

Основы анализа спектра

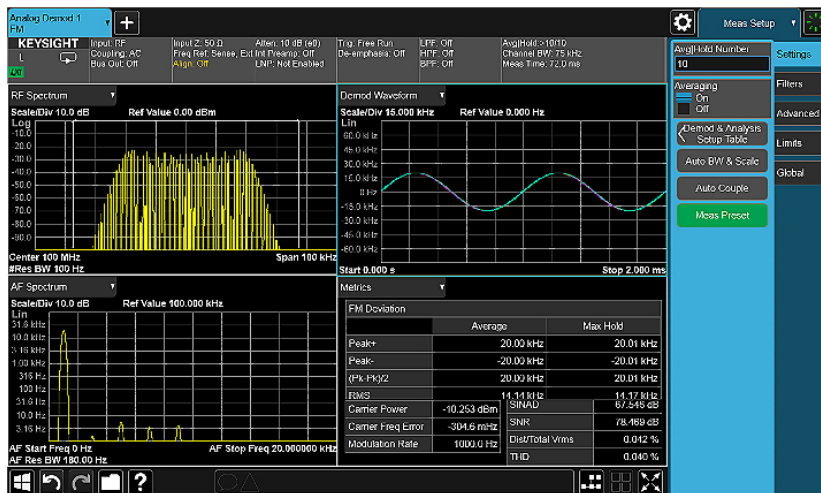
Максим Соковишин

Технический специалист

Keysight Technologies Russia

maxim_sokovishin@keysight.com

тел. 8 985 760 96 63



План семинара

Введение

Обзорная часть:

- Что такое анализ спектра и анализ сигналов?
- Какие измерения выполняют анализаторы?

Теоретическая часть

Основные характеристики

Преимущества современных анализаторов сигналов

- Широкая полоса для векторного анализа
- Анализ спектра в реальном времени

Заключение

Определения анализаторов

- Анализатор спектра

- Прибор для наблюдения и измерения относительного распределения энергии электрических (электромагнитных) колебаний в полосе частот

- Векторный анализатор сигналов

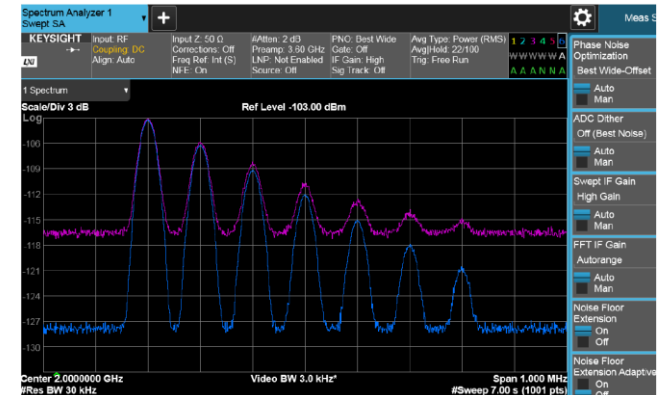
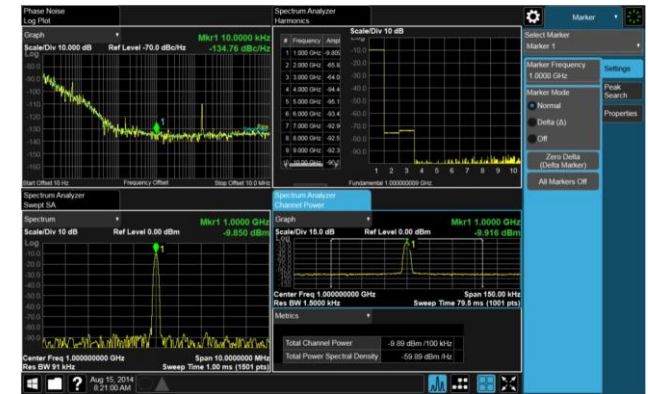
- Векторный анализатор сигналов измеряет амплитуду и ФАЗУ входного сигнала на заданной центральной частоте в пределах полосы пропускания по ПЧ. Проверяются EVM, проводятся канальные измерения и демодуляция

- Анализатор сигналов

- Анализатор сигналов сочетает в себе функции как анализатор спектра, так и векторного анализатора сигналов

Обзорная часть

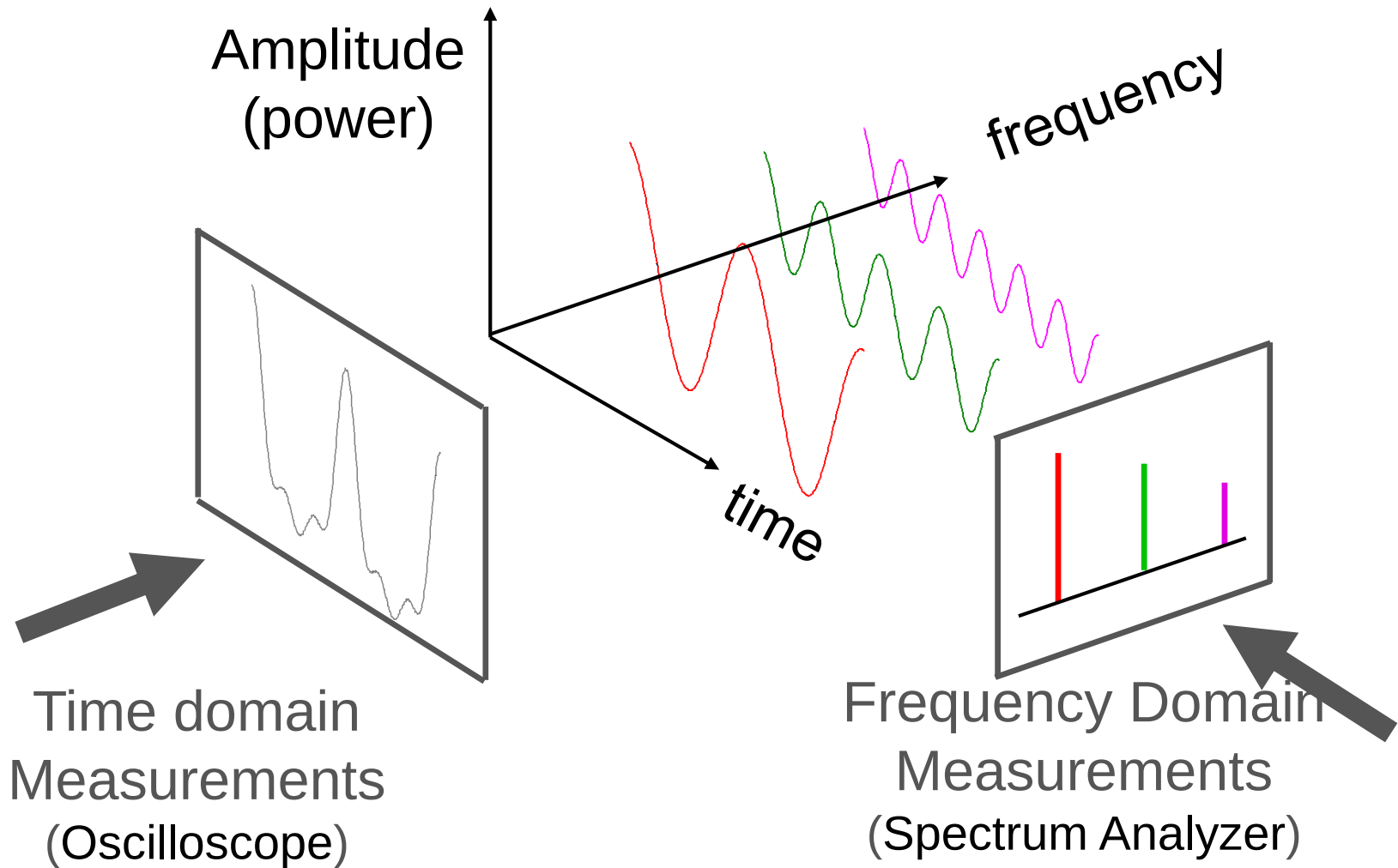
Что такое анализатор спектра?



- Пассивный приемник
- Отображает и измеряет зависимость амплитуды от частоты для сигналов ВЧ- и мм-диапазонов
- Может различать или демодулировать сигналы, при этом отображая отдельные синусоидальные компоненты

Обзорная часть

Сигнал во временной и частотной областях

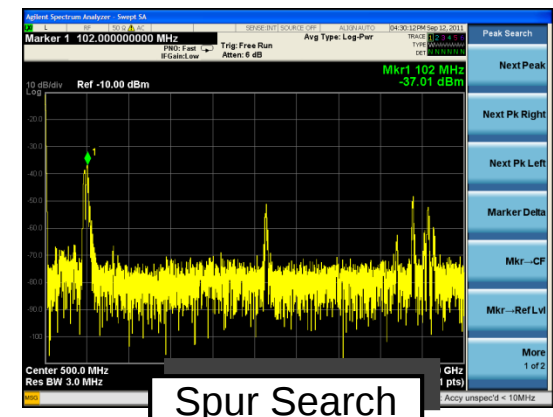
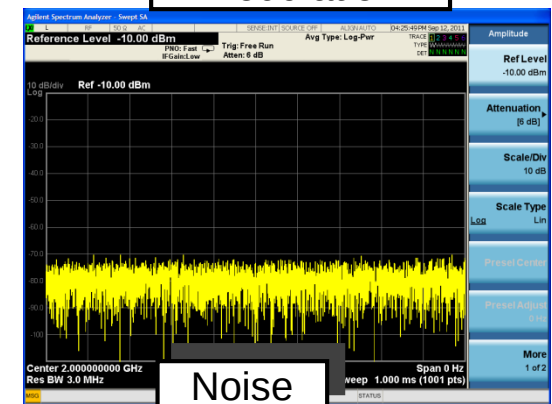
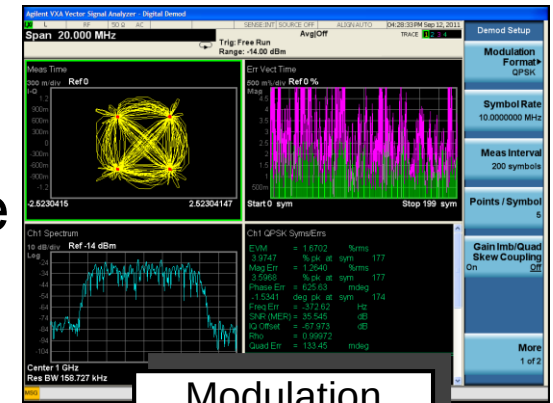


Обзорная часть

Доступные типы измерений

– Частотные, мощностные, модуляционные хар-ки, а также искажения и шум

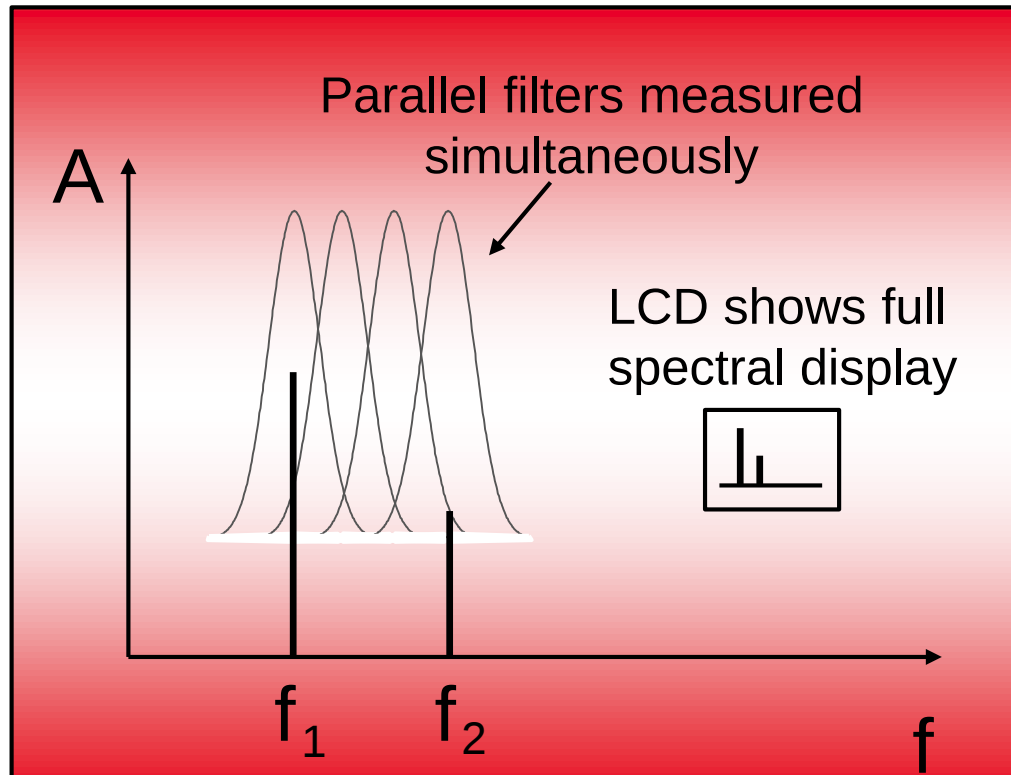
- Спектральный мониторинг
 - Поиск искажений
 - Скалярный анализ цепей
 - Измерения КШ и ФШ
 - Измерения гармоник и интермодуляций
 - Аналоговые и цифровые модуляции
 - Широкополосный векторный анализ
 - Измерения на ЭМС
-
- *Диапазон уровней (от -172 до +30 дБм)*
 - *Диапазон частот (от 3 Гц до 1,1 ТГц)*



Обзорная часть

Различные типы анализаторов

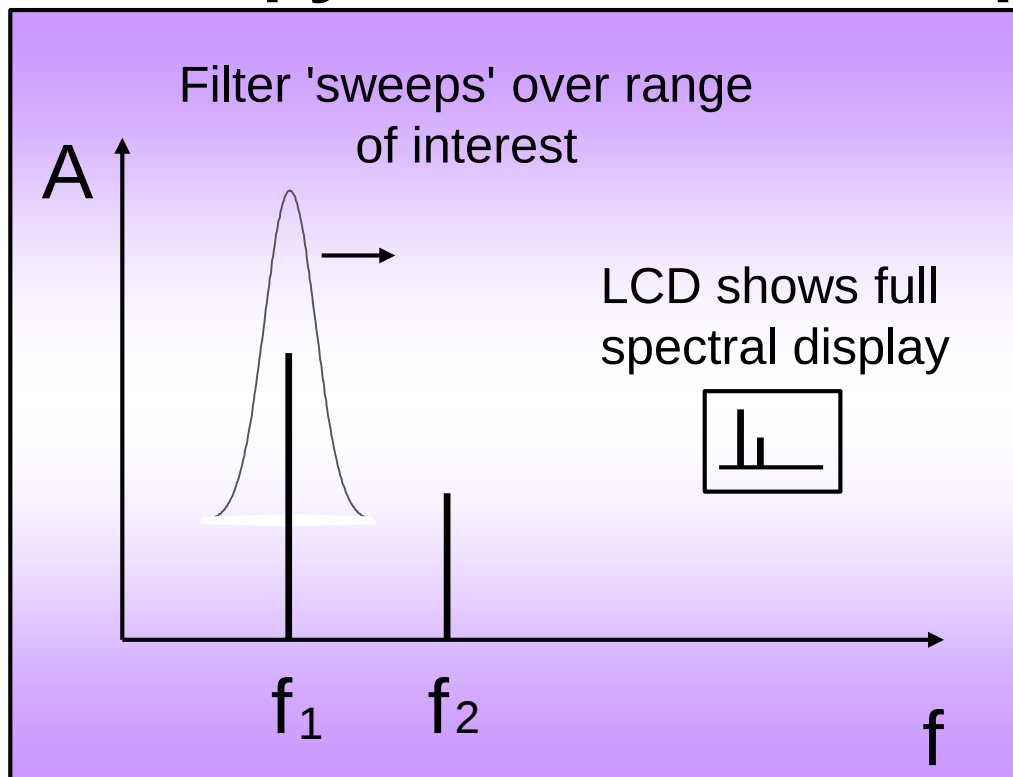
БПФ анализатор



Обзорная часть

Различные типы анализаторов

Сweeping analyzer



План семинара

Введение

Обзорная часть:

- Что такое анализ спектра и анализ сигналов?
- Какие измерения выполняют анализаторы?

Теоретическая часть

Основные характеристики

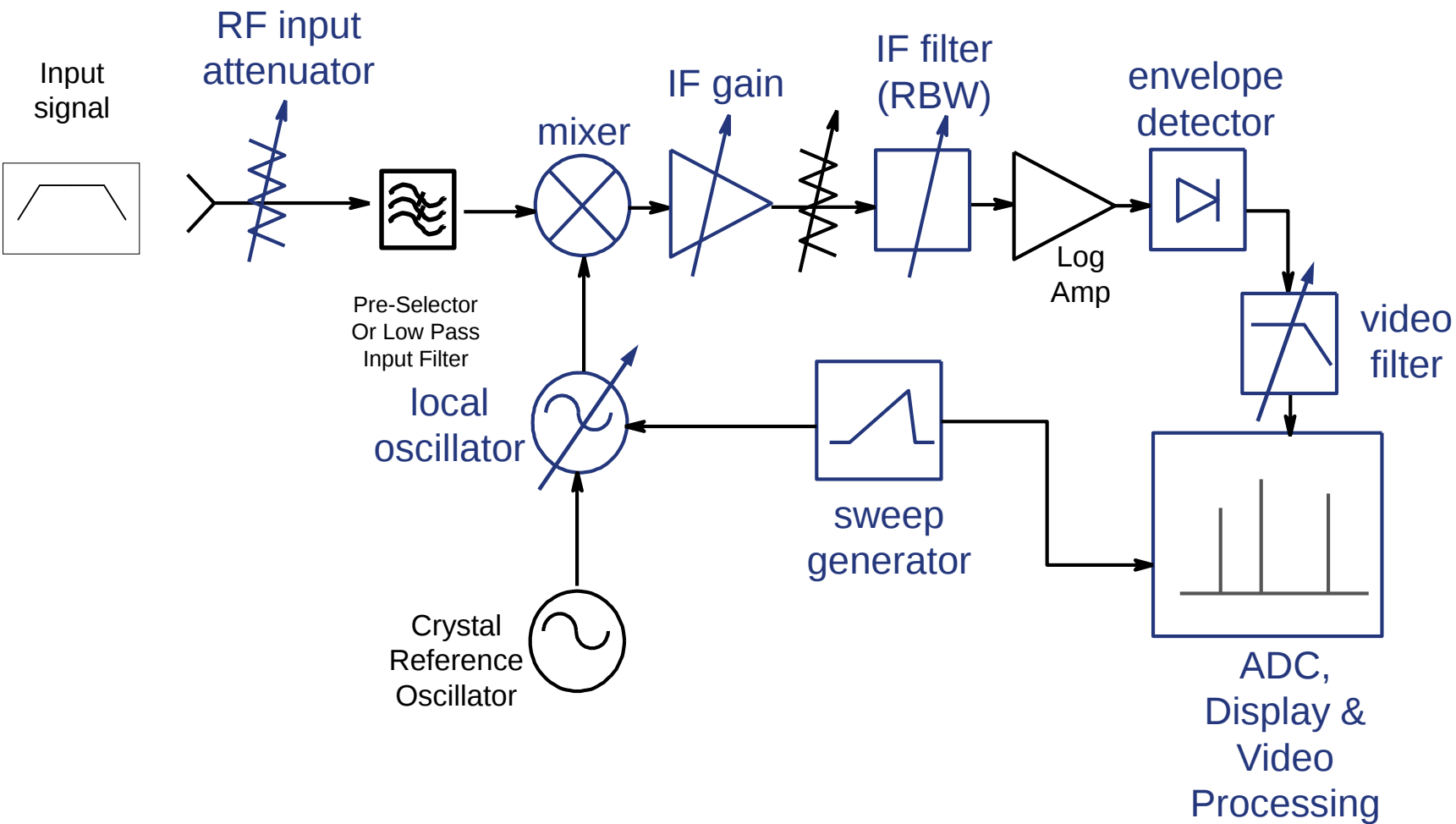
Преимущества современных анализаторов сигналов

- Широкая полоса для векторного анализа
- Анализ спектра в реальном времени

Заключение

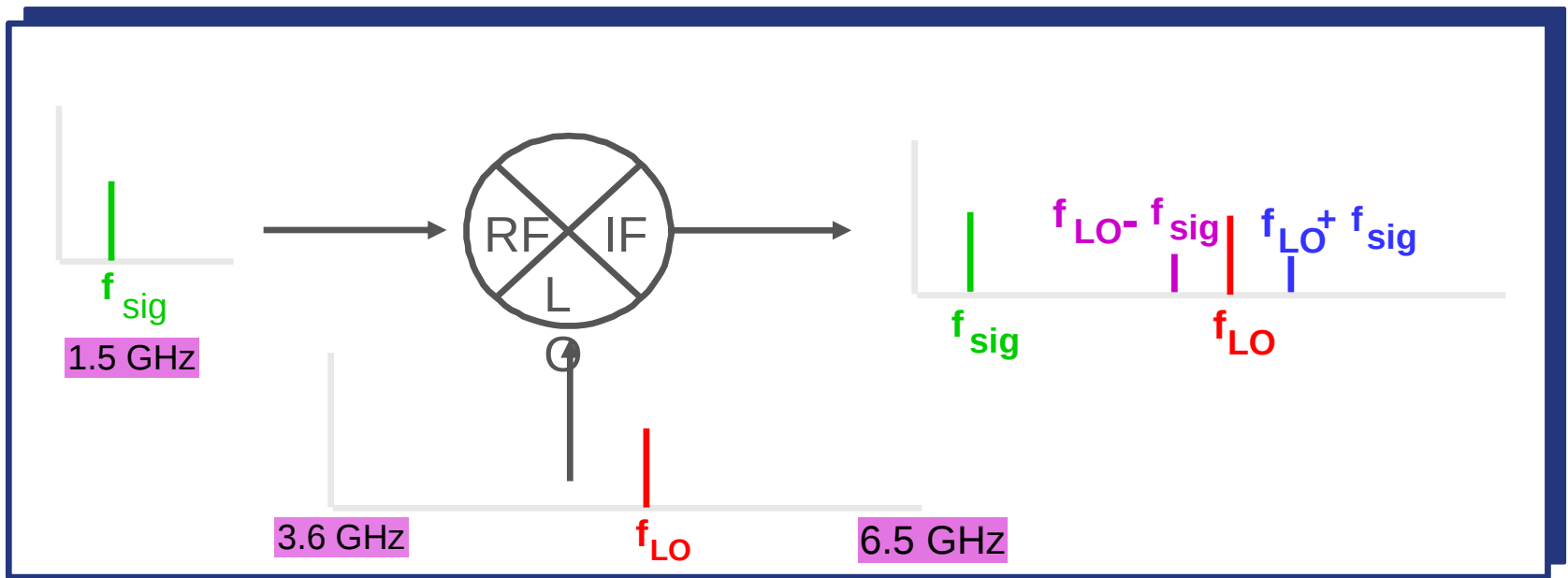
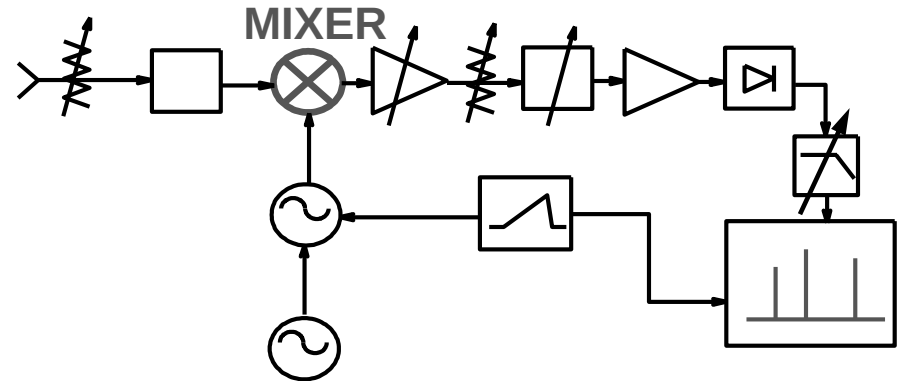
Теоретическая часть

Блок-диаграмма свипирующего анализатора спектра



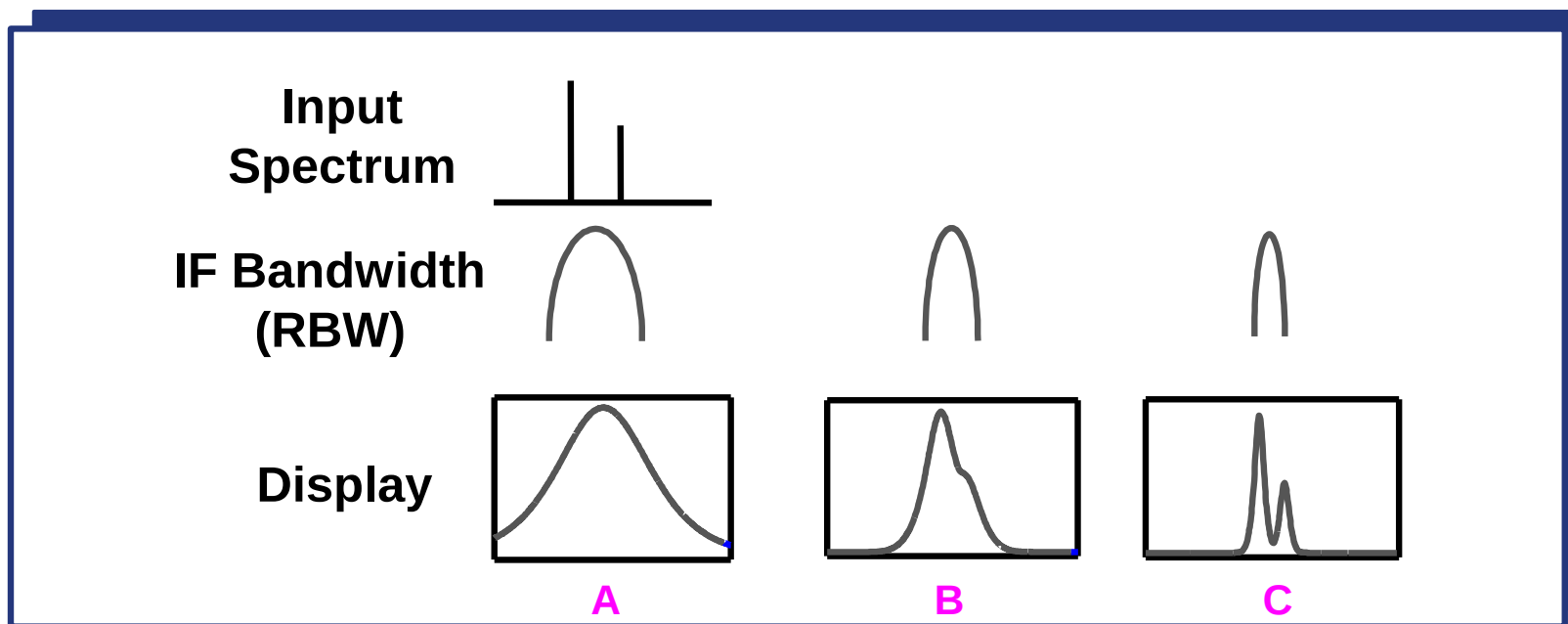
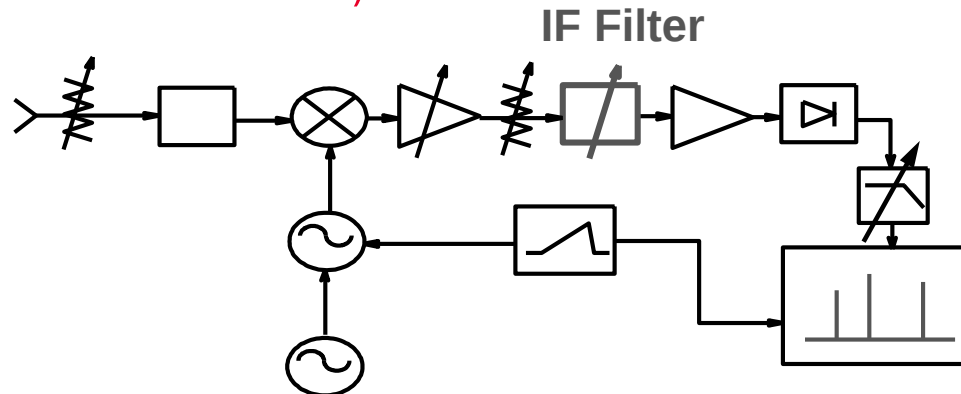
Теоретическая часть

Смеситель



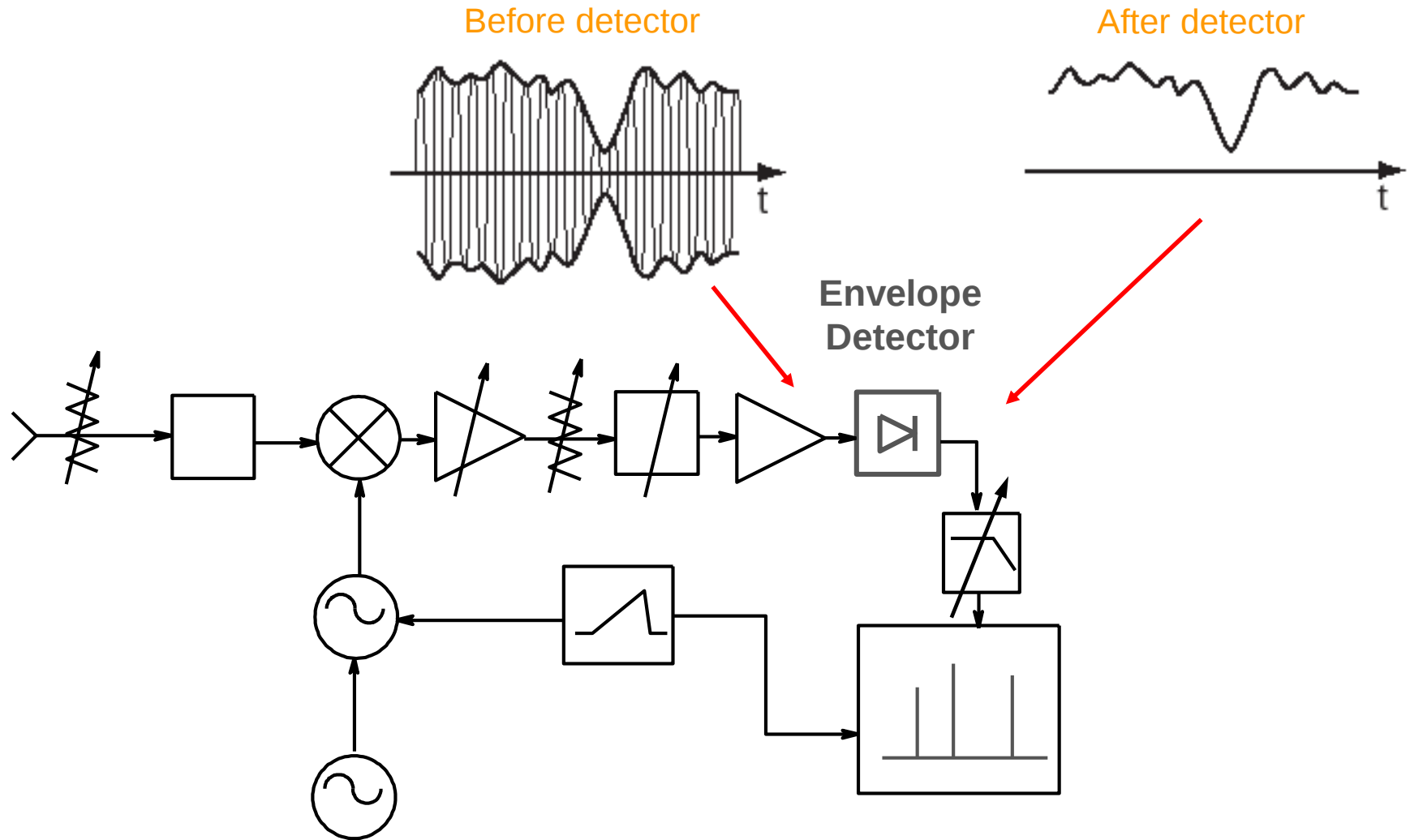
Теоретическая часть

Фильтрация по ПЧ (разрешение по частоте - ФПЧ)



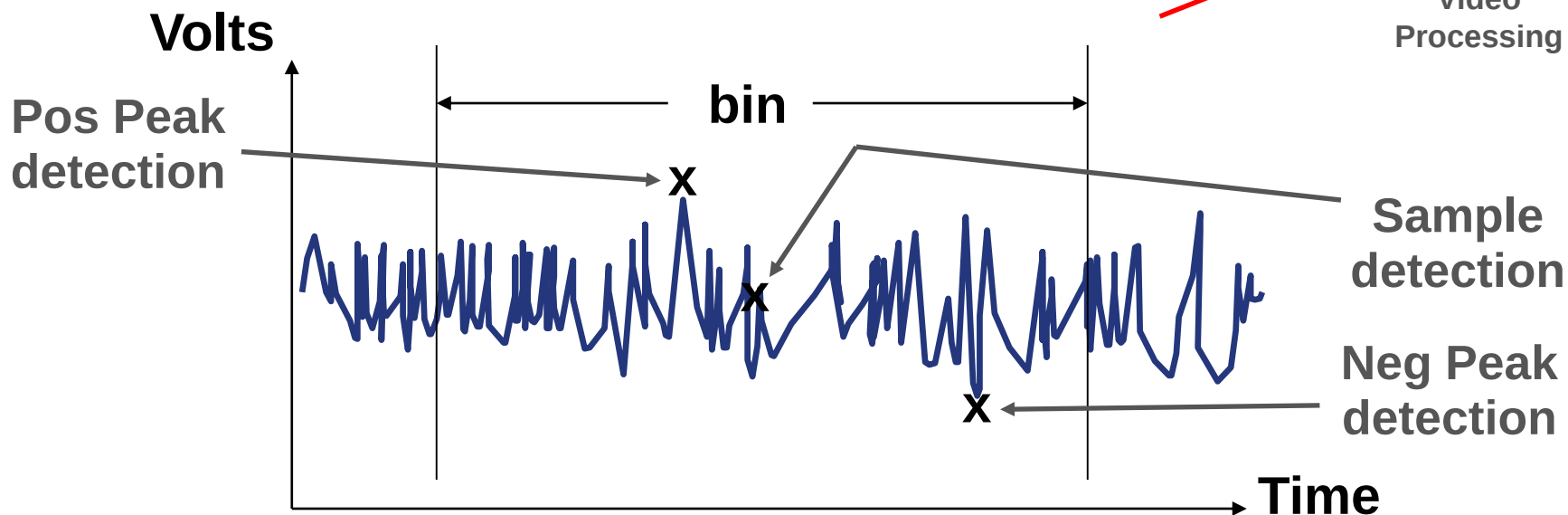
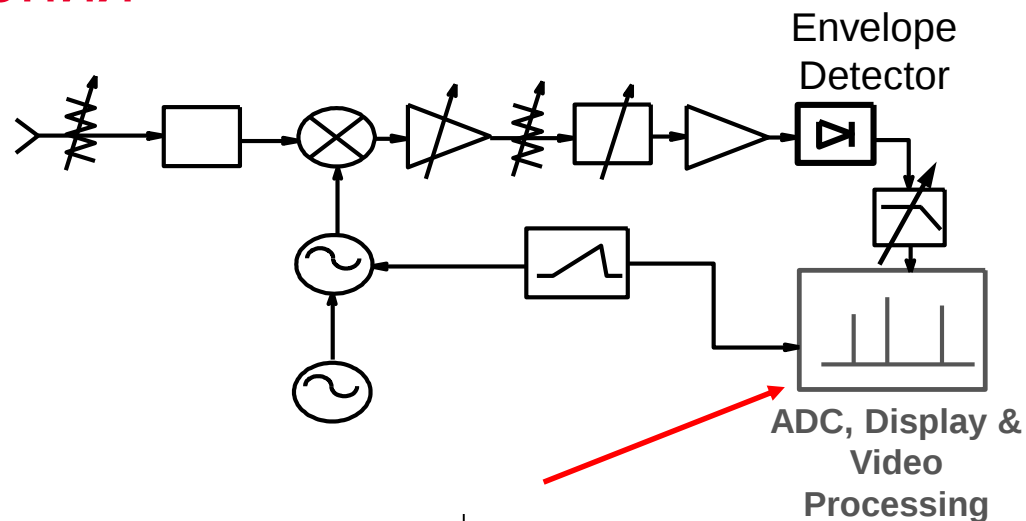
Теоретическая часть

Детектор огибающей



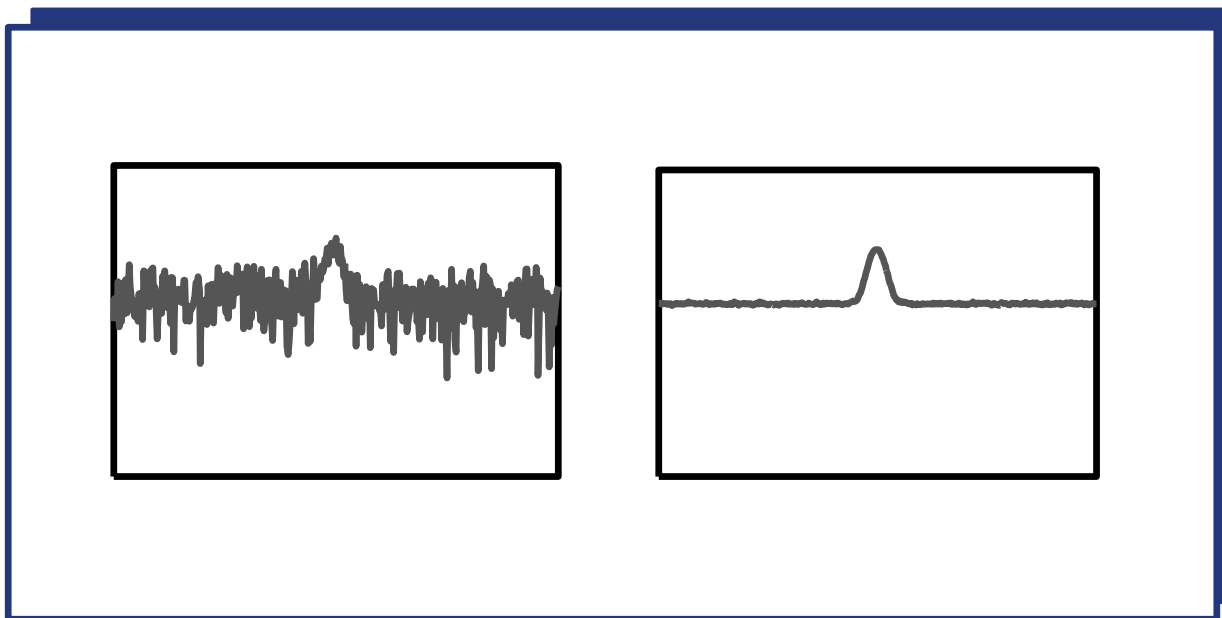
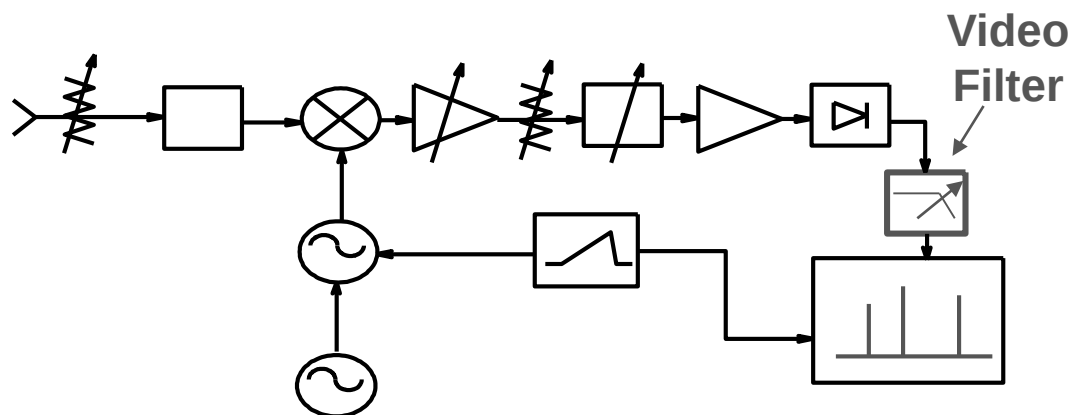
Теоретическая часть

Детектор среднего значения



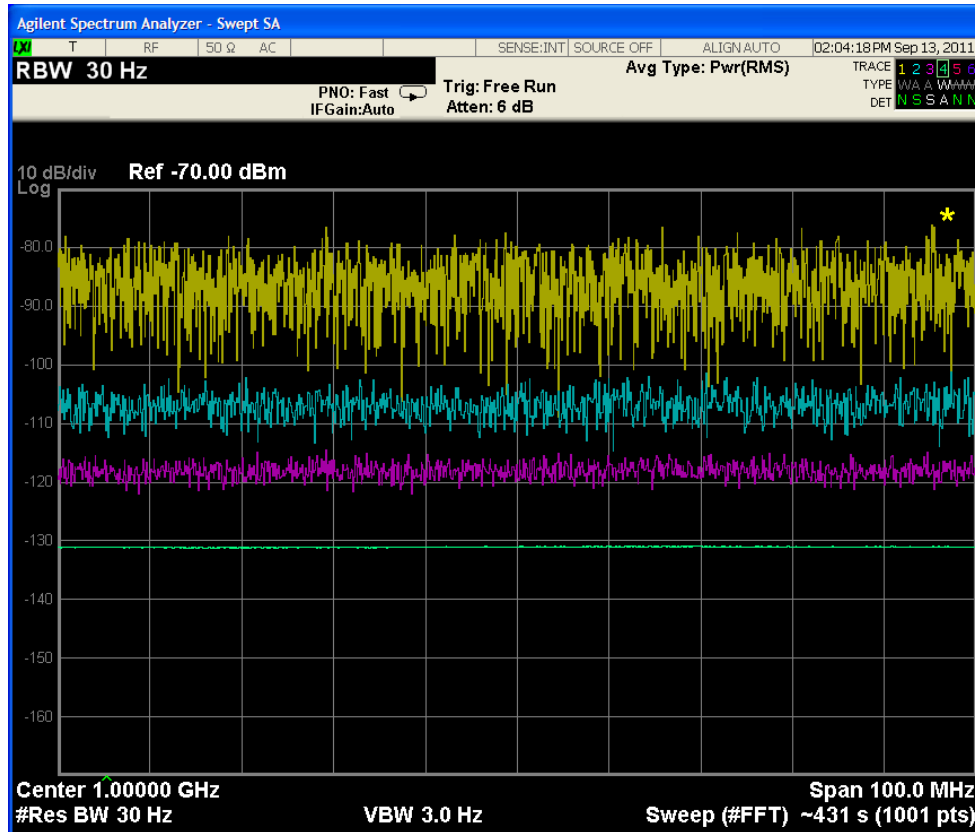
Теоретическая часть

Видео-фильтр (сглаживание сигнала)

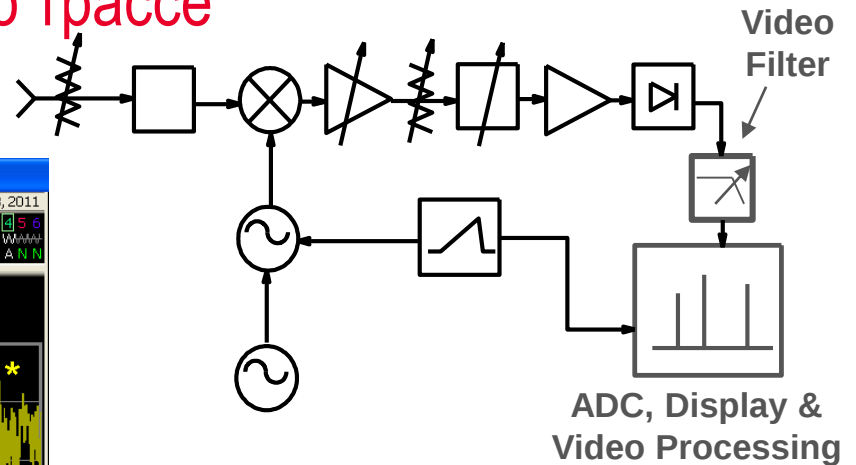


Теоретическая часть

Видео-фильтрация и усреднение по трассе



[Trace averaging](#) for 1, 5, 20, and 100 sweeps, top to bottom (trace position offset for each set of sweeps)



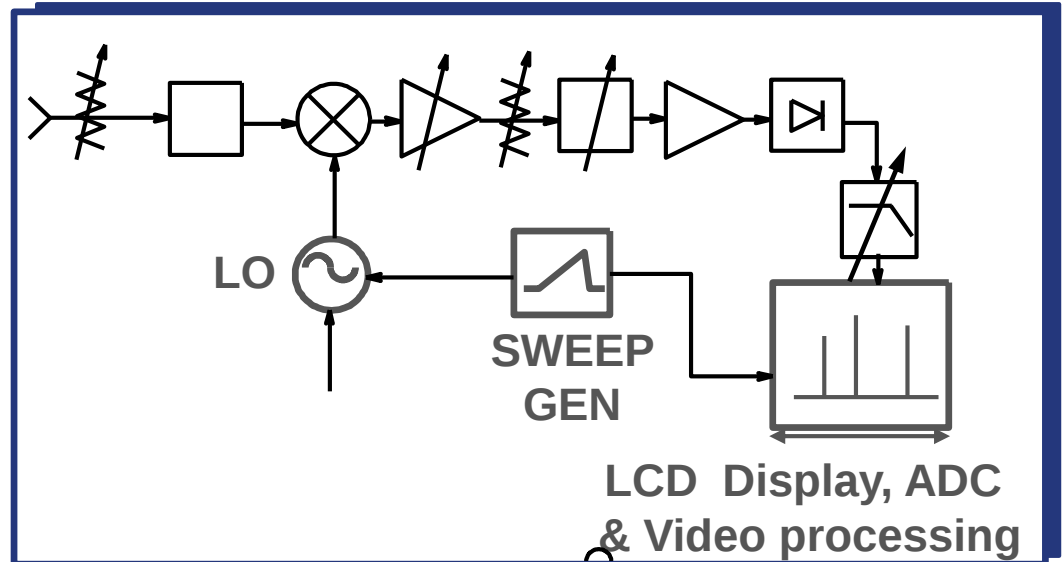
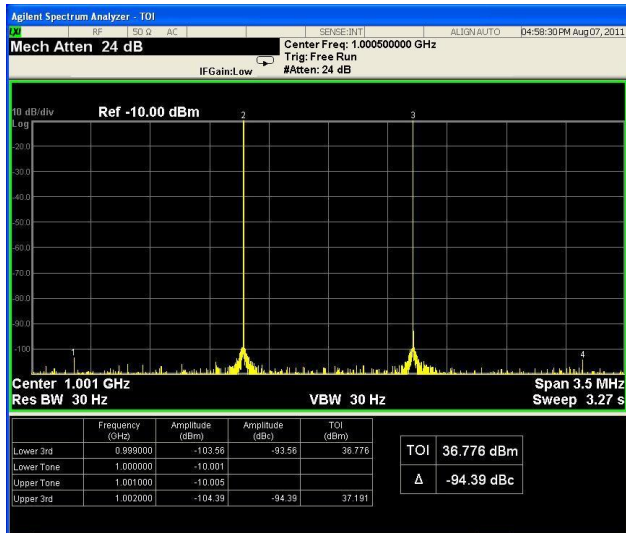
- Видео-фильтр запускается в ходе свипирования, может потребоваться дополнительное время для учета отклика фильтра.

- Усреднение по трассе задействует результаты нескольких свипирований, но на каждое трассу время свипирования остается прежним

- Большинство сигналов после видео-фильтрации и усреднения будут выглядеть схожим образом

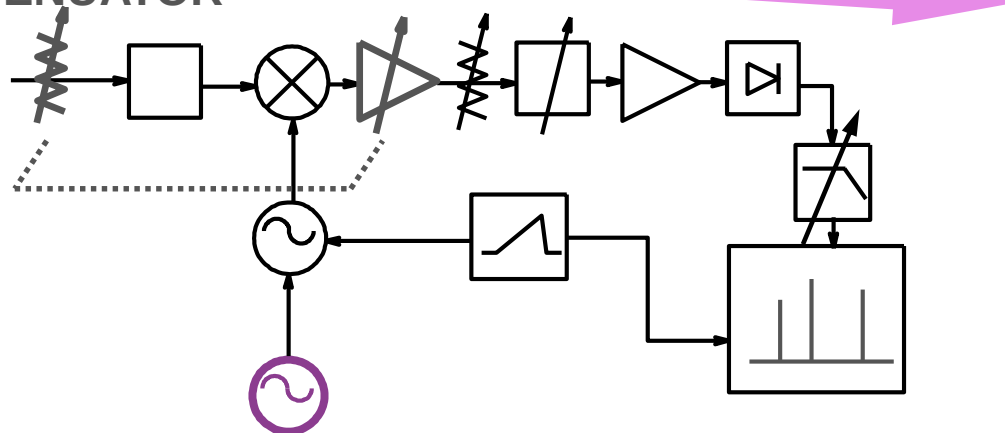
Теоретическая часть

Дополнительные элементы

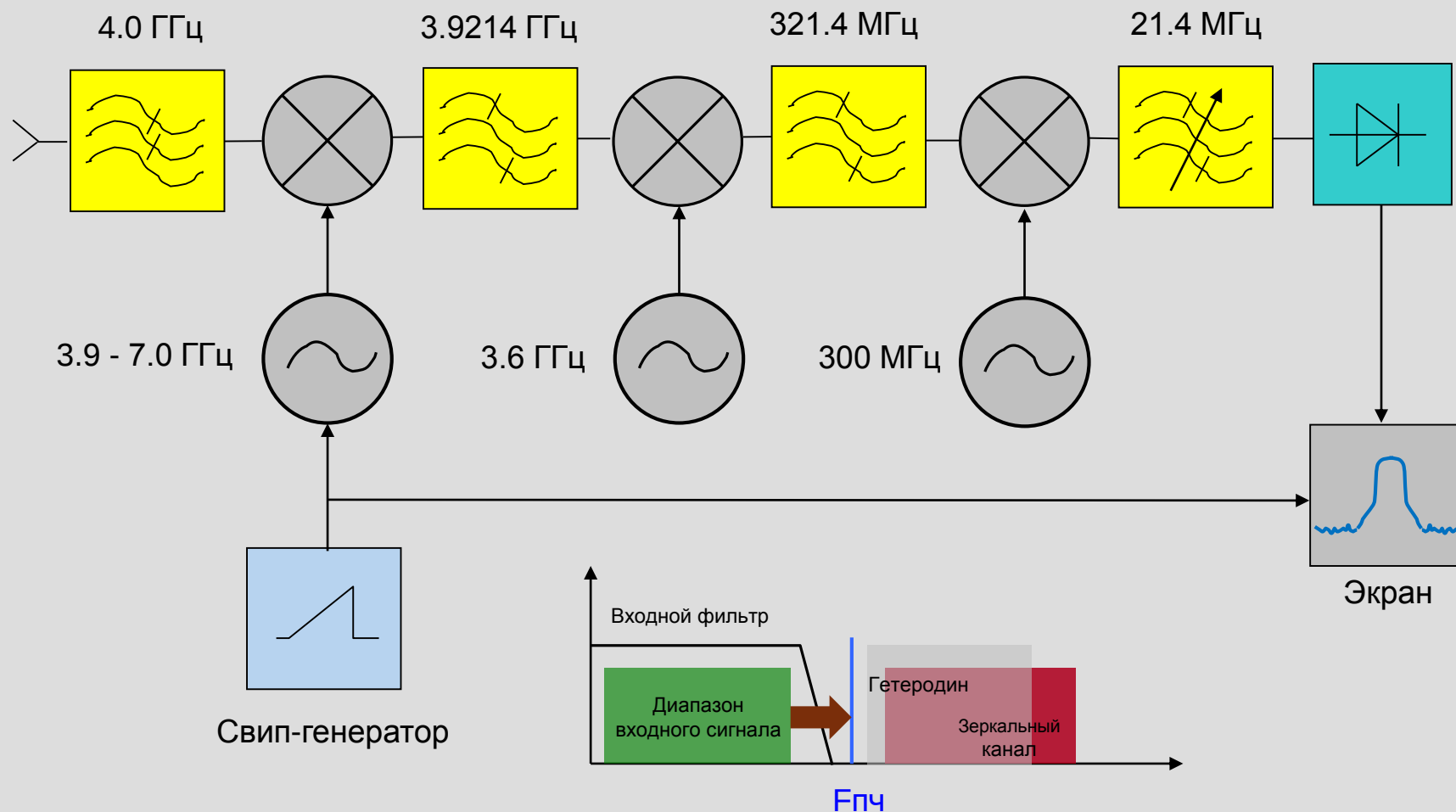


RF INPUT
ATTENUATOR

IF GAIN



Используется преобразование вверх,
а затем вниз по частоте



План семинара

- **Введение**
- Обзорная часть:
- Теоретическая часть
- **Основные характеристики**
 - **Наиболее важные параметры спецификаций**
- Преимущества современных анализаторов сигналов
 - Широкая полоса для векторного анализа
 - Анализ спектра в реальном времени
- Заключение

Ключевые параметры анализаторов

- Предельно допустимый уровень
- Частотный диапазон
- Погрешность: частота и амплитуда
- Разрешение
- Чувствительность
- Искажения
- Динамический диапазон



Технические характеристики

Безопасный уровень сигнала на ВЧ-входе

- Не допускайте накопления статического электричества!
- Выбирайте качественную схему заземления!
- Не превышайте предельно допустимый уровень по ВЧ-входу!
- Не подавайте на вход сигнала с постоянной составляющей, превышающей нормы!

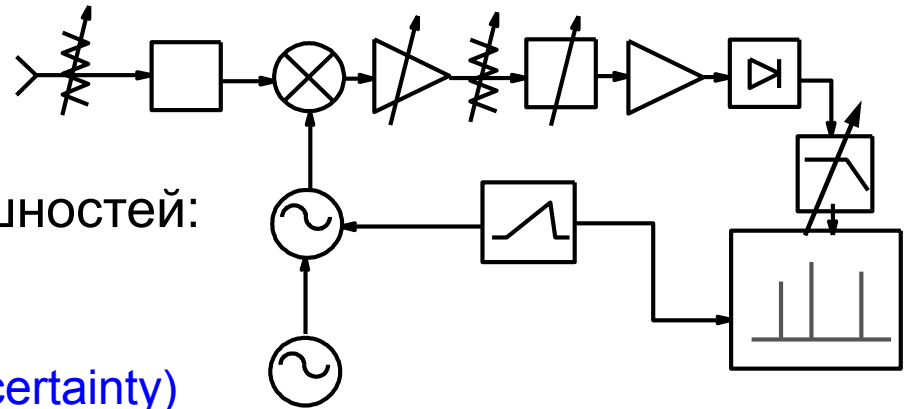


Технические характеристики

Погрешность: частота и амплитуда

Наиболее важные источники погрешностей:

- Input mismatch (VSWR)
- RF Input attenuator (Atten. switching uncertainty)
- Mixer and input filter (frequency response)
- IF gain/attenuation (reference level accuracy)
- RBW filters (RBW switching uncertainty)
- Log amp (display scale fidelity)
- Reference oscillator (frequency accuracy)
- Calibrator (amplitude accuracy)



Технические характеристики

Пример определения погрешности отсчета частоты

- From the PXA Data Sheet:

$$\pm (\text{marker frequency} \times \text{freq reference accuracy} + \text{0.1\%*span} + \text{5\% of RBW} + \text{2Hz} + \text{0.5 x Horiz. Res.*})$$

Determined by Reference Accuracy

Span Accuracy

RBW Error
IF filter center frequency error

Residual Error

*Horizontal resolution is span/(sweep points – 1)

Технические характеристики

Пример определения погрешности отсчета частоты

Frequency: 1 GHz

Span: 400 kHz

RBW: 3 kHz

Sweep points: 1000

Calculation:	$(1 \times 10^9 \text{ Hz}) \times (\pm 1.55 \times 10^{-7} / \text{Year ref. Error})$	=	155 Hz
	400 kHz Span x 0.1%		= 400 Hz
	3 kHz RBW x 5%		= 150 Hz
	$2 \text{ Hz} + 0.5 \times 400 \text{ kHz} / (1000 - 1)$		= 202 Hz
	Total uncertainty		= <u>±907 Hz</u>

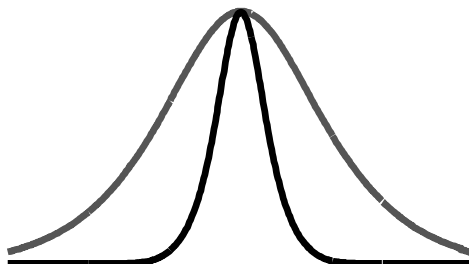
*Использование встроенного счетчика улучшит погрешность до $\pm 155 \text{ Hz}$

** Максимальное количество точек свипирования для анализаторов X-серии составляет 40,001 – позволит повысить точность

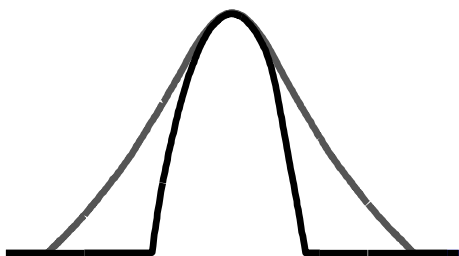
Технические характеристики

Разрешающая способность

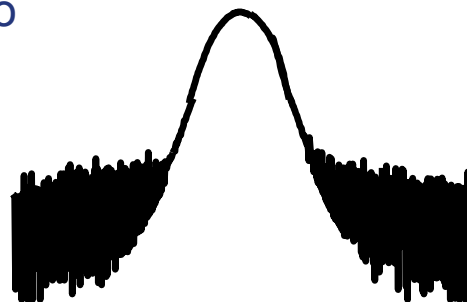
Чем определяется разрешение по частоте?



Полоса разрешающего фильтра



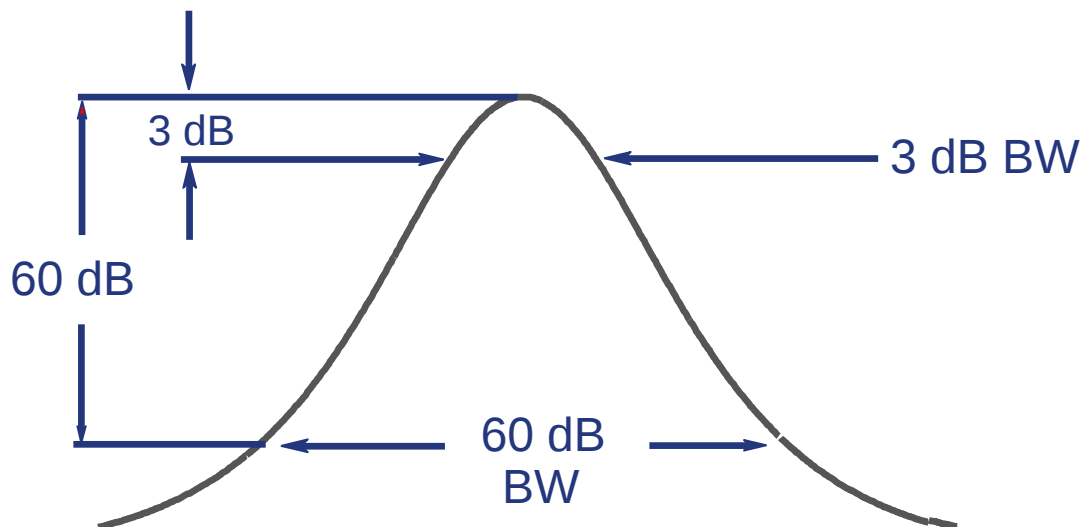
Тип и избирательность ФПЧ



Шумовые полосы

Технические характеристики

Избирательность или коэффициент прямоугольности ФПЧ

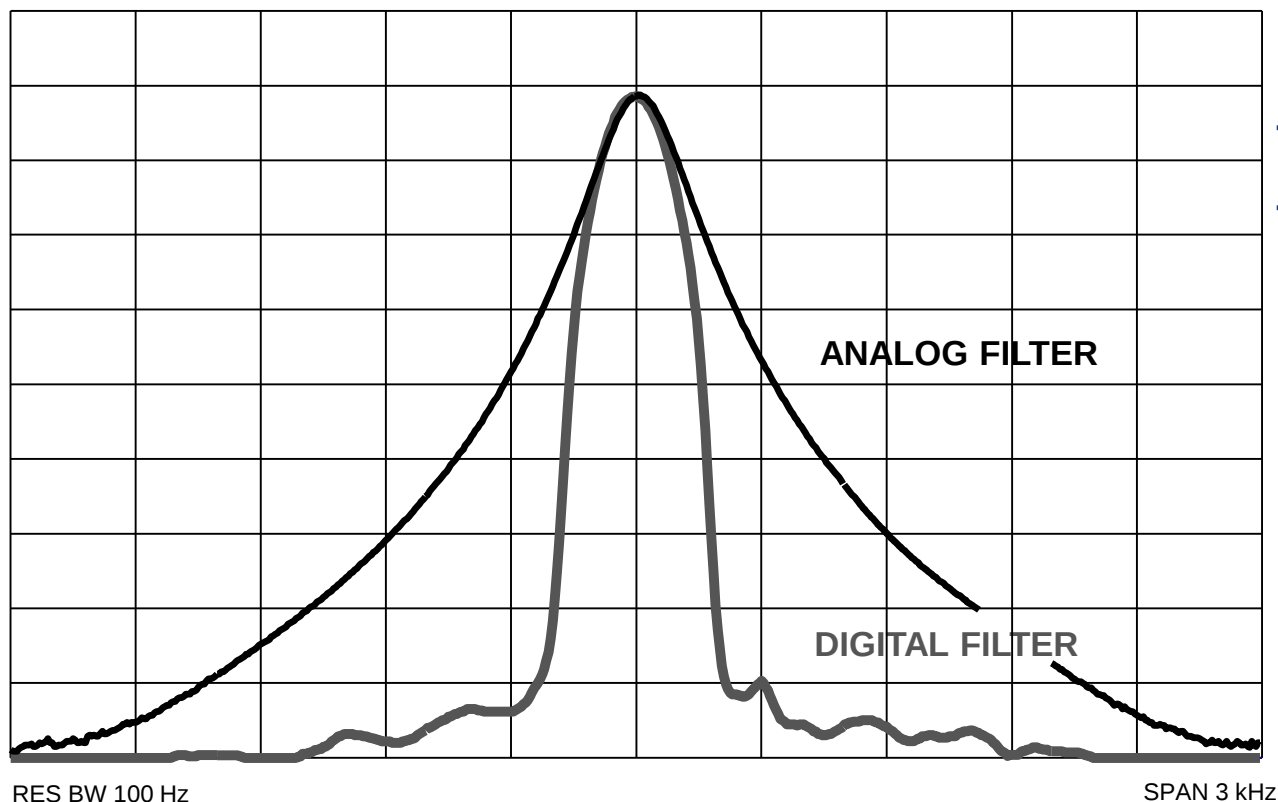


$$\text{Selectivity} = \frac{60 \text{ dB BW}}{3 \text{ dB BW}}$$

Определяет разрешение между сигналами
различной амплитуды

Технические характеристики

Разрешение: тип и избирательность ФПЧ



Typical Selectivity

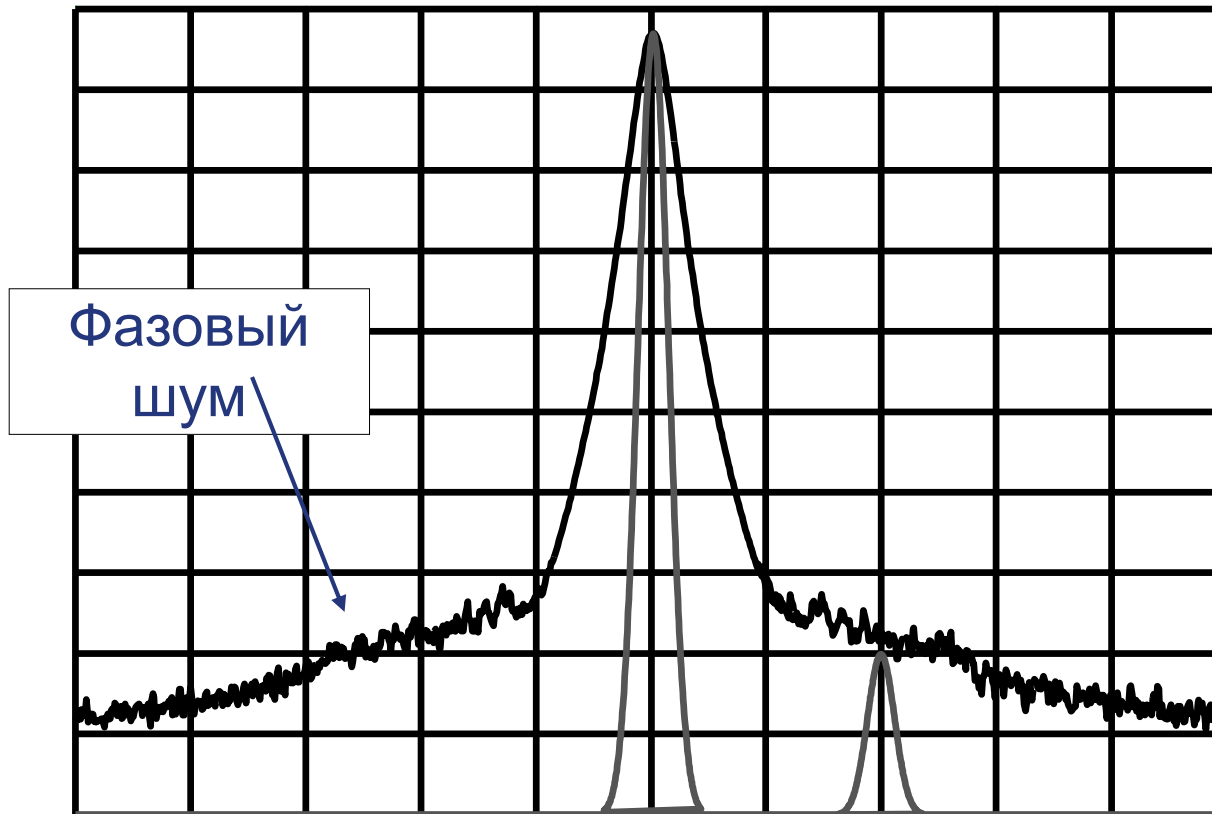
Analog 15:1

Digital $\leq 5:1$

*** Для анализаторов X-серии избирательность 4.1:1**

Технические характеристики

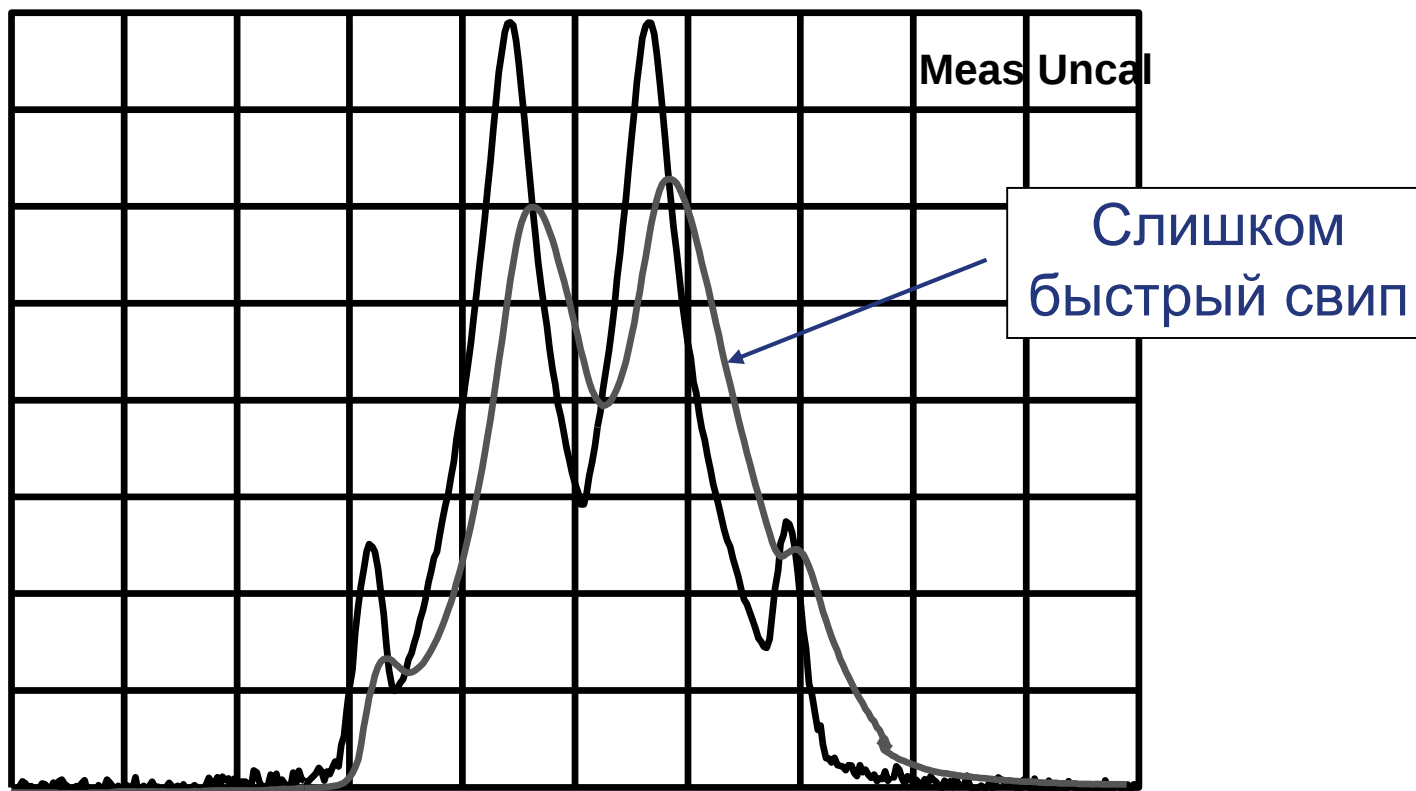
Разрешение: шумовые полосы



Шумовые полосы могут
помешать разделению
сигналов разных уровней

Технические характеристики

Разрешение: установка ФПЧ определяет время свипирования



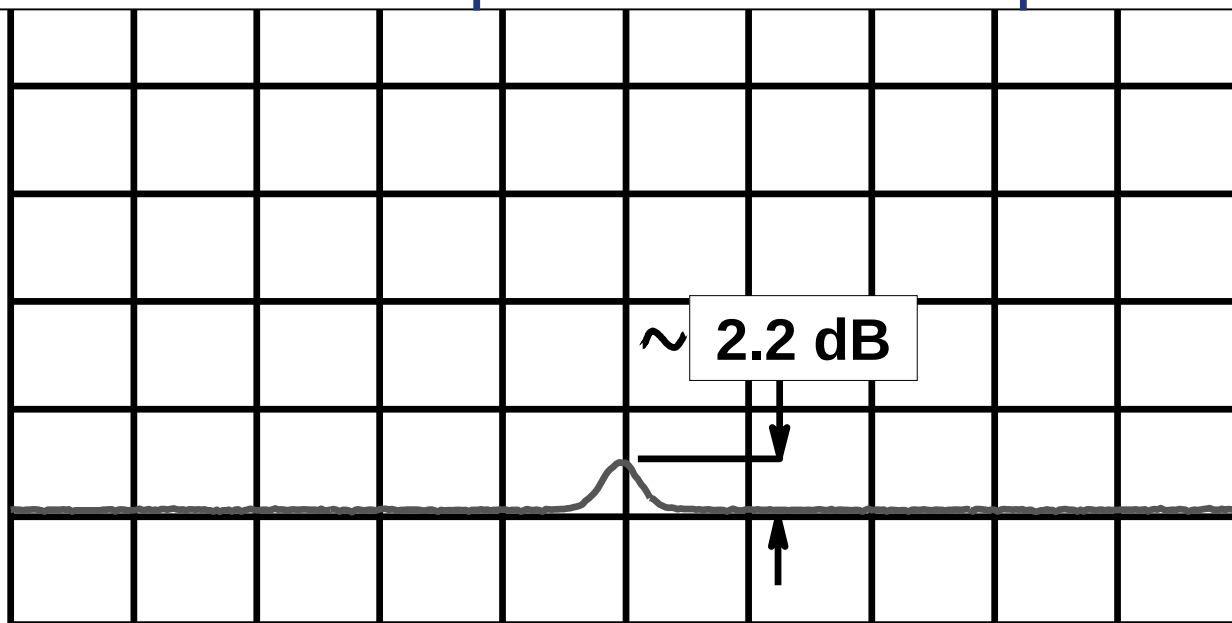
При слишком быстром свипировании
нарушается калибровка

Технические характеристики

Чувствительность/DANL

Чувствительность определяет минимальный уровень сигнала, который может быть различим на экране

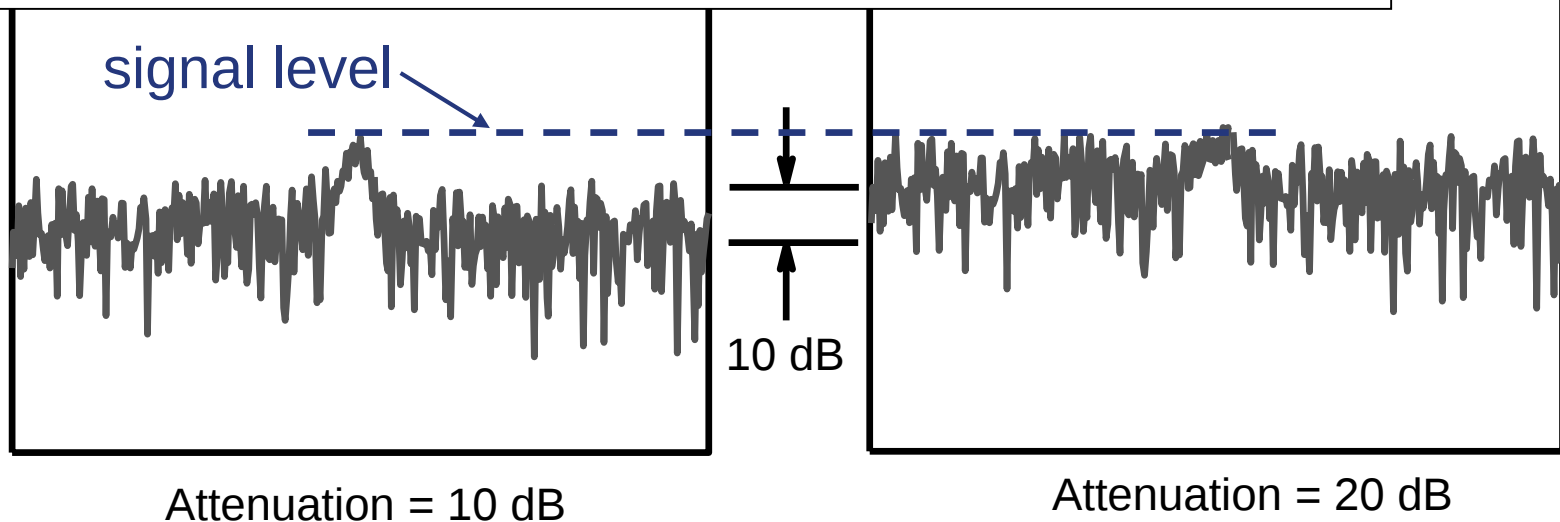
Сигнал
на уровне
шумов



Чувствительность

Отображаемый уровень шумов (DANL)

Эффективный уровень DANL – функция
от входного АТТ

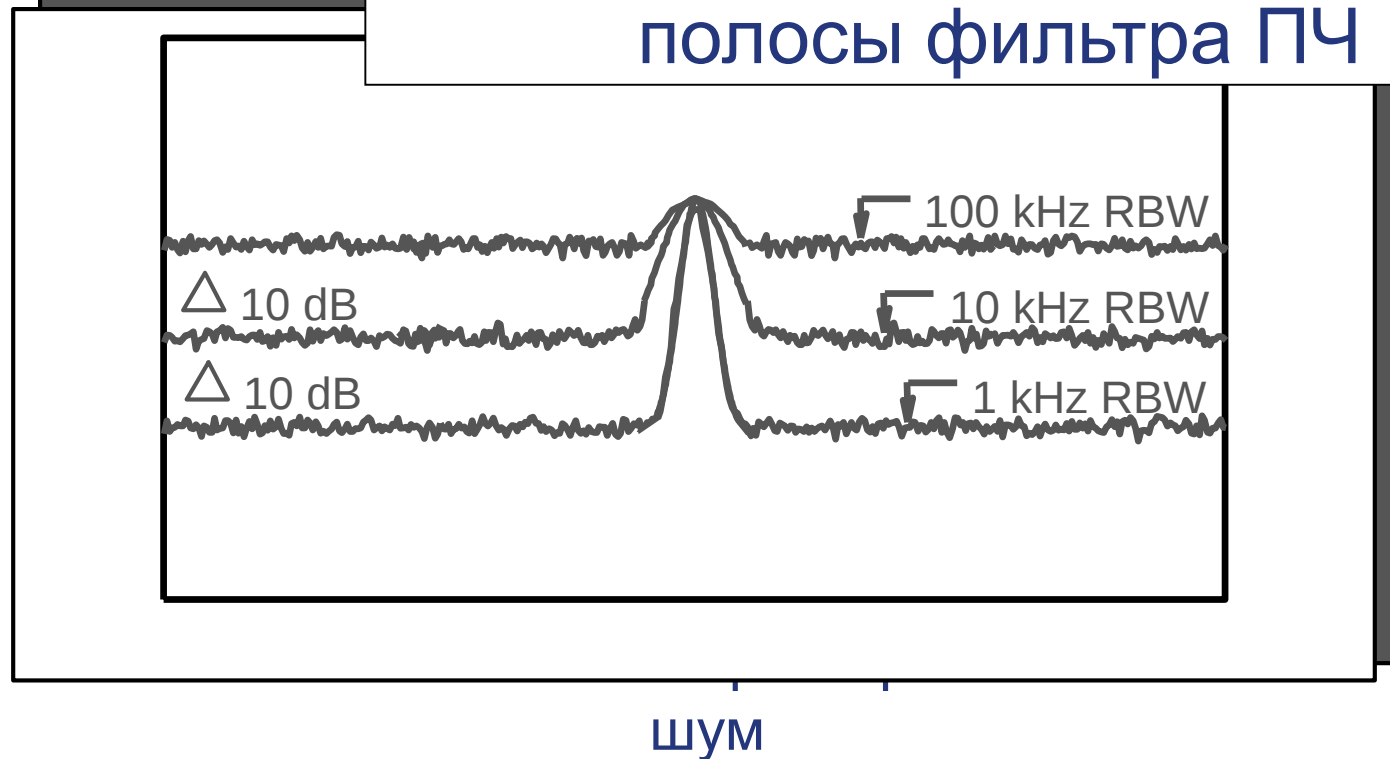


Соотношение сигнал/шум убывает
вслед за увеличением коэффициента
ослабления по входу

Технические характеристики

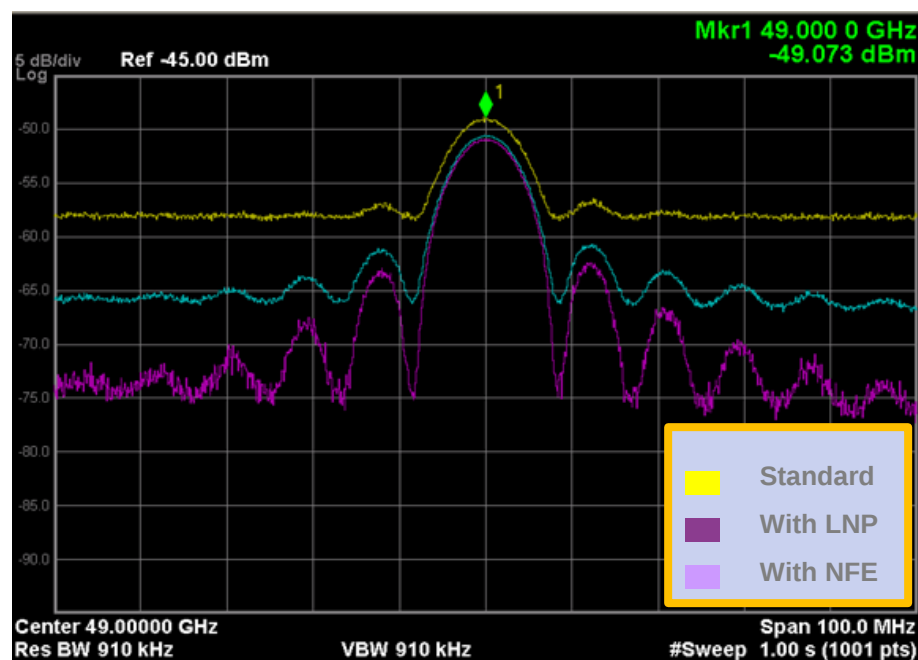
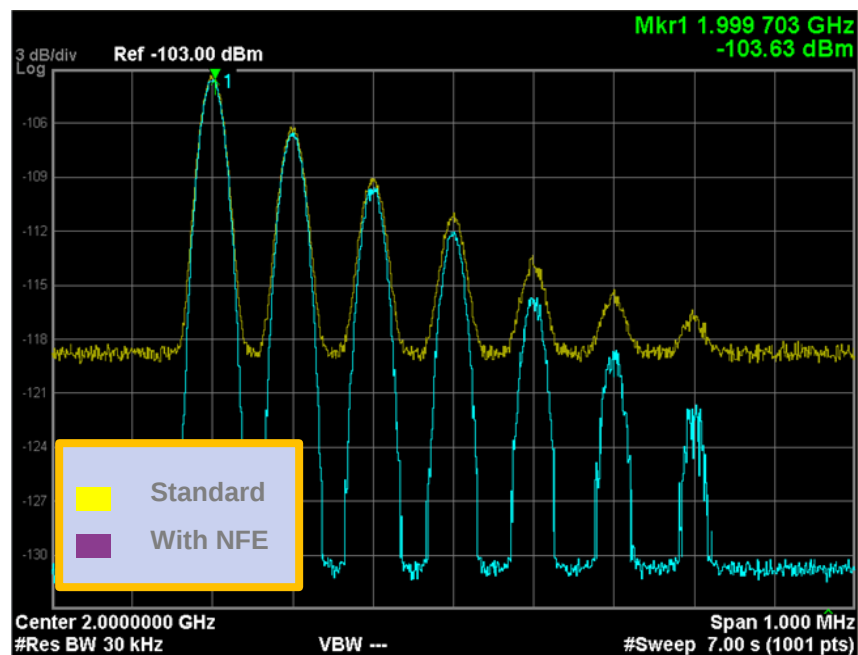
Чувствительность: зависимость от ширины фильтра ПЧ

Отображаемый шум – функция от
полосы фильтра ПЧ



Стандартная опции компенсации шума для UXA/PXA – NFE

Также доступна для EXA и MXA

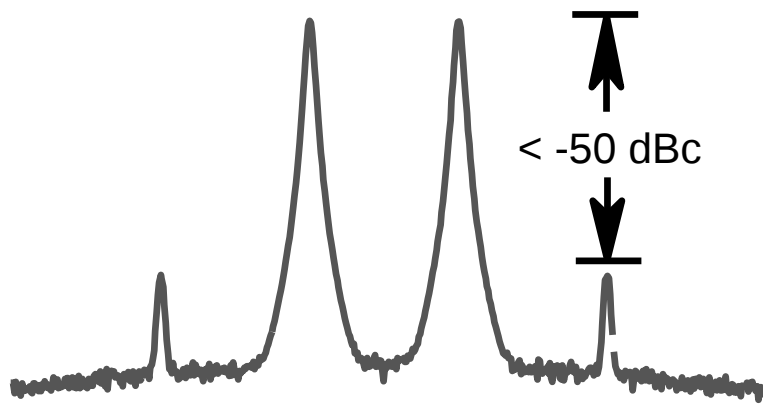


- В анализаторах X-серии возможно сочетание быструю обработку сигнала и прецизионный калиброванный ВЧ-тракт (так что шум можно вычитать из измерения).
- Улучшение от *компенсации шума* зависит от частоты. Так, на ВЧ-частоте, минимально различимый уровень сигнала снизится приблизительно на 3,5 дБ для непрерывных и импульсных сигналов, и на 8 дБ для шумоподобных сигналов (и на 12 дБ для некоторых приложений).
- DANL на 2 ГГц составит –161 дБм без ПУ и до –172 дБм с ПУ

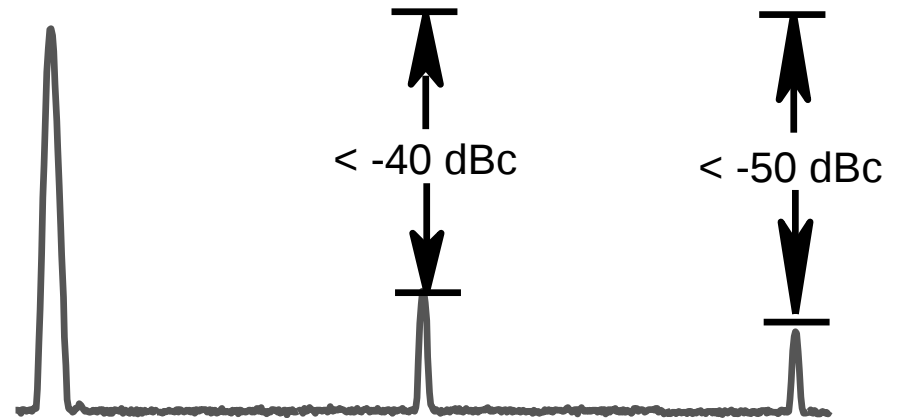
Анализа технических характеристик

Искажения

Наиболее значимые – искажения второго и третьего порядков



Двухтоновая
интермодуляция

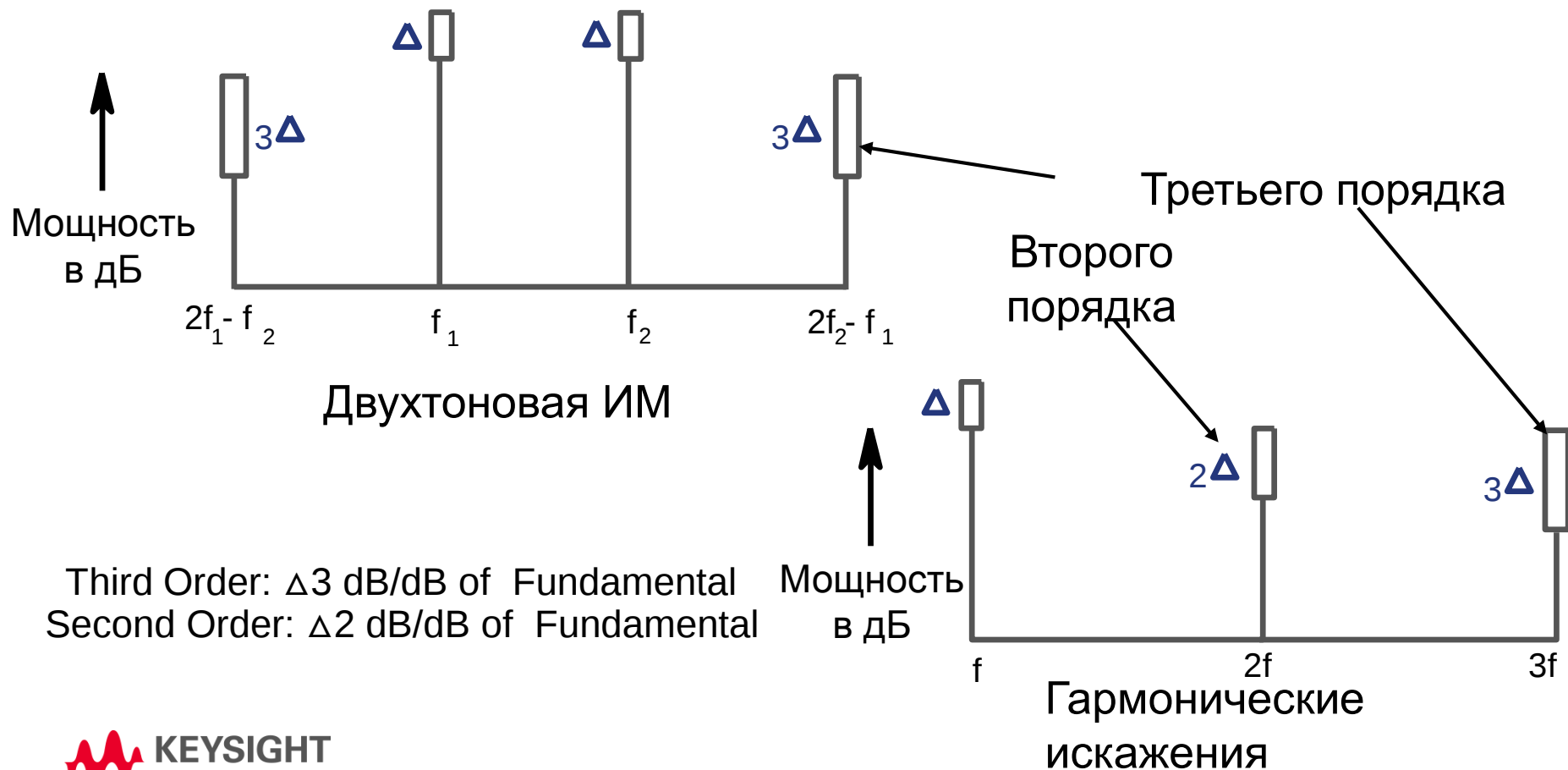


Гармонические искажения

Анализа технических характеристик

Искажения

Искажения увеличиваются как функция мощности основной гармоник сигнала



Анализа технических характеристик

Определение природы искажений

Тест АТТ:

Изменение мощности на смесителе

① Входной АТТ – меняем на 10 дБ

② Проверяем амплитуду искажений

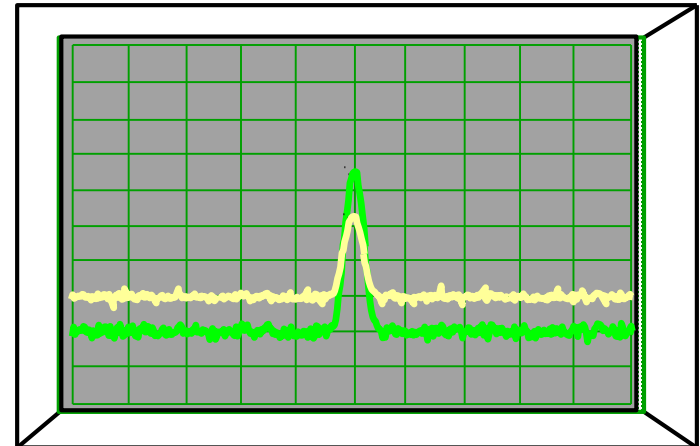
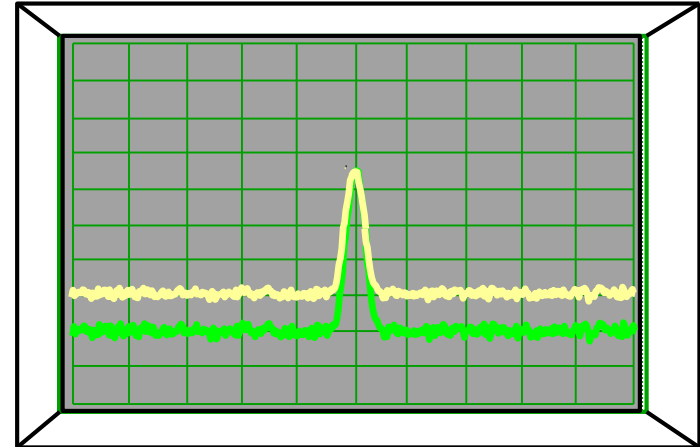
Нет изменений:

Искажение во входном сигнале (внешнее)

Скачок амплитуды:

как минимум часть искажений происходит в тракте прибора (внутреннее)

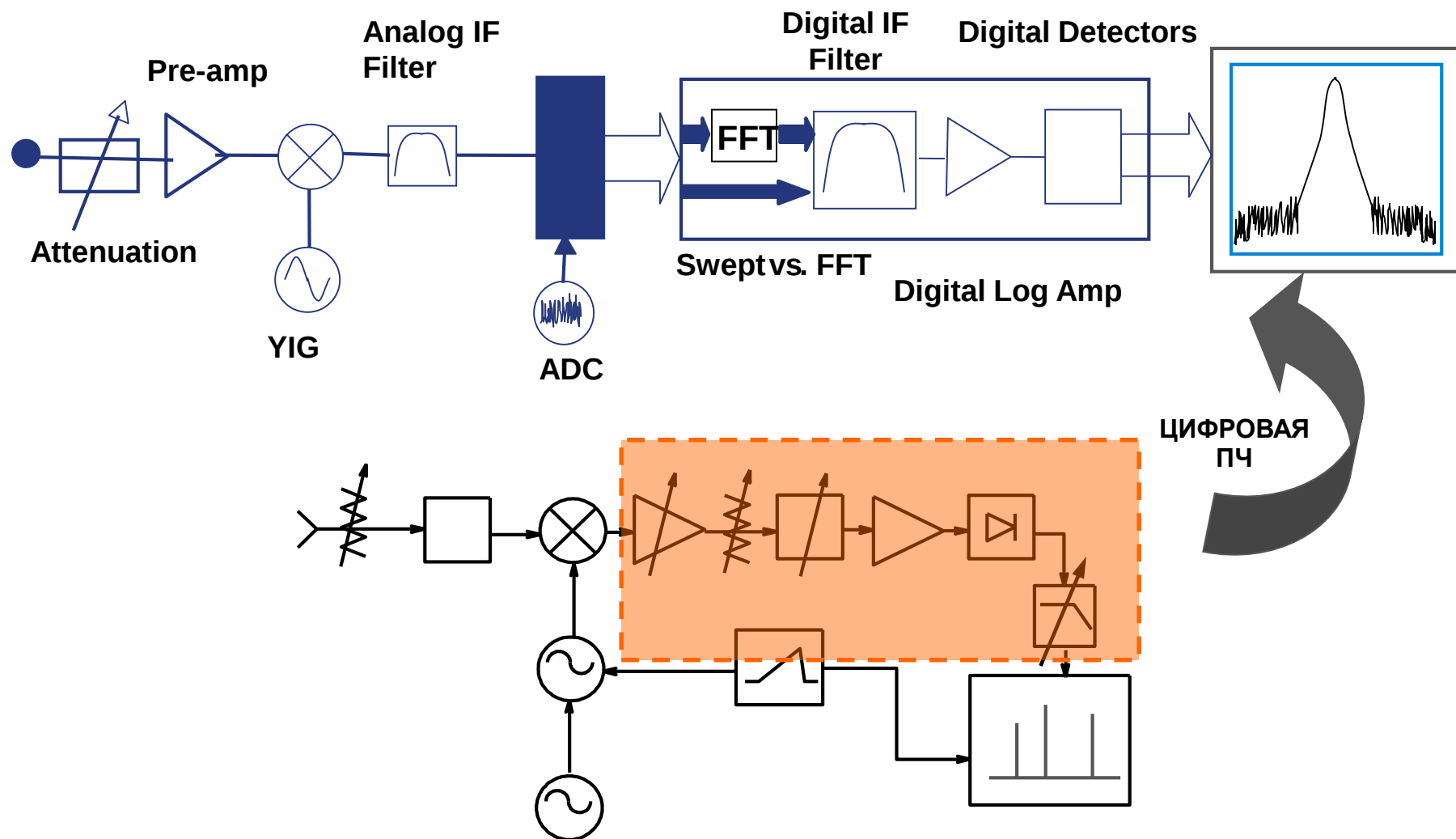
■ Исходный сигнал
■ Добавлено ослабление



План семинара

- Введение
- Обзорная часть:
 - Что такое анализ спектра и анализ сигналов?
 - Какие измерения выполняют анализаторы?
- Теоретическая часть
- Основные характеристики
- **Преимущества современных анализаторов сигналов**
 - **Широкая полоса для векторного анализа**
 - **Анализ спектра в реальном времени**
- Заключение

Структурная схема современного анализатора

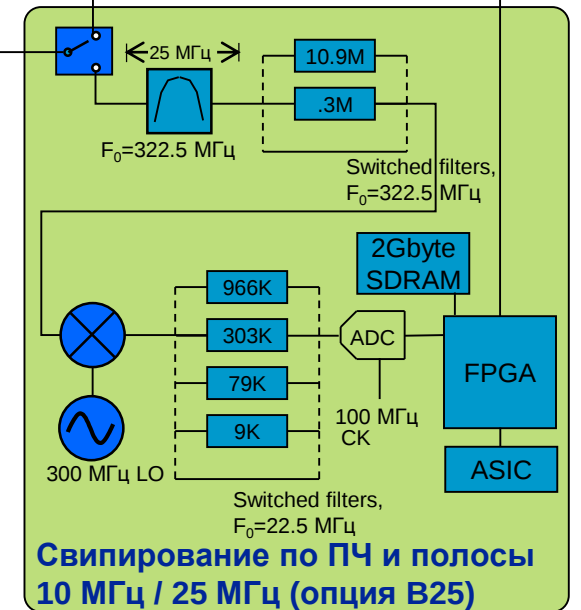
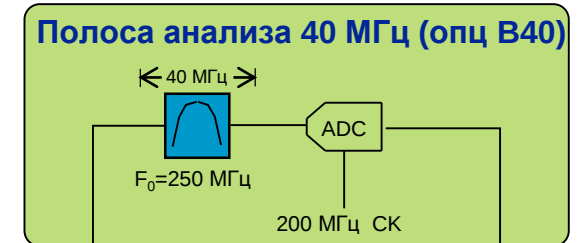
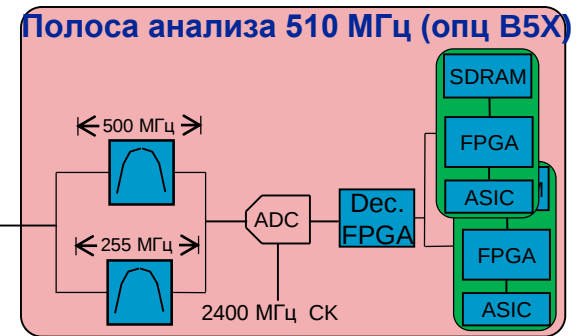
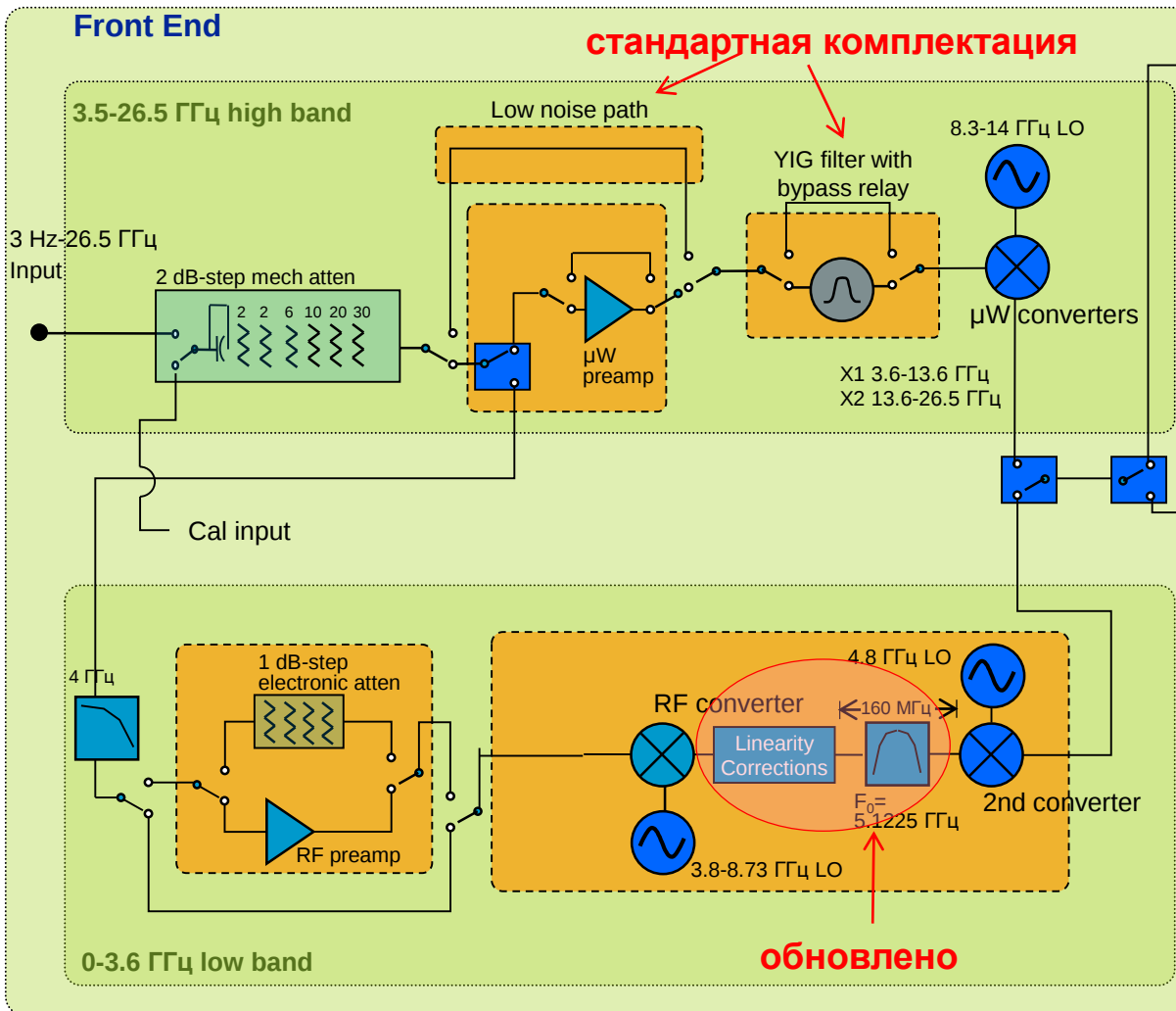


Современные анализаторы спектра

Характеристики, достигаемые благодаря цифровому тракту ПЧ

Parameter	PXA		Traditional
• Input impedance mismatch	± 0.13	.v.	± 0.29 dB
• Input attenuator switching uncertainty	± 0.14	.v.	± 0.6 dB
• Frequency response	± 0.35	.v.	± 1.8 dB
• Reference level accuracy	± 0.0	.v.	± 1.8 dB
• RBW switching uncertainty	± 0.03	.v.	± 0.5 dB
• Display scale fidelity	± 0.07	.v.	± 0.85 dB
• Calibrator accuracy	± 0.24	.v.	± 0.34 dB
Total accuracy (up to 3 GHz)	± 0.59 dB	.v.	± 1.8 dB
95% Confidence	± 0.19 dB		

УХА: упрощенная блок-схема



Особенности современных анализаторов сигналов

Встроенные однокнопочные измерения

Измерения мощности:

- Occupied Bandwidth
- Channel Power
- ACP
- Multi-carrier ACP
- CCDF
- Harmonic Distortion
- Burst Power
- TOI
- Spurious Emissions
- Spectral Emissions Mask

Включены следующие форматы:

cdma2000 1x▷	IS-95A▷	DVB-T L/SECAM/NICAM▷
NADC▷	J-STD-008▷	FCC Part 15 Subpart F
PDC▷	IS-97D/98D▷	S-DMB System E
Bluetooth DH1▷	GSM/EDGE▷	UWB Indoor
TETRA▷	3GPP W-CDMA▷	
W-LAN 802.11a▷		

Преимущества современных анализаторов сигналов

ПО ориентировано на специфичные задачи

Для общего применения

Цифровая демодуляция

Форматы измерений для беспроводной связи

Phase noise
Ext. source control
Noise figure
Code compatibility suite
EMI pre-compliance
Analog demod
Flexible demod
LTE FDD, TDD
W-CDMA/HSPA/HSPA+
GSM/EDGE/EDGE Ev0
cdma2000 & 1xEV-DO
cdmaOne
DVB-T/H/C/T2
TD-SCDMA/HSPA
WLAN (802.11a/b/g/p/j)
802.16 OFDMA
Bluetooth

ACPR, Multi-carrier Power

Occupied Bandwidth (OBW)

Spectral Emissions Mask

Phase and Freq. (PFER)

Mod Accuracy (Rho)

Code Domain Power

ORFS (GSM/EDGE)

Spurious Emissions

Power vs Time

Channel power

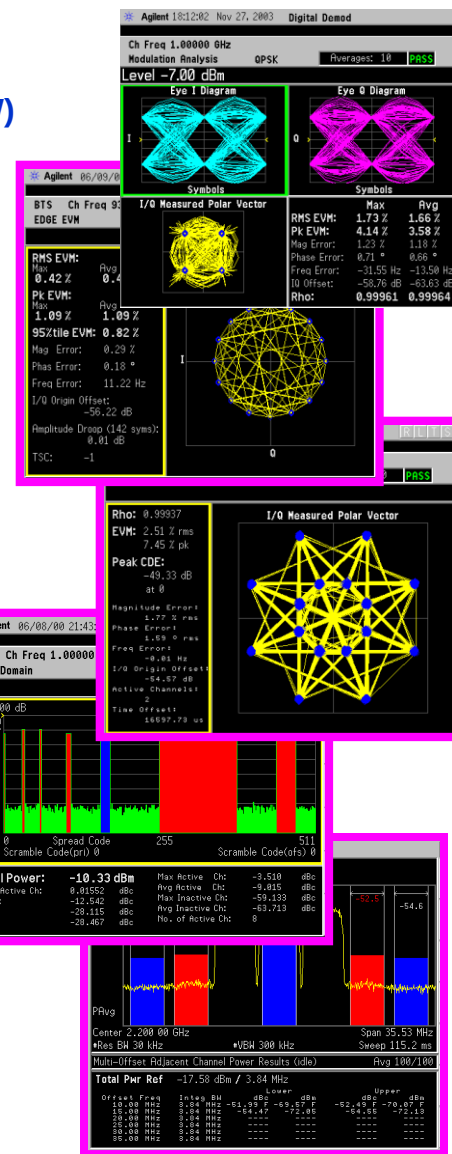
IM distortion

CCDF

ACPR

EVM

SEM



Анализ спектра в реальном времени на X-серии

Увидеть, захватить и изучить самые неуловимые сигналы

Ключевые особенности:

Обнаружение сигналов длительностью 3,57 мкс со 100% POI

- Используйте триггер по частотной маске (FMT), чтобы анализировать и записывать редкие сигналы - *стандарт*

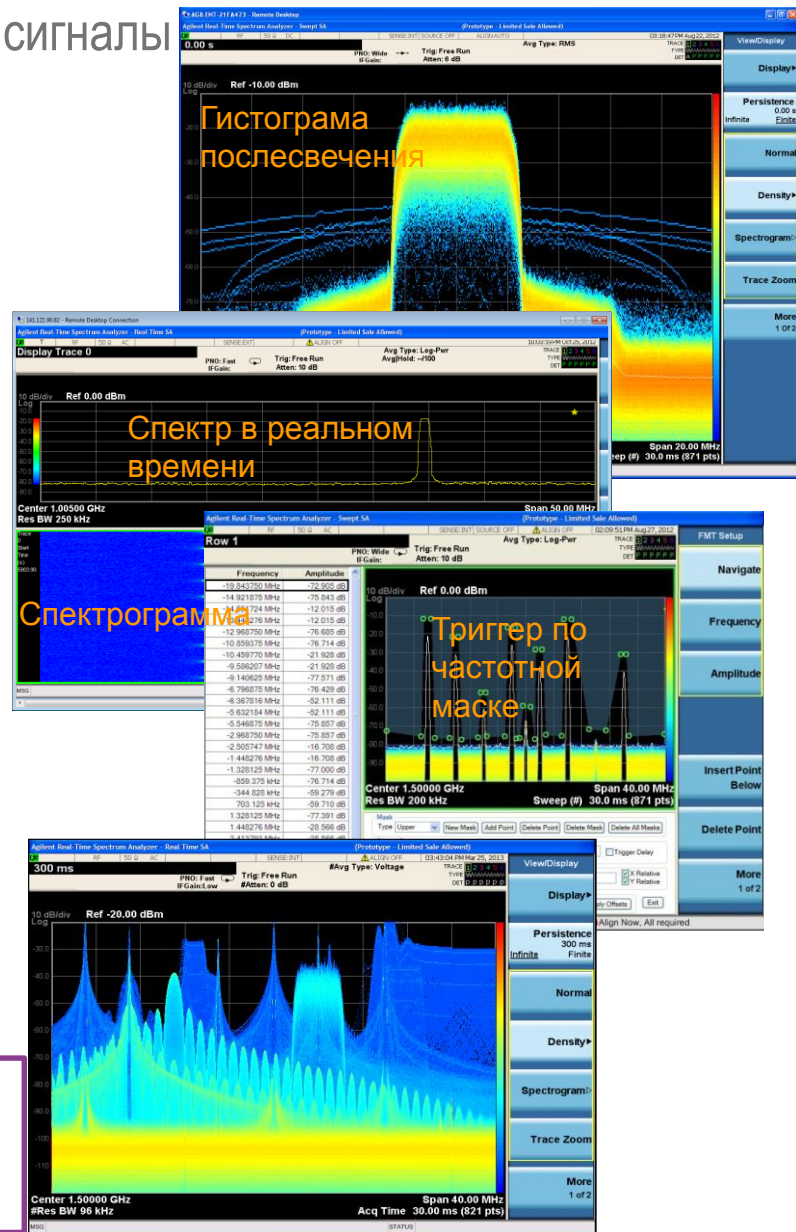
Сканирование в широкой полосе 510-МГц реального времени

- RTSA откр. по ключу на MXA с полосой от 85 МГц
- 30-дневная бесплатная лицензия

Устранена необходимость специализированного инструмента за счет RTSA

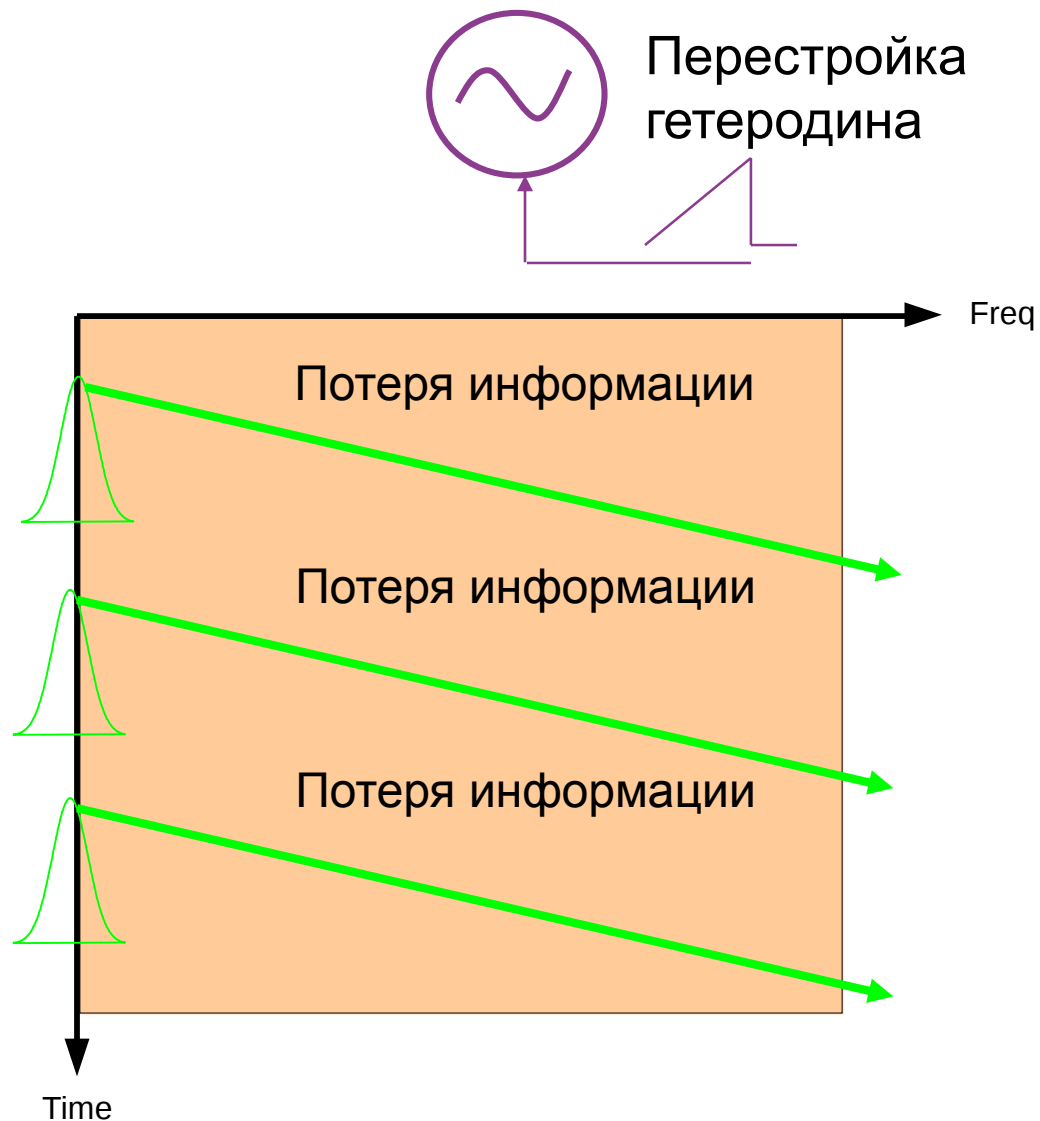
Требуется опция широкополосного анализа (свыше 85 МГц)

Живой пример окружения с CW, импульсами и сигналами CDMA



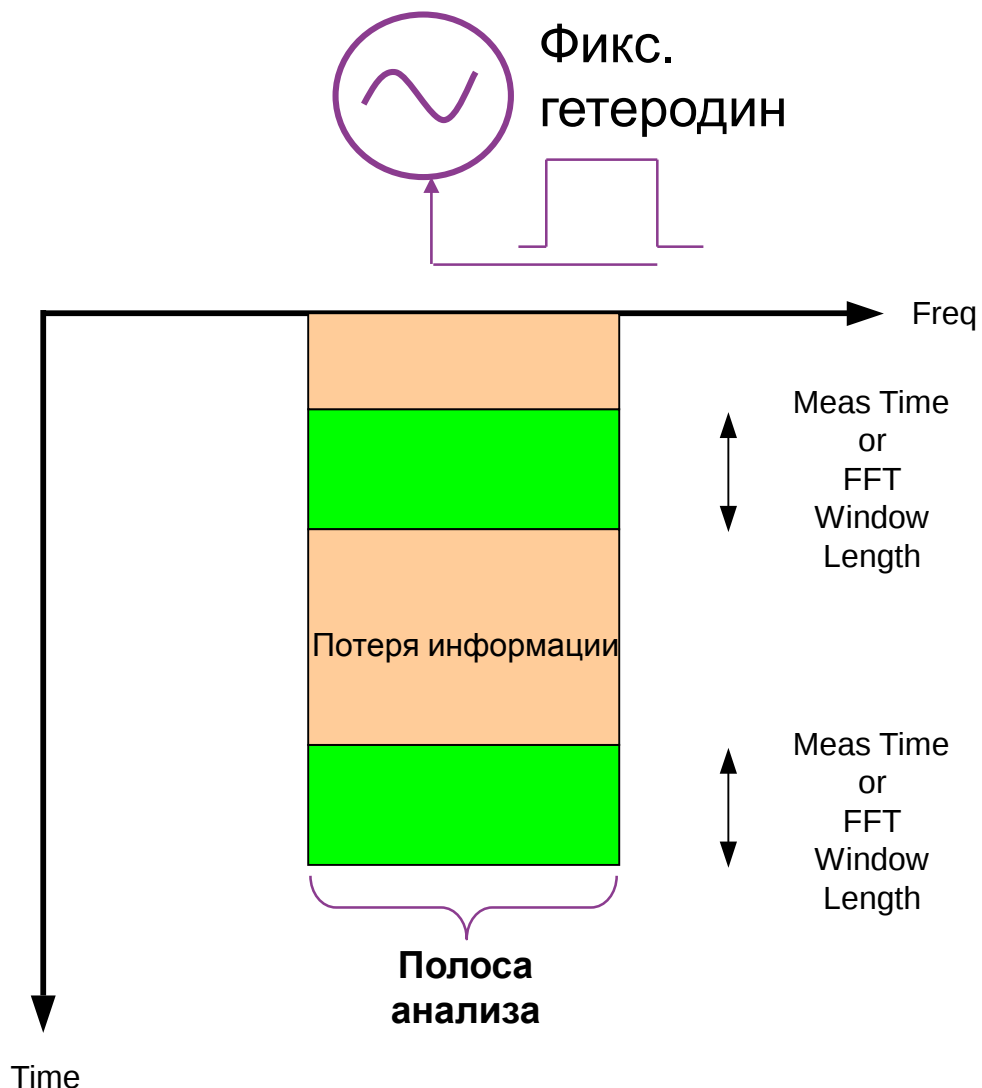
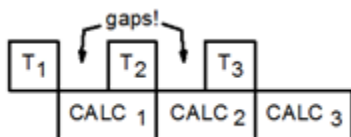
Режим анализа спектра со свипированием

- Свипирование гетеродина с заданным ФПЧ
- Максимальная полоса
- Хорошо подходит для стационарных сигналов
- Только скалярный анализ, не измеряем фазу
- Событие должно произойти в нужное время на нужной частоте
- Потеря информации, когда гетеродин в другой точке



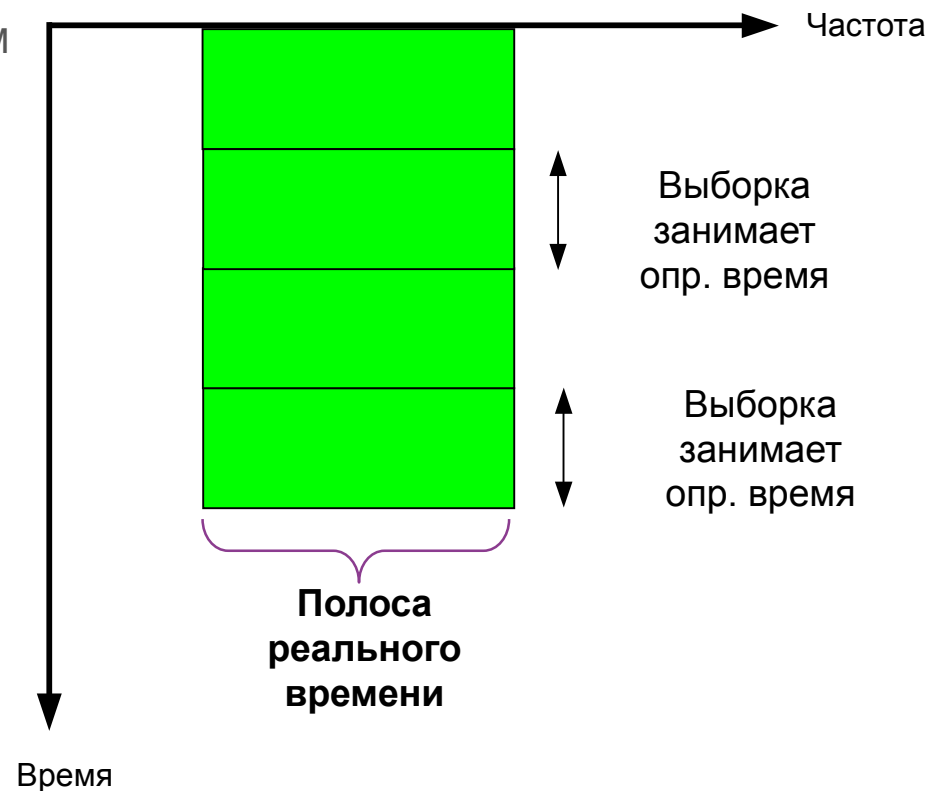
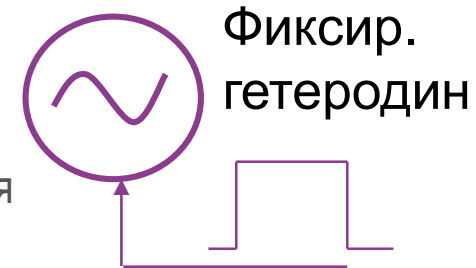
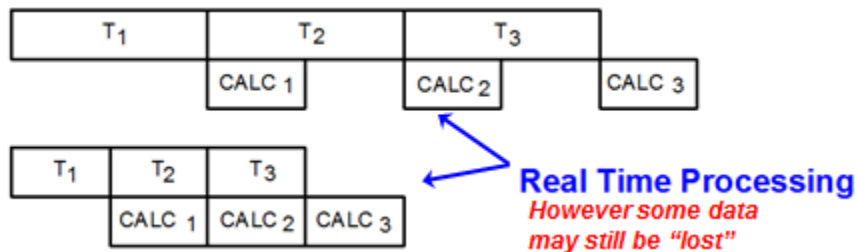
Режим I/Q-анализатора – измерения в комплексной области

- Гетеродин фиксирован на одной частоте с заданной ПЧ
- I/Q-данные собираются за конкретный временной интервал
- БПФ для каждого отсчета
- Захват векторной информации (в т.ч. Фазы)
- Данные собираются циклично, но с потерей информации в момент обработки



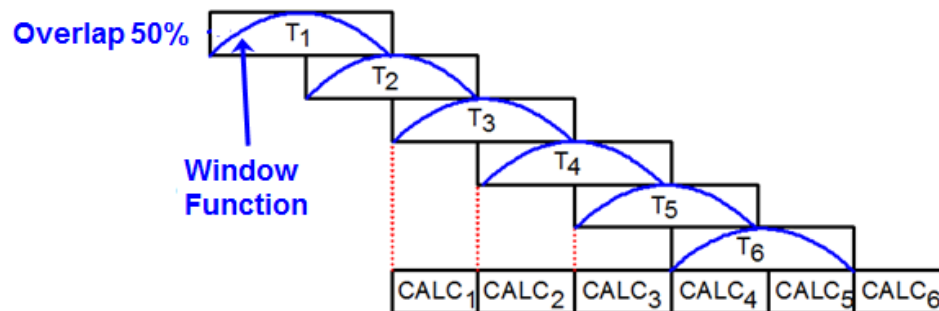
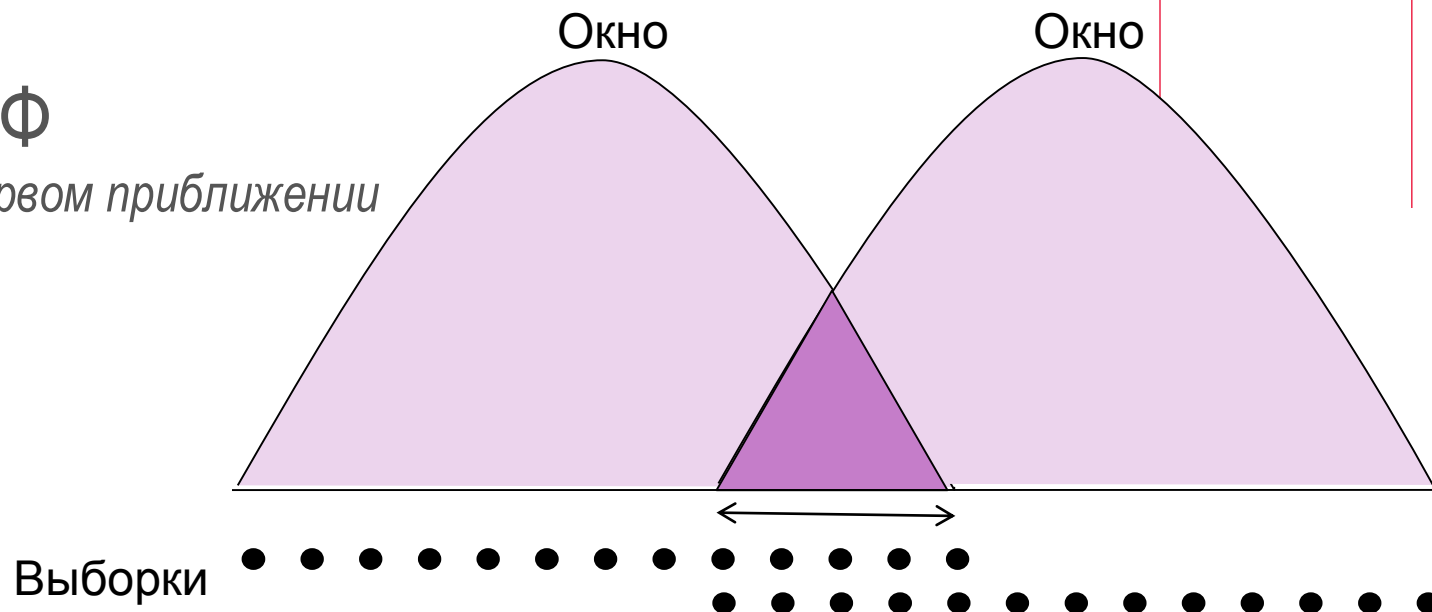
Анализ спектра в реальном времени

- Гетеродин установлен на опр. частоту, сигнал обрабатывается на ПЧ
- За определенный интервал времени накапливаются I/Q-отсчеты
- БПФ и коррекция происходит в реальном времени
- Теряется векторная информация
- Средства отображения большого количества точек БПФ

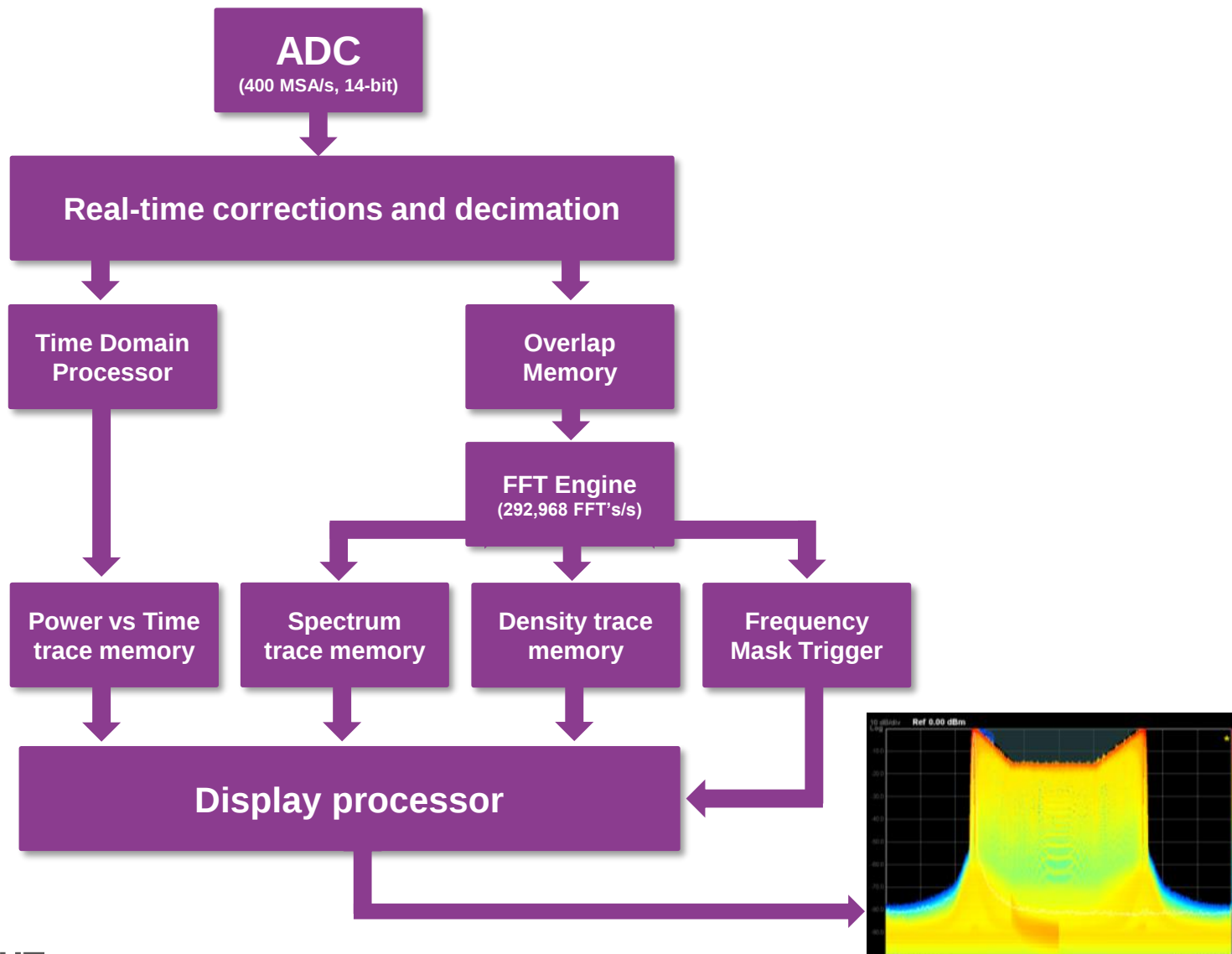


БПФ

В первом приближении

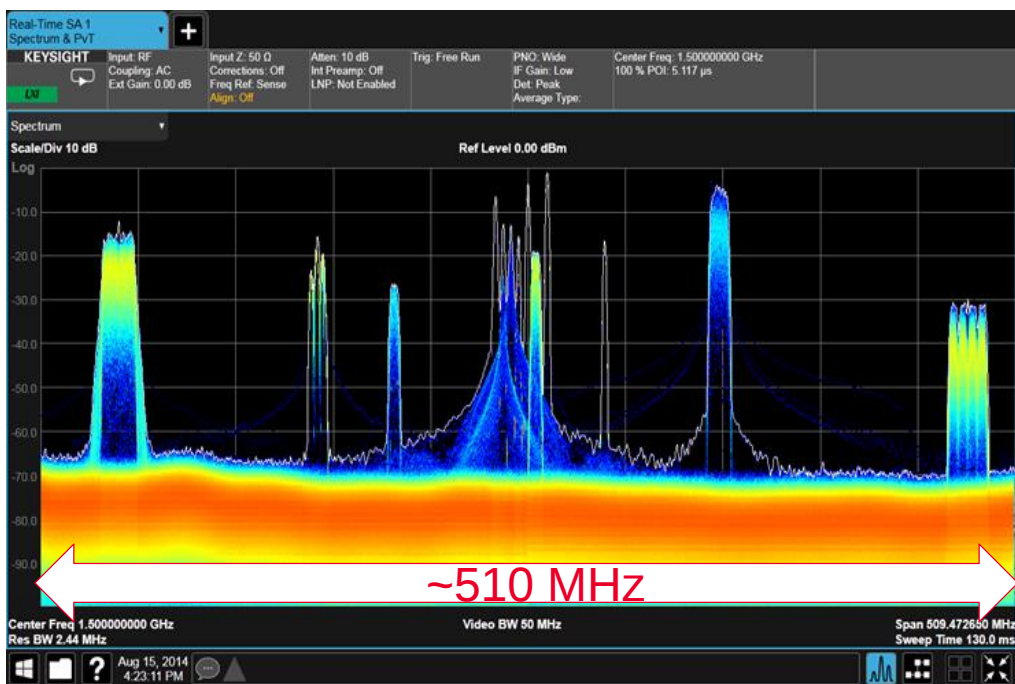


Упрощенная диаграмма по обработке RTSA



Анализатор спектра в режиме реального времени (RTSA)

Добейтесь широчайшей в отрасли полосы пропускания в режиме реального времени для анализаторов UXA



- Требуется опция B2X (255 МГц) (**поддержка PXA!**) или B5X (510 МГц)
- RT2 для оптимизированного POI (контролируется для экспорта) 3.517 мкс
- RT1 для базового POI (не контролируется для экспорта) 17.17 мкс
- Более широкая полоса захватывает больше сигналов в реальном времени

POI – вероятность захвата

План семинара

- Введение
- Обзорная часть:
 - Что такое анализ спектра и анализ сигналов?
 - Какие измерения выполняют анализаторы?
- Теоретическая часть
- Основные характеристики
- Преимущества современных анализаторов сигналов
 - Широкая полоса для векторного анализа
 - Анализ спектра в реальном времени
- **Заключение**

Обобщение: модернизированные анализаторы сигналов серии X

Новые возможности для решения различных измерительных задач



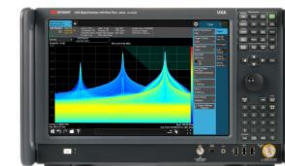
Приложения анализаторов серии X

Фазовый шум, форма шума, аналоговая демодуляция

Pulse

LTE/LTE-Advanced FDD & TDD

W-CDMA/HSPA+



UXA

Неограниченная
производительность

3 Гц до 110 ГГц, до 5 ГГц BW

Real-time spectrum analysis

255 МГц real-time streaming



PXA

Эталон для ключевых приложений

3 Гц до 50 ГГц, 510 МГц BW

Real-time spectrum analysis

255 МГц real-time streaming

Улучшенные фазовые шумы (DDS LO)

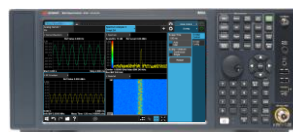


MXA

Оптимальный выбор для
беспроводной связи

10 Гц до 26,5 ГГц, 160 МГц BW

Real-time spectrum analysis



EXA

Максимальная выгода до мм
диапазона

10 Гц до 44 ГГц, 40 МГц BW

Улучшенные фазовые шумы



CXA

Лидирующий бюджетный прибор

9 кГц до 26,5 ГГц, 25 МГц BW

Улучшенные фазовые шумы



NFA

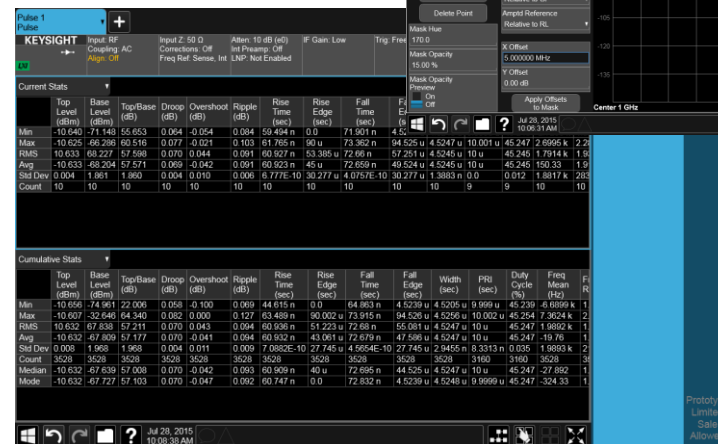
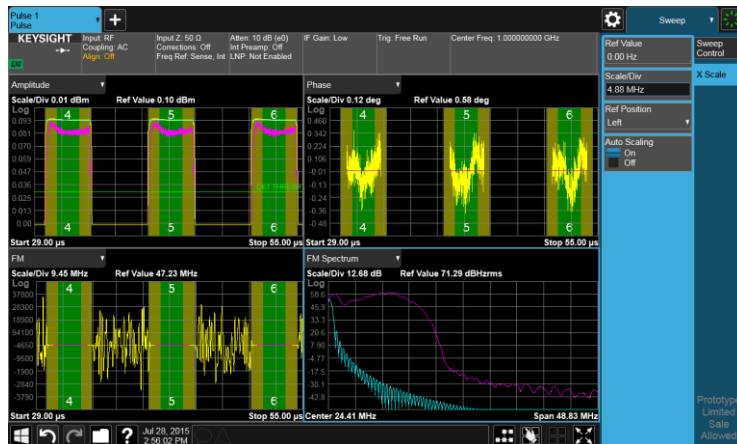
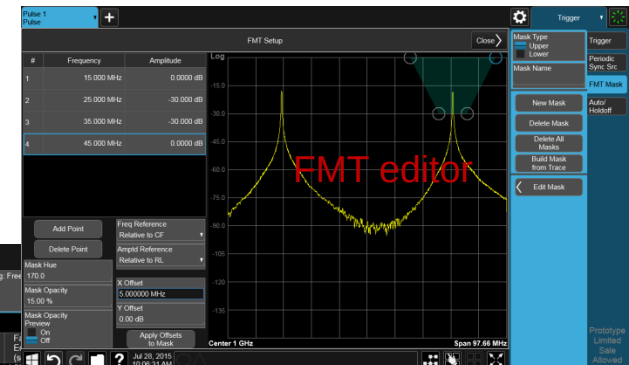
до 40 ГГц

SASSI GUI: Новое приложение для импульсов



Multi Touch Pulse N9067C

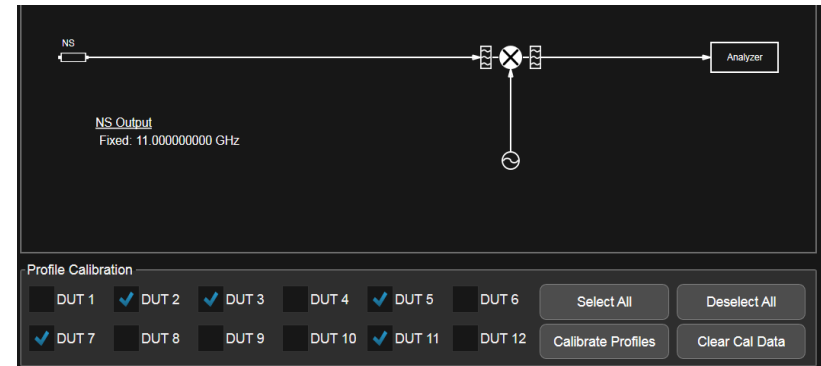
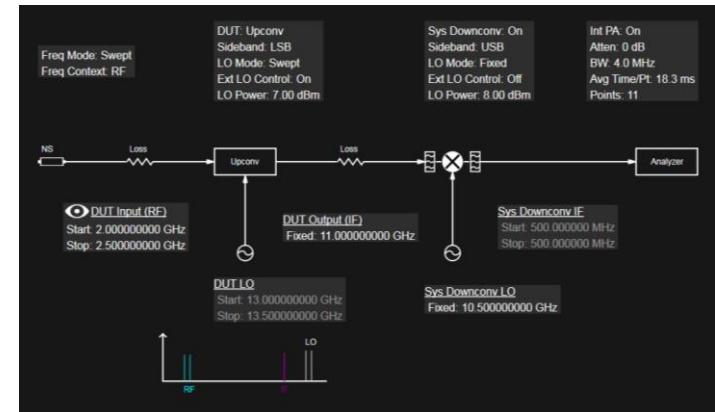
- Удобство клиента – два экрана : Импульсы (по группам параметров) и RTSA (реальное время) на UXА
- FMT/TQT через IQ запрос во встраиваемом приложении
- Набор экранов и режимов просмотра, оптимизированных для дисплея 4U
- Такая же платформа как в VSA v.20 с опцией анализа импульсов (BNQ)



NFA - анализатор коэффициента шума X-Серии

Настраивая и калибруя измеряемое устройство

- Блок-схемы измерения и калибровки, показывают необходимые соединения, уменьшая риск возникновения ошибок
- Multi-DUT калибровка сохраняет время и позволяет избежать большого количества пересоединений
- Калибровка учитывает преобразование частоты или понижение частоты системы во время настроек
- Внутренняя калибровка упрощает процедуру калибровки, не внося серьезных неточностей



Вопросы



Комментарии