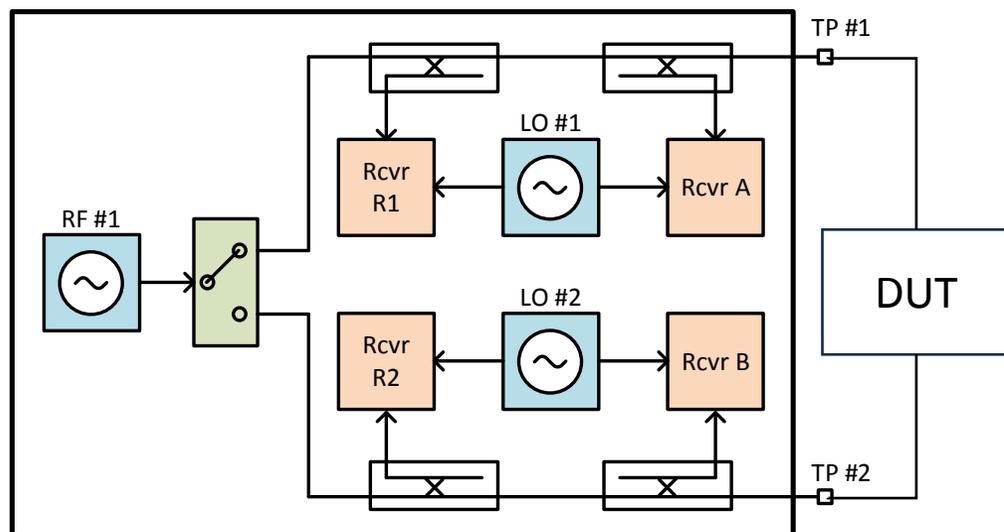
- Простота калибровки и проведения измерений
- Маленькое влияние изгибов кабельных сборок, используемых для разнесения портов

НЕДОСТАТКИ

- Шаг по частоте равный апертуре (удвоенной частоте ПЧ)
- Сложность с восстановлением ФЧХ

НПК ТЕСАРТ

МЕТОД АВ :: Структурная схема ВАЦ

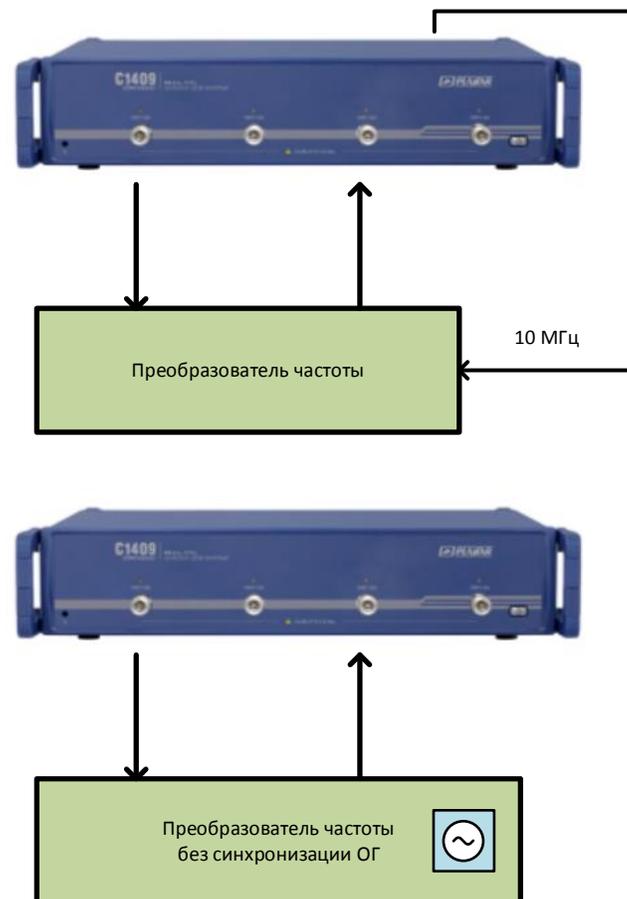


ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

- Измерительные приемники имеют независимые гетеродины
- Не требует вспомогательных смесителей для проведения измерений
- Измерение фазы коэффициента преобразования/ГВЗ производится методом АВ

НПК ТЕСАРТ

МЕТОД АБ :: Использование метода АБ для измерения ГВЗ конвертера*



ПЕРЕЧЕНЬ ИЗМЕРЯЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ

- Согласование по входу
- Согласование по выходу
- Модуль коэффициента преобразования
- Фаза коэффициента преобразования
- ГВЗ

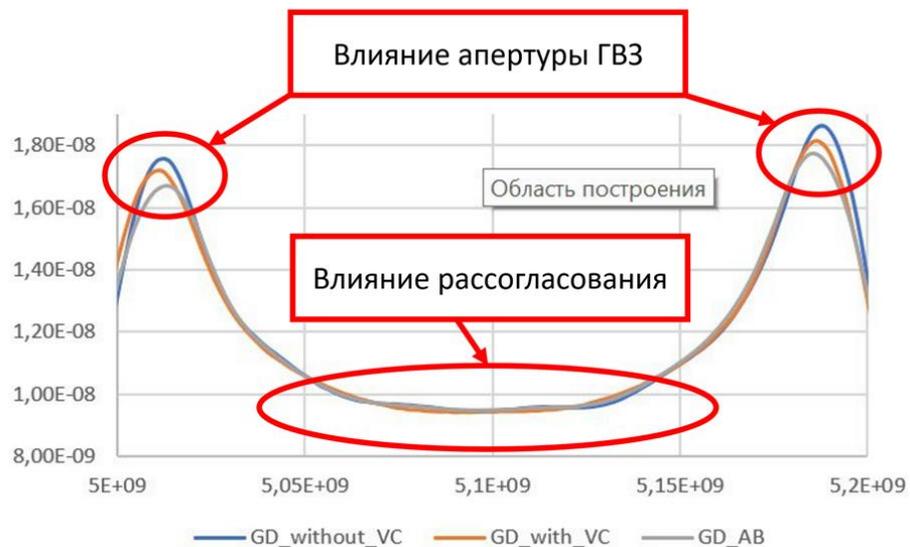
СИНХРОНИЗАЦИЯ ЧАСТОТЫ ОГ

- частотой 10 МГц
- программная автоподстройка

*ПЕРВЫЕ ИЗДЕЛИЯ: 3Q 2024

НПК ТЕСАРТ

МЕТОД АБ :: Результаты измерений*



Сравнение результатов измерения ГВЗ преобразователя частоты

*ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В ПОДГОТОВКЕ К РЕЛИЗУ

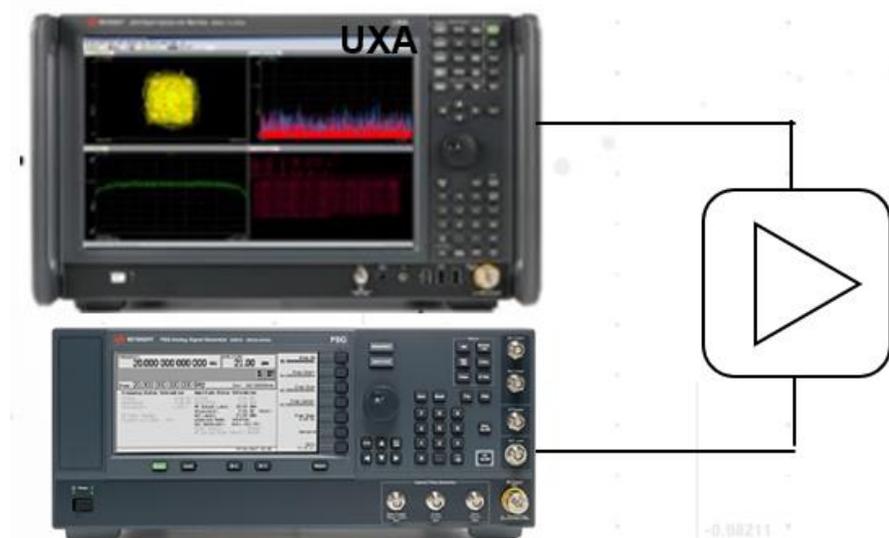
- Применение векторной коррекции результатов измерений
- Исключение оснастки из результатов измерений
- Калибровка уровня мощности зондирующего сигнала по входу/выходу исследуемого устройства
- Сертификация методики проведения измерений

НПК ТЕСАРТ

Опция «Мультитон» :: Подходы к решению задачи

ЗАДАЧА

Провести измерения на базе Векторного генератора + Векторного анализатора



ПЕРЕЧЕНЬ ИЗМЕРЯЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ

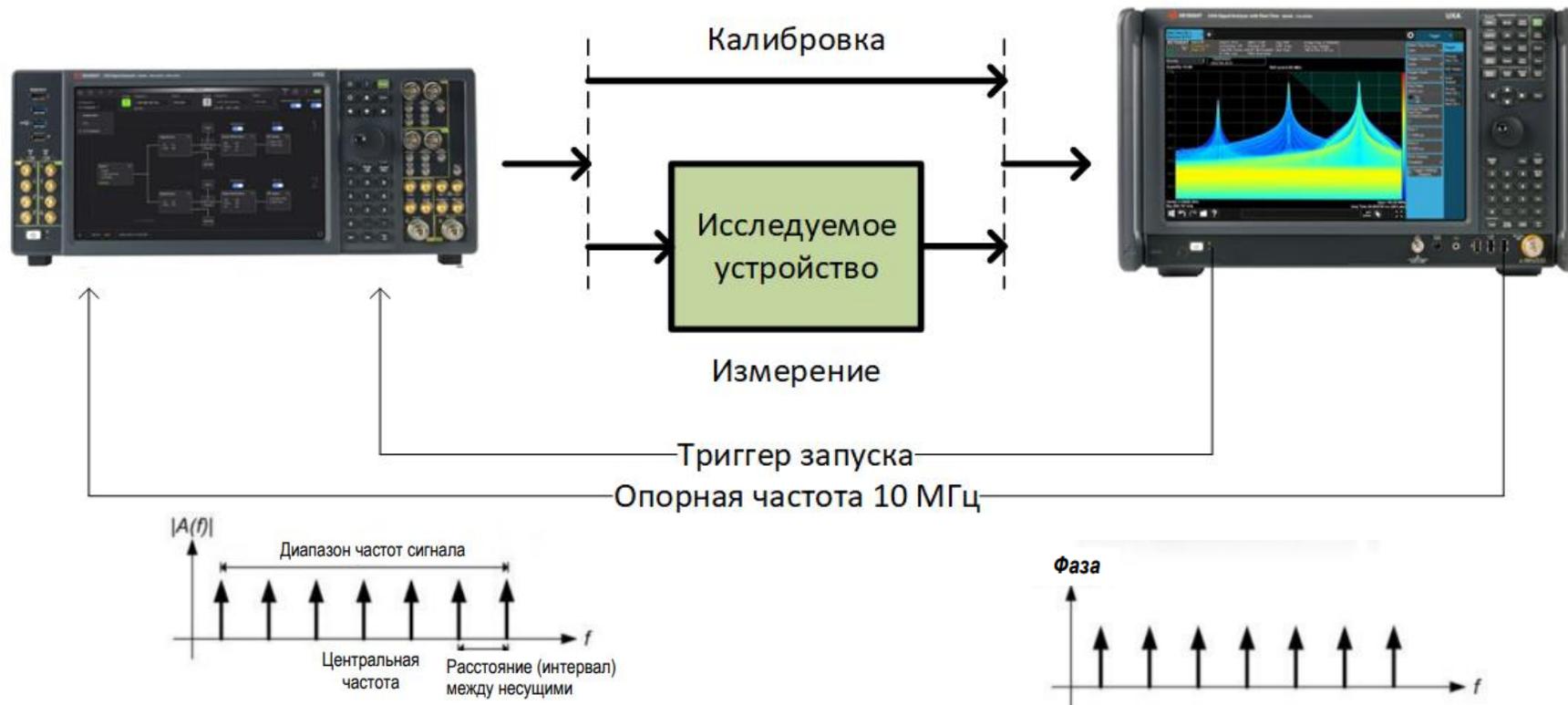
- Модуль коэффициента передачи/преобразования
- ГВЗ коэффициента передачи/преобразования

ПРОБЛЕМЫ

- Отсутствие метрологии и наличия в реестре
- Нет поддержки решений от производителя
- Привязка к конкретному набору оборудования

НПК ТЕСАРТ

Опция «Мультитон» :: Методика тестирования ТЕСАРТ



ПЕРЕЧЕНЬ ИЗМЕРЯЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ

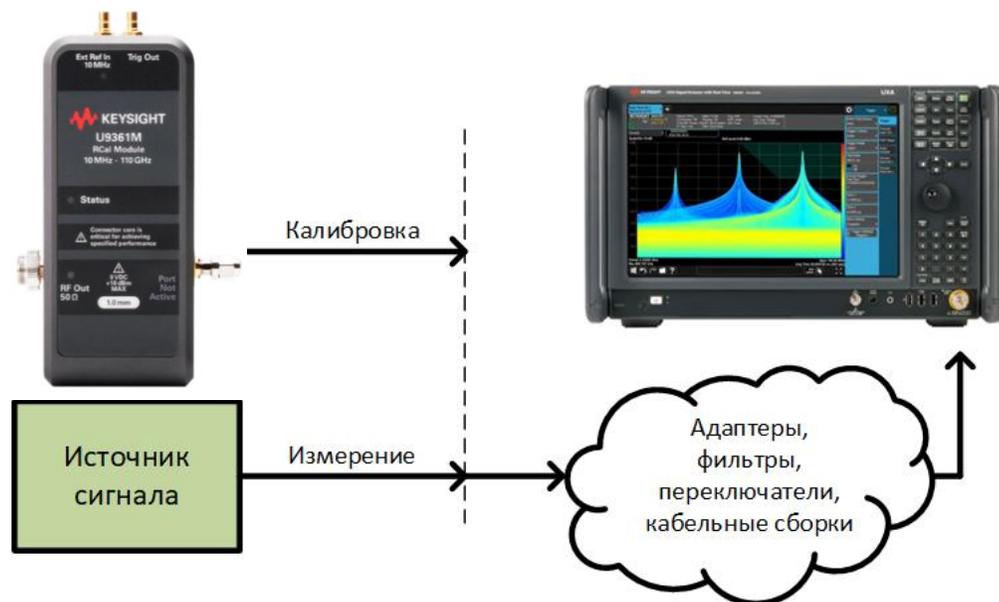
Модуль коэффициента передачи/преобразования
ГВЗ коэффициента передачи/преобразования

БЛИЖАЙШИЕ АНАЛОГИ

Опция FSW-K17 от Rohde&Schwarz
Опция VSA Channel Quality от Keysight Technologies

НПК ТЕСАРТ

Опция «Мультитон» :: Использование калибратора R-Cal



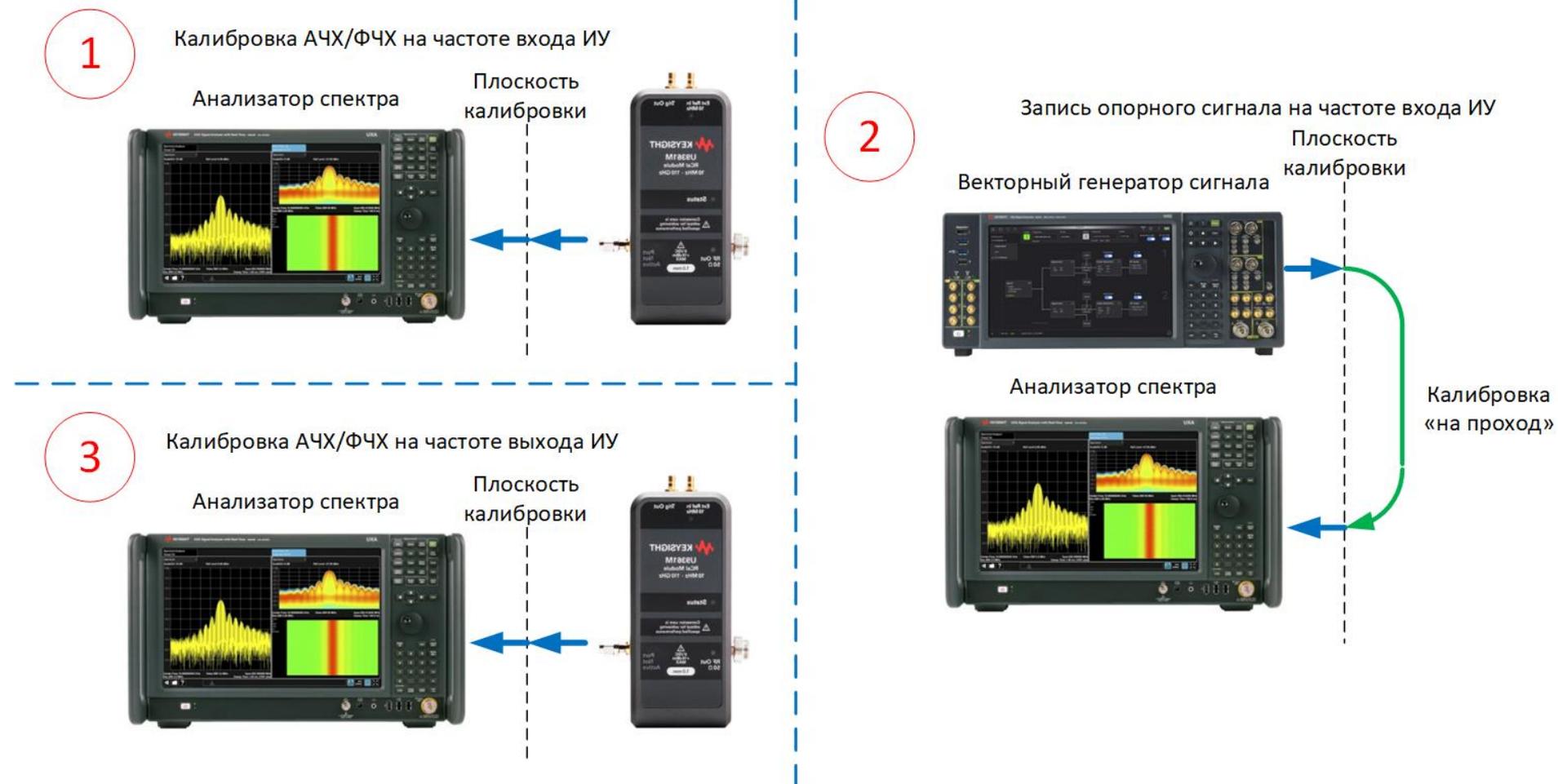
КЛЮЧЕВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

- Коррекция АЧХ/ФЧХ тракта анализатора спектра и технологической оснастки
- Диапазон рабочих частот до 26,5/50/67/110 ГГц
- Точность корректировки

Частота, ГГц	АЧХ, дБ	ФЧХ, град
0,01 ... 26,5	±0,15	±0,5
26,5 ... 42	±0,3	±1
42 ... 50	±0,3	±2
50 ... 67	±0,5	±5
67 ... 85	±0,5	±6
85 ... 102	±0,6	±10
102 ... 110	±0,6	±14

НПК ТЕСАРТ

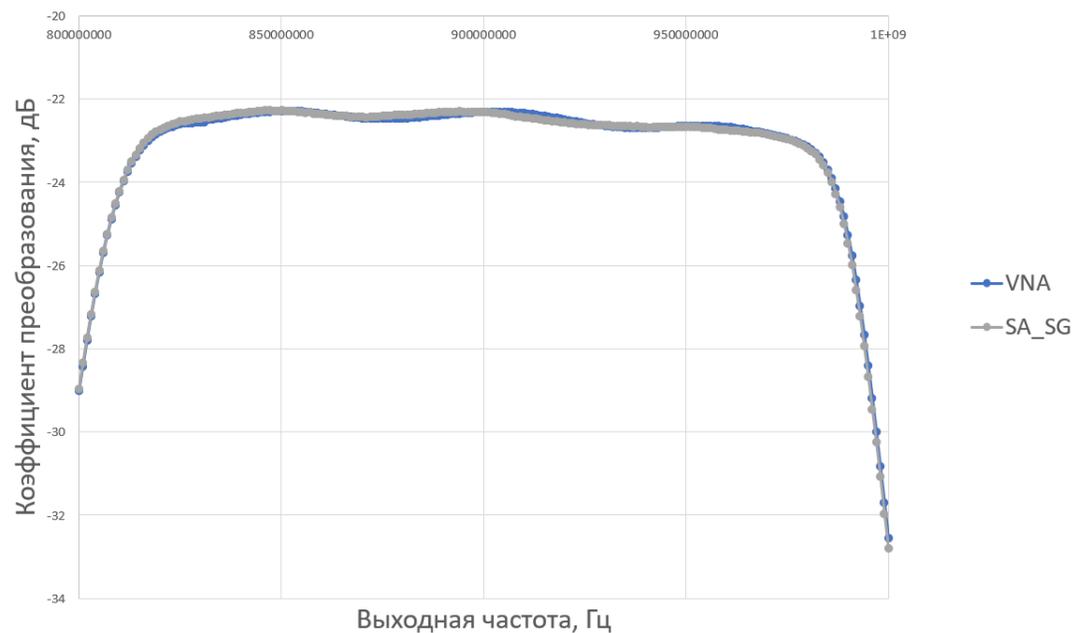
Опция «Мультитон» :: Методика калибровки



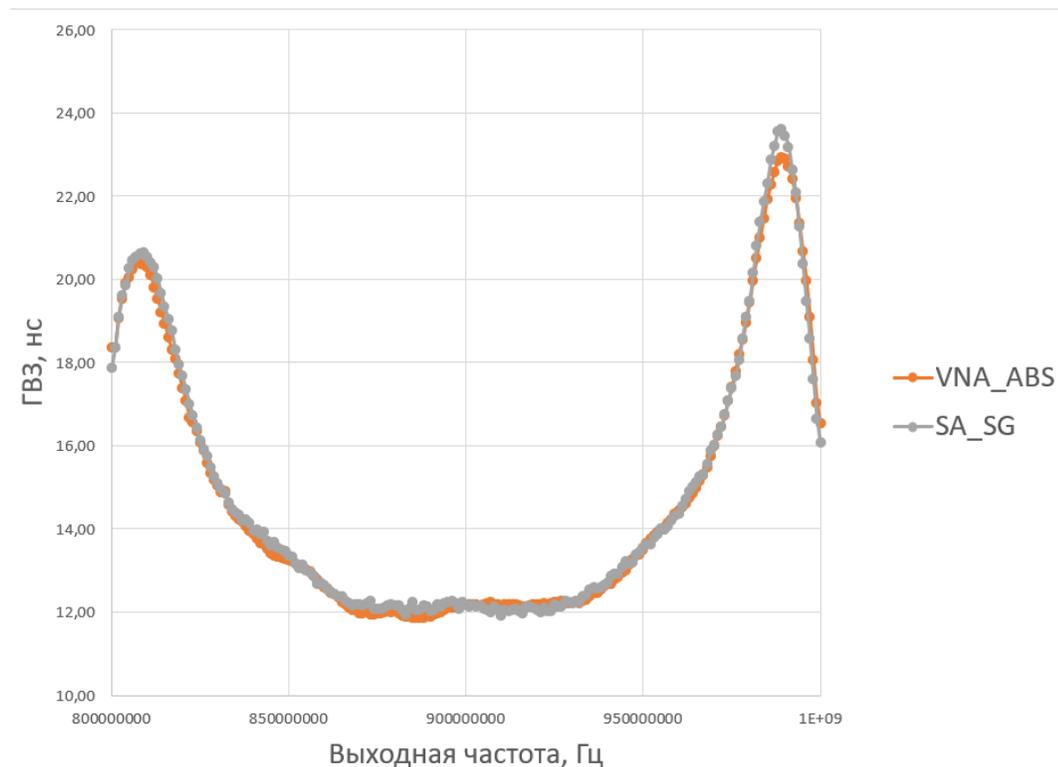
НПК ТЕСАРТ

Опция «Мультитон» :: Результаты измерений

АЧХ



НГВЗ

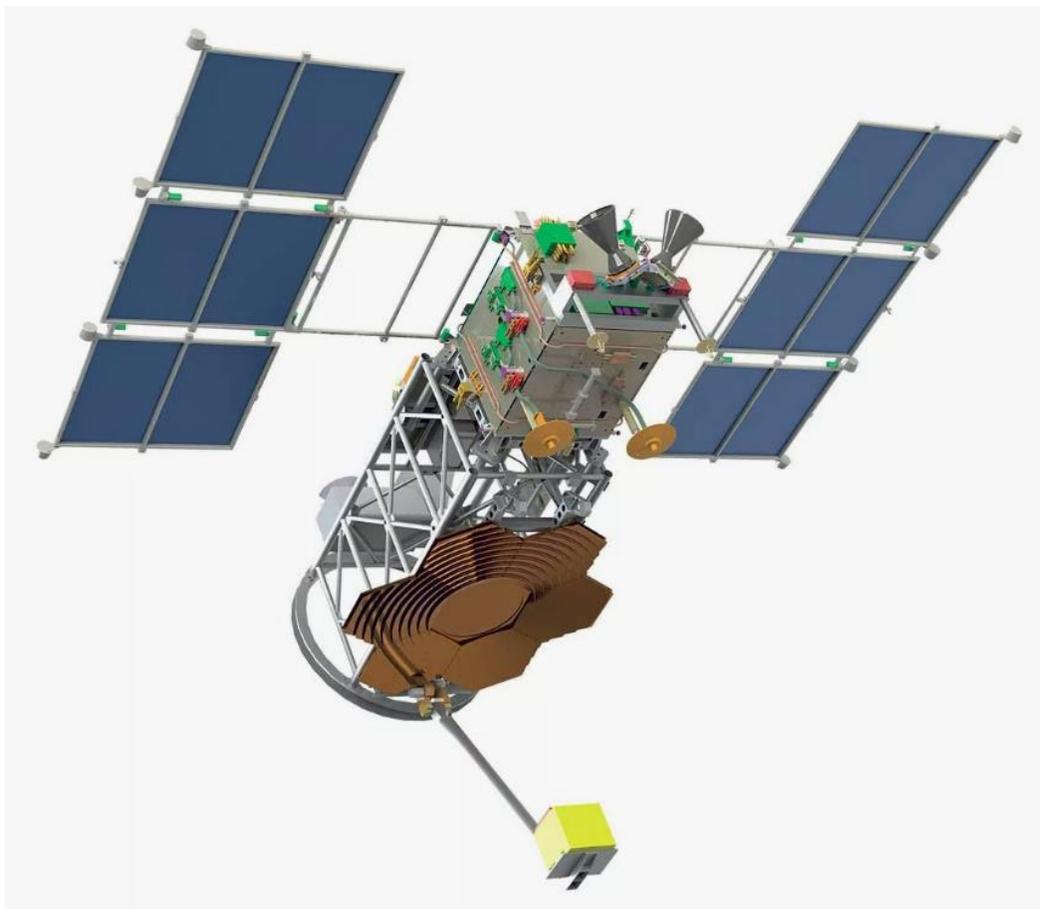


ПОДГОТОВКА К РЕЛИЗУ

- Применение калибратора R-Cal
- Исключение оснастки из результатов измерений
- Сертификация методики проведения измерений

НПК ТЕСАРТ

Мультитон :: Пример реализуемого проекта с опцией Мультитон



ТИП ИССЛЕДУЕМОГО УСТРОЙСТВА

- Транспондер установленный на полезной нагрузке космического аппарата

ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

- Многоканальное устройство с преобразование частоты
- Отсутствие синхронизации опорного генератора
- Коэффициент усиления порядка 120 ... 140 дБ
- Измерение в режиме мультizaгрузки
- Измерения проводятся в термобарокамере
- Потери в технологической оснастке порядка 60 дБ
- Измерение в режиме 24/7

НПК ТЕСАРТ

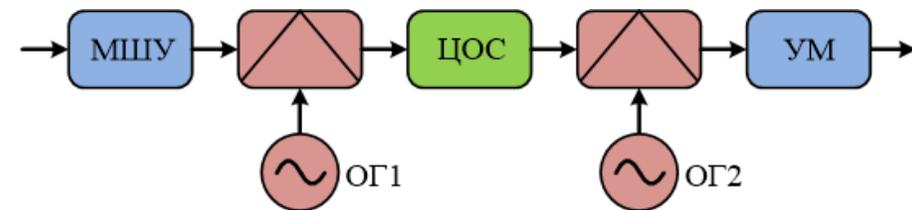
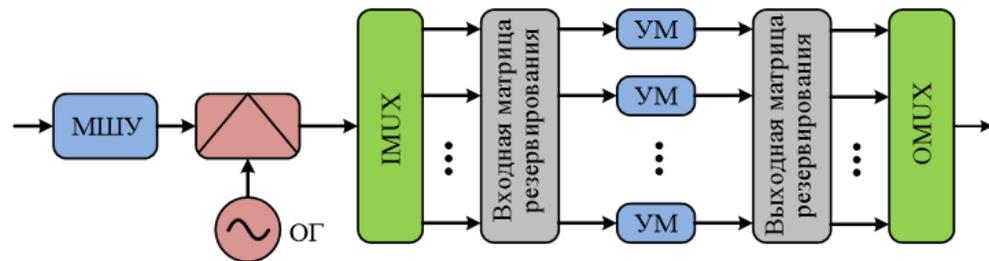
Проект Созвездие :: Проблема тестирования

Проблема:

Увеличение скорости тестирования сложных изделий и снижение стоимости КПА.

Решение:

Применение методов измерения и контроля параметров комплексных изделий с помощью использования широкополосного «реального» сигнала и математического аппарата для вычисления параметров трактов и их характеристик из сигнала на выходе.

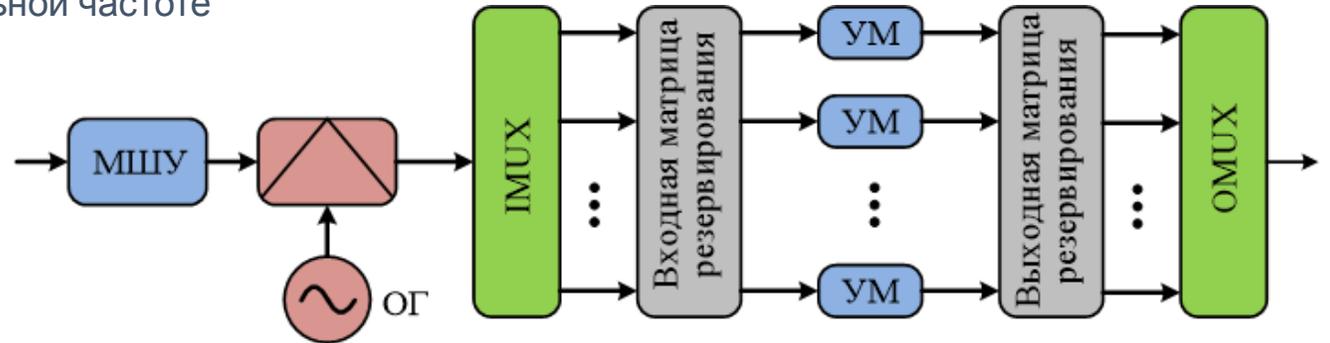


НПК ТЕСАРТ

Проект Созвездие :: Измеряемые параметры полезной нагрузки

Классические параметры ПН:

1. Модуль коэффициента преобразования (КП) на центральной частоте
2. Неравномерность модуля КП в диапазоне частот
3. Неравномерность ГВЗ в диапазоне частот
4. Ширина полосы частотного канала
5. КСВН входа и выхода
6. Коэффициент шума (КШ)
7. Уровень побочных спектральных составляющих (ПСС)
8. Уровень спектральной плотности мощности фазового шума (ФШ)
9. Уровень интермодуляционных искажений третьего порядка (ИМИ)
10. Точка компрессии модуля коэффициента усиления на центральной частоте

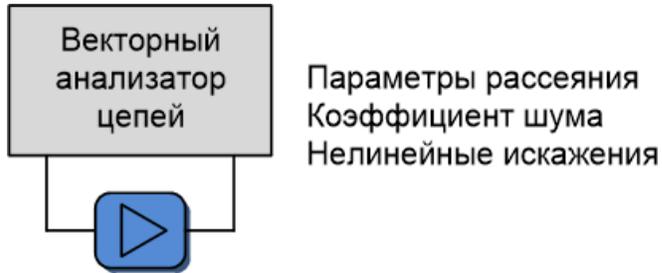


Дополнительные параметры ПН:

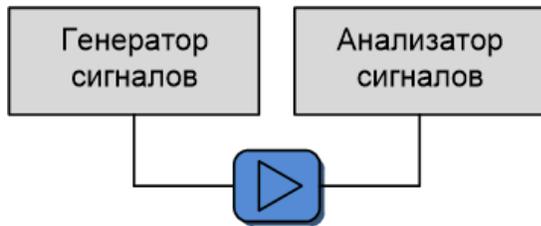
11. Амплитуда вектора ошибки (EVM – Error Vector Magnitude)
12. Коэффициент мощности в соседнем канале (ACPR – Adjacent Channel Power Ratio)
13. Коэффициент мощности шума (NPR – Noise Power Ratio)

НПК ТЕСАРТ

Проект Созвездие :: Существующие решения

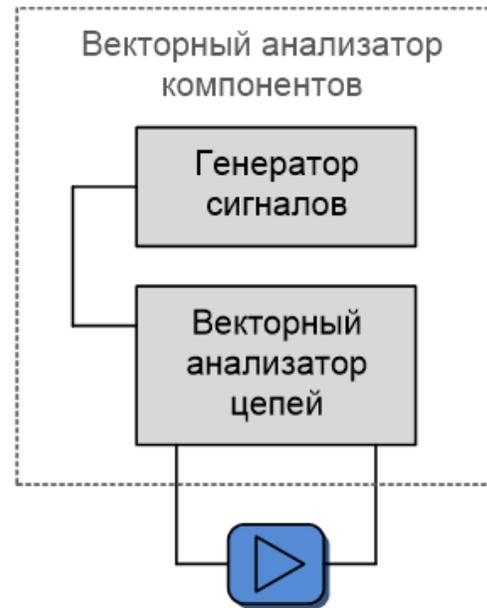


- *большое время измерений*
- *только аналоговые изделия*
- *высокая точность и объем измерений*



EVM, ACPR, NPR

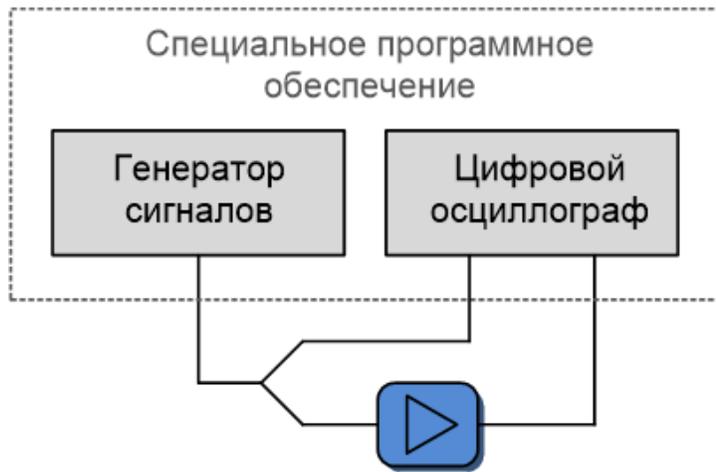
- *низкая информативность измерений*
- *Аналого-цифровые изделия*



- *высокая стоимость решения*
- *не исключает все недостатки*
- *объединяет преимущества*

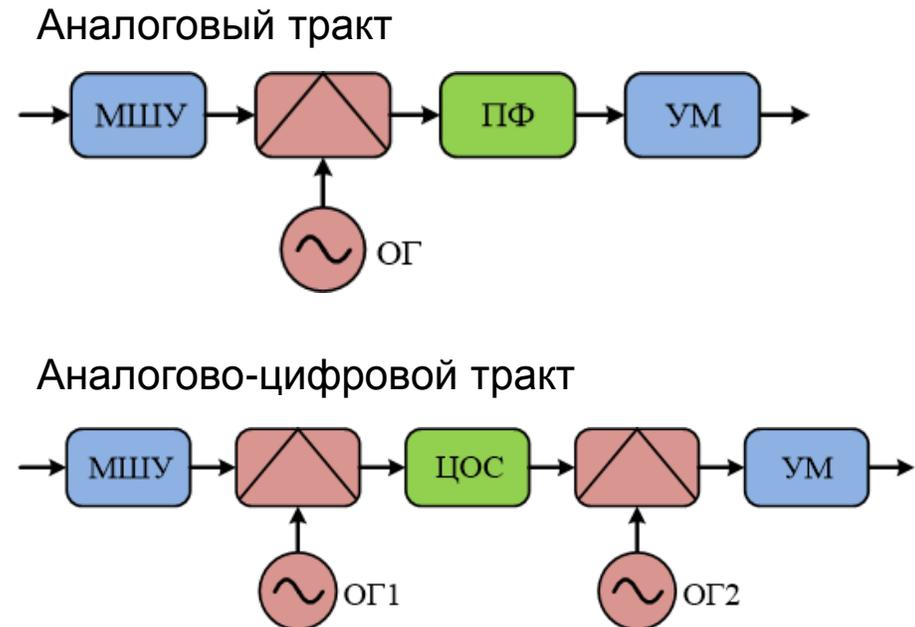
НПК ТЕСАРТ

Проект Созвездие :: Предлагаемое решение



EVM, ACPR, NPR

↓
Параметры рассеяния
Коэффициент шума
Нелинейные искажения



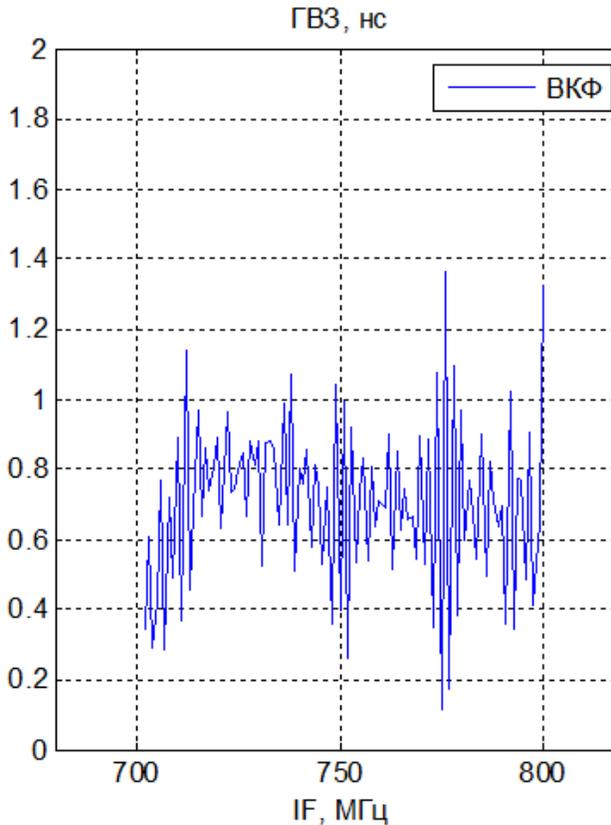
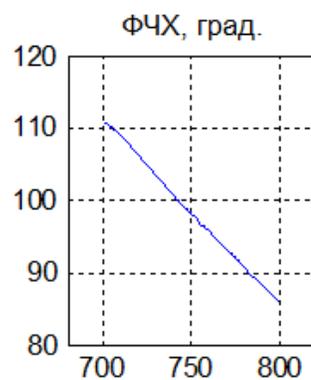
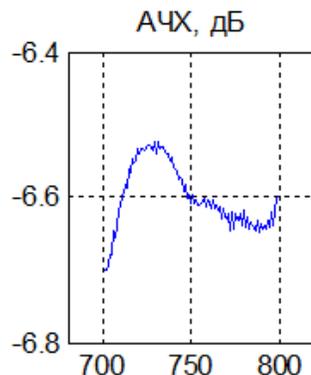
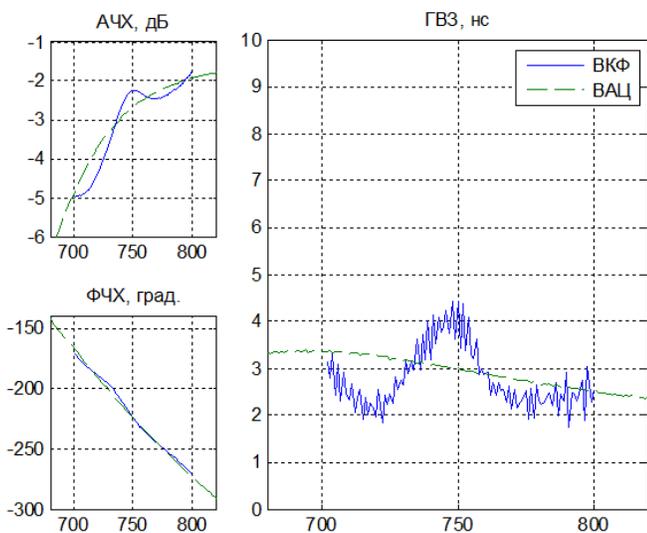
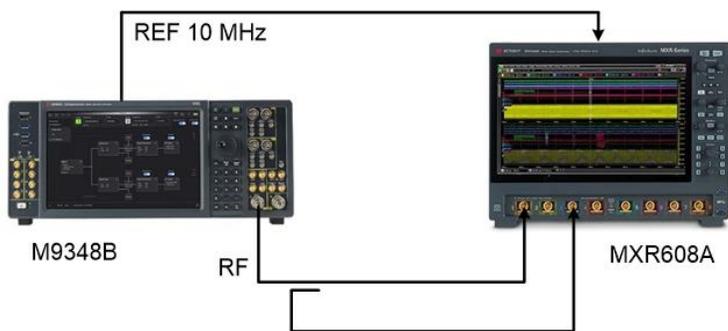
Сокращение времени испытаний, большой объем результатов измерений,
относительно низкая стоимость системы, любые типы изделий

Вопросы точности измерений и метрологии требуют исследований

НПК ТЕСАРТ

Проект Созвездие :: Измерение параметров конвертера (предварительно)

Базовая часть схемы:



Миксер ZFM-4212+
RF 3750 МГц
LO 3000 МГц
IF 750 МГц

- провести калибровку
- увеличить время измерений

НПК ТЕСАРТ

Проект Созвездие :: Заключение

Формирование расширенного «диагноза» работы аналогово-цифровых трактов изделий на этапе тестирования позволит существенно сократить общее время испытаний и снизить стоимость КПА

Способы снижения времени испытаний:

- *одновременный анализ в широкой полосе частот*
- *одновременное определение нескольких параметров*
- *управление наблюдениями, быстрая смена режимов генерации **

** постобработка зарегистрированных сигналов*

Критические особенности:

- увеличение времени накопления для достижения высокой точности
- динамический диапазон осциллографа

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

НПК ТЕСАРТ

г. Томск, ул. Циолковского, д. 19

WEB: www.tes-art.ru

e-mail: office@tes-art.ru

тел.: +7 (3822) 90-05-30



ТЕСАРТ