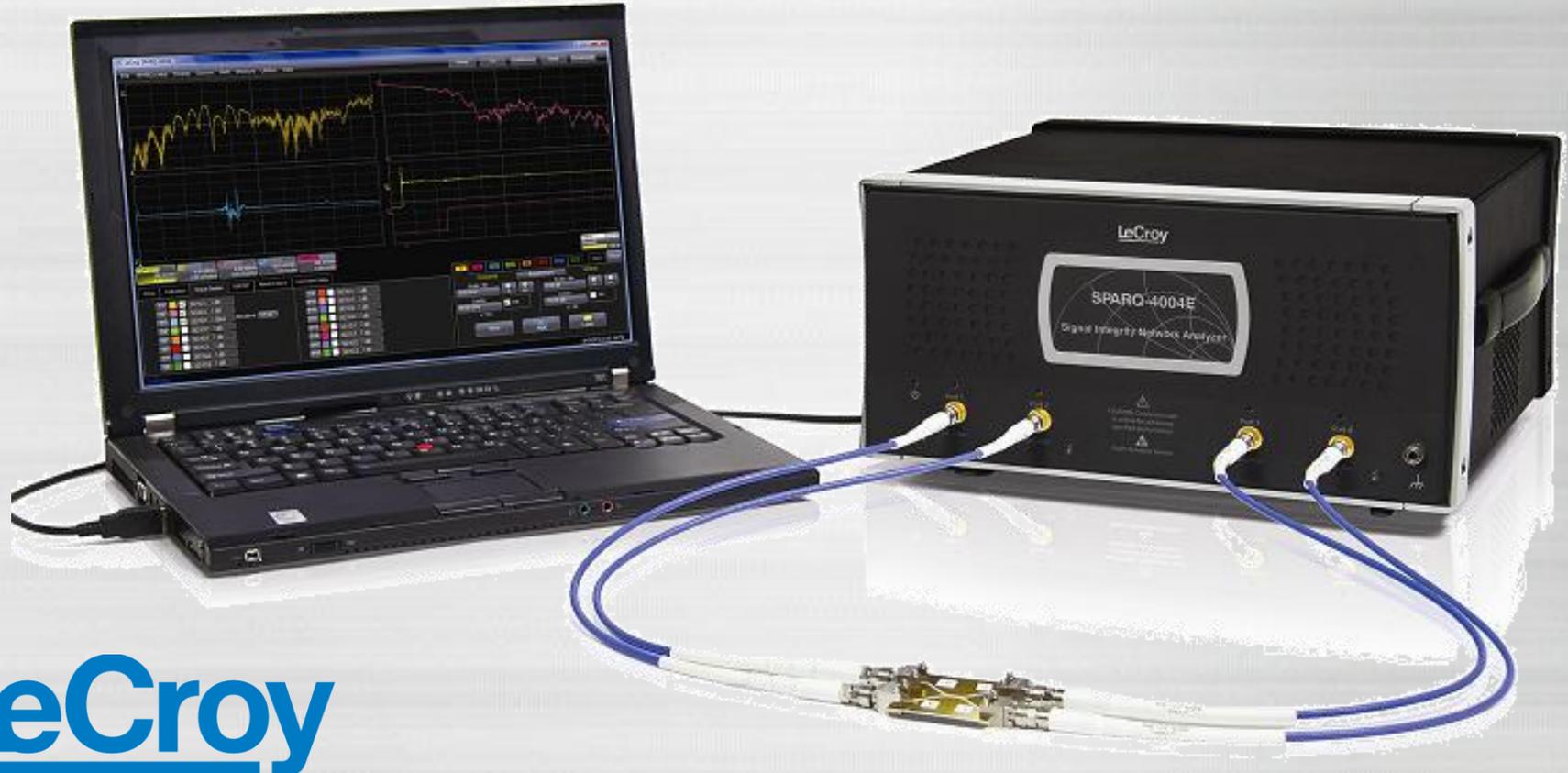


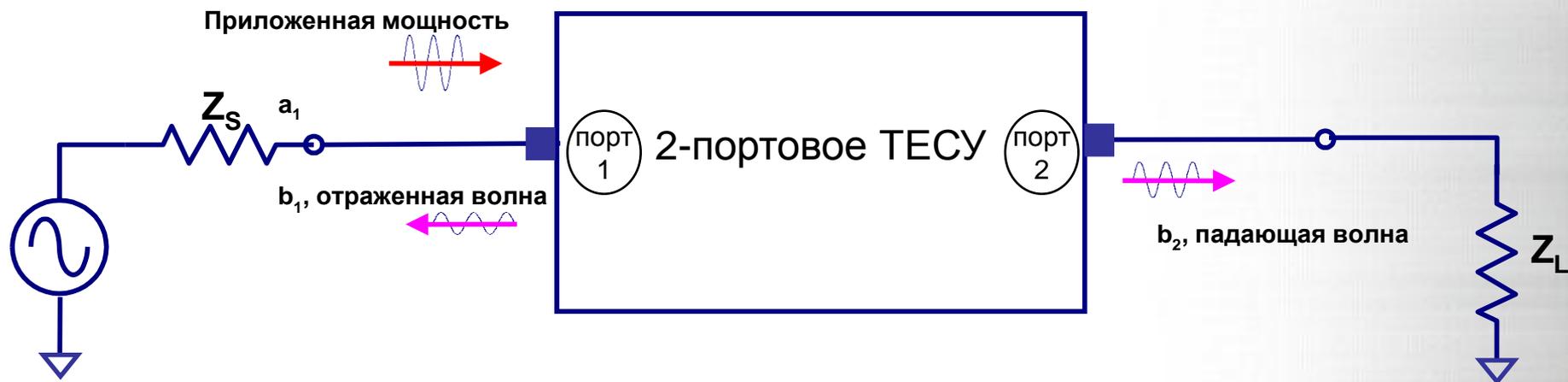
SPARQ

Измеритель S-параметров на принципе импульсной рефлектометрии (“S-Parameters Quick”)



LeCroy

Что такое S-параметры?



- ✓ S-параметры измеряют параметры отраженной и падающей волн в тестируемых устройствах
- ✓ 'S' происходит от слова "Scattering" (Рассеивание)
- ✓ Тестируемые устройства могут быть: коаксиальные кабели. Пассивные антенны, активные усилители, микроволновые фильтры и т.п..
- ✓ S-параметры имеют модуль коэффициента передачи/отражения (dB) и фазу (градусы)
- ✓ Принятое обозначение: $S_{\langle \text{выход} \rangle \langle \text{вход} \rangle}$
 - пример S_{21} = передача от порта 1 к порту 2
- ✓ Для измерения S-параметров используют векторные анализаторы и импульсные рефлектометры.

Введение измерение в S-параметров

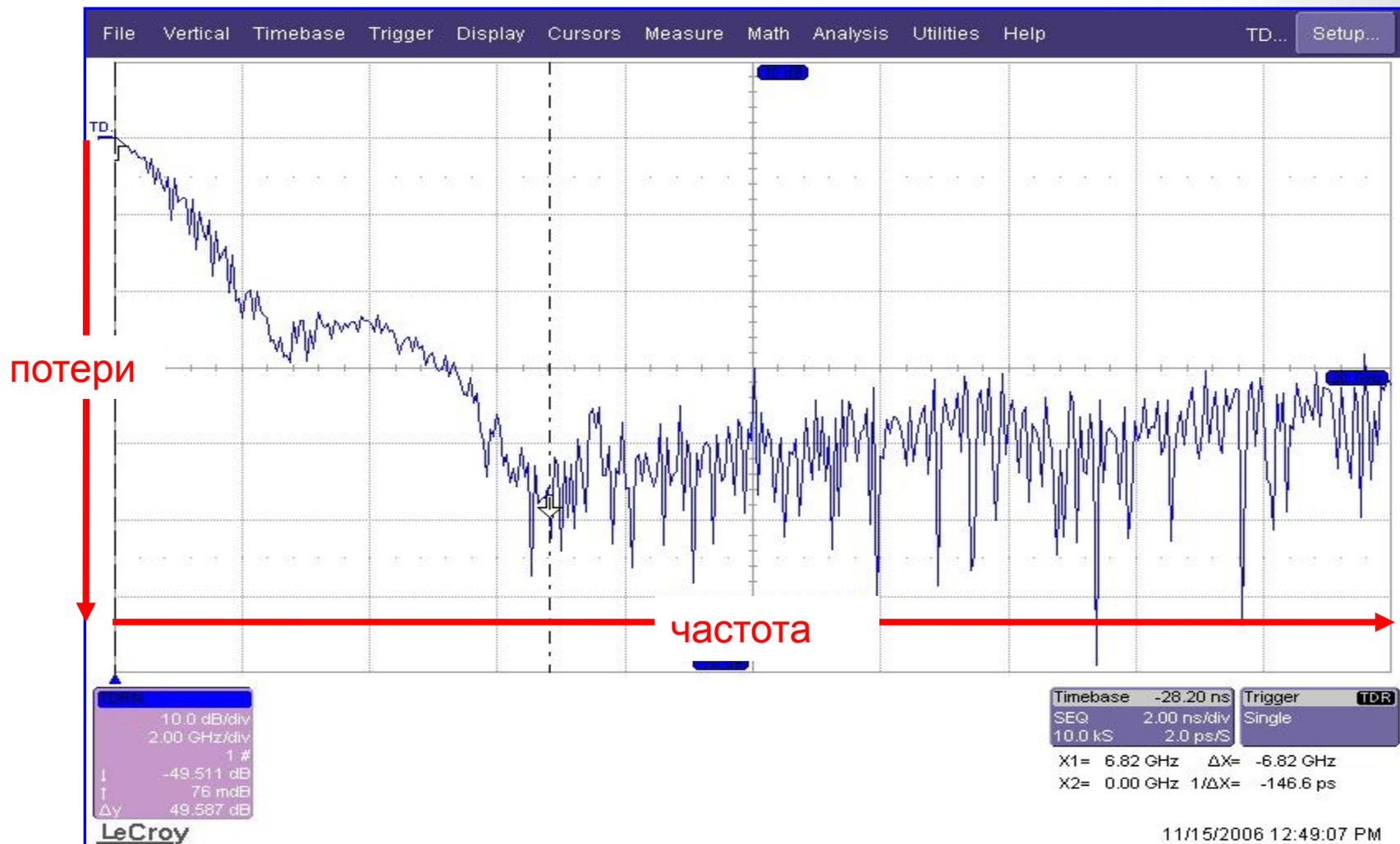
- ✓ S-параметры (от словосочетания *Scattering matrix* «матрица рассеивания») это путь точного описания как ВЧ энергия проходит через многопортовые тестируемые устройства.
- ✓ ТЕСУ, в большинстве случаев представляется как «черная коробка»
- ✓ Матрица S-параметров для N-портового устройства содержит N^2 S-параметров
- ✓ S-параметры — комплексные величины (модуль вектора и фазы)



частота



Пример отображения параметра S21 для переходной платы



Число портов ответ на вопросы

-9	-32	-1	-33
-32	-9	-35	-1.6
-1.4	-34	-9.5	-32
-34	-1.4	-32	-8.5

-  = есть сопротивление (согласованное или нет)
-  = есть физическая связь между портами



Порты 1 и 3 имеют физическую связь

Порты 2 и 4 имеют физическую связь

Hz S dB R 50

```

10000000 -9.325388e+000 1.696448e+001 -3.212368e+001 3.957784e+001 -1.384781e+000 -4.905982e+001 -3.381277e+001 1.285916e+002
-3.230127e+001 4.017078e+001 -9.149292e+000 1.045316e+001 -3.461039e+001 1.259645e+002 -1.607169e+000 -4.862178e+001
-1.398305e+000 -4.915537e+001 -3.441459e+001 1.250791e+002 -9.583646e+000 1.170182e+001 -3.219268e+001 4.153238e+001
-3.382233e+001 1.293954e+002 -1.482399e+000 -4.926255e+001 -3.227425e+001 4.223647e+001 -8.501068e+000 1.329251e+001
20000000 -8.415854e+000 -7.429701e+001 -2.185791e+001 -6.994311e+000 1.589352e-001 -1.004102e+002 -2.742099e+001 1.961331e+001
-2.194702e+001 -4.438735e+000 -7.701551e+000 -8.483125e+001 -2.915839e+001 1.245748e+001 4.715231e-001 -1.000467e+002
1.677796e-001 -9.970387e+001 -2.906990e+001 1.002416e+001 -9.329252e+000 -8.454984e+001 -2.182191e+001 -6.116842e+000
-2.748248e+001 2.258983e+001 5.479714e-001 -1.001441e+002 -2.189178e+001 -3.320241e+000 -6.462896e+000 -7.856100e+001
30000000 -1.086403e+001 -1.781489e+002 -2.063685e+001 -7.824953e+001 -4.649954e-001 -1.581036e+002 -2.615018e+001 -1.204220e+002
0 0e+000 0e+000 0e+000 0e+000 0e+000 0e+000 0e+000 0e+000
  
```

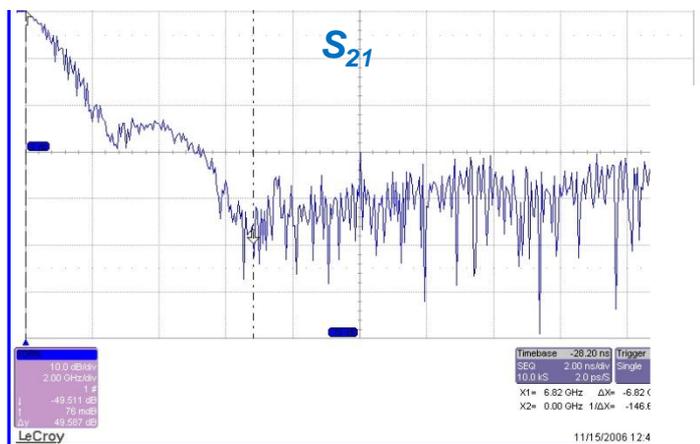
Отражение / передача (частотная область)

✓ **Отражение:** потери при отражении (dB)

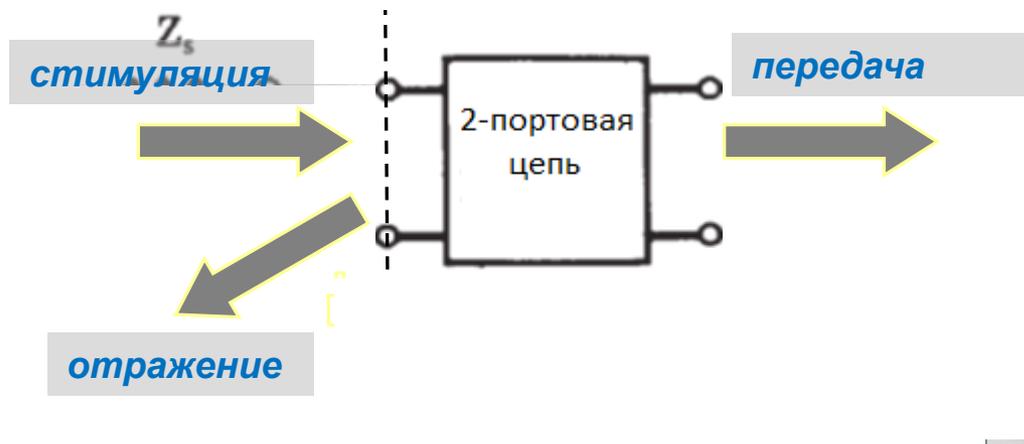
- отношение в dB мощности отраженного сигнала по отношению к приложенной мощности сигнала

✓ **Передача:** потери при передаче сигнала (dB)

- отношение в dB мощности переданного сигнала по отношению к приложенной мощности сигнала



частота



Основные особенности 4-портовых измерений



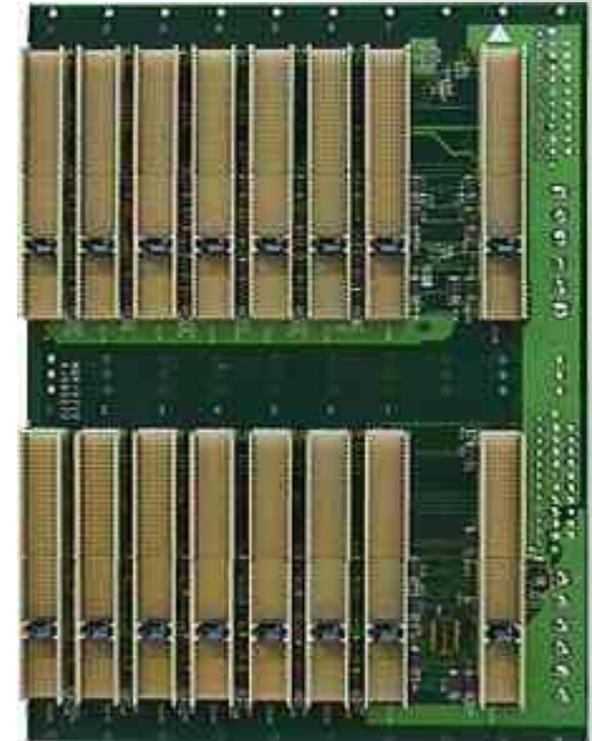
- ✓ **4-портовое ТЕСУ может быть представлено как с общими, так и с дифференциальными входами**
 - ❖ **Для 4-х полюсника с общим входом S-параметры выглядят как для 2-х полюсника, только S-параметры**

$$\begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & S_{14} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & S_{24} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} & S_{34} \\ S_{41} & S_{42} & S_{43} & S_{44} \end{bmatrix}$$

- ❖ **Но 4-портовое ТЕСУ может быть представлено как 2-х портовое ТЕСУ, но с дифференциальными входами; в этом случае S-параметры можно отобразить в «смешанном режиме»**

Технологии развиваются со скоростями передачи...

- Высокие тактовые частоты и скорости передачи в компьютерах, телекоммуникации и сетевом оборудовании
- Новые стандарты во всем гигабитном диапазоне
 - *PCIe Gen(3) 8 Гбит/с*
 - *SATA Gen(3)/SAS2*
 - *10 Гигабитный интернет*
- Высокие скорости передачи подразумевают форму импульса с малым временем нарастания/среза
- Необходимость контроля волнового сопротивления при воздании систем передачи



высокоскоростная
переходная плата

Высокоскоростные системы передачи данных требуют...

- Факторы, игнорируемые на низких скоростях передачи, становятся критическими – *перекрестные помехи, межсимвольная интерференция*

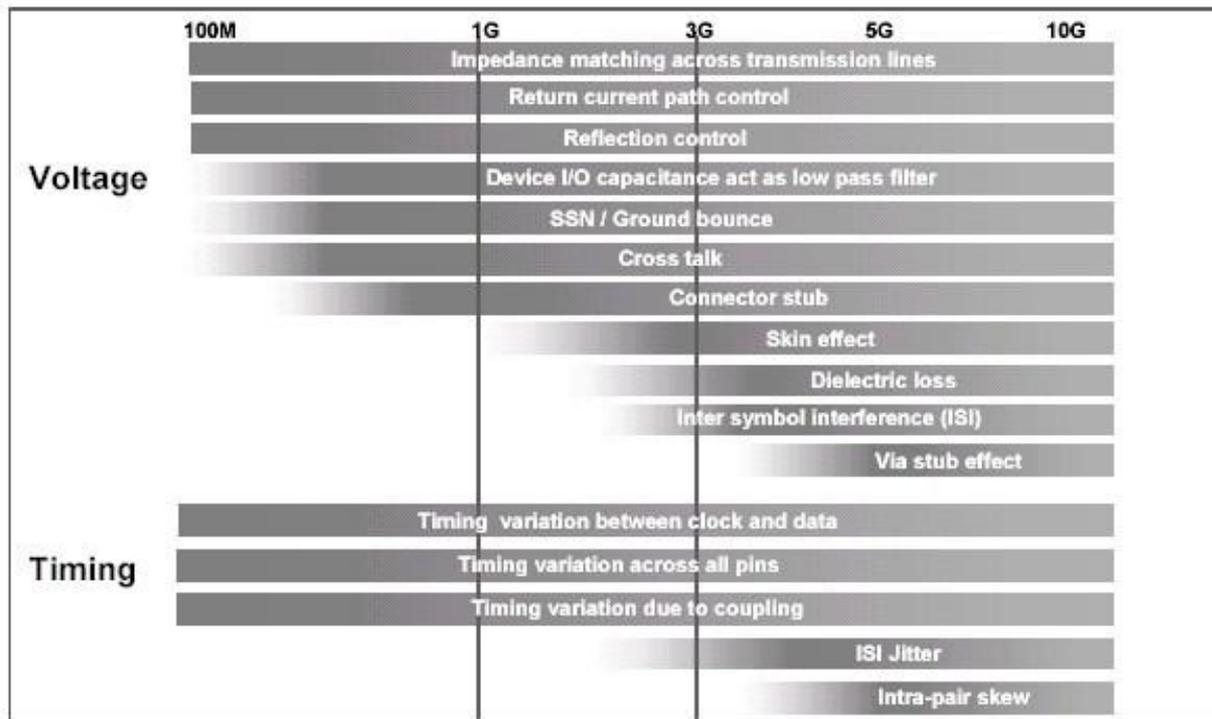
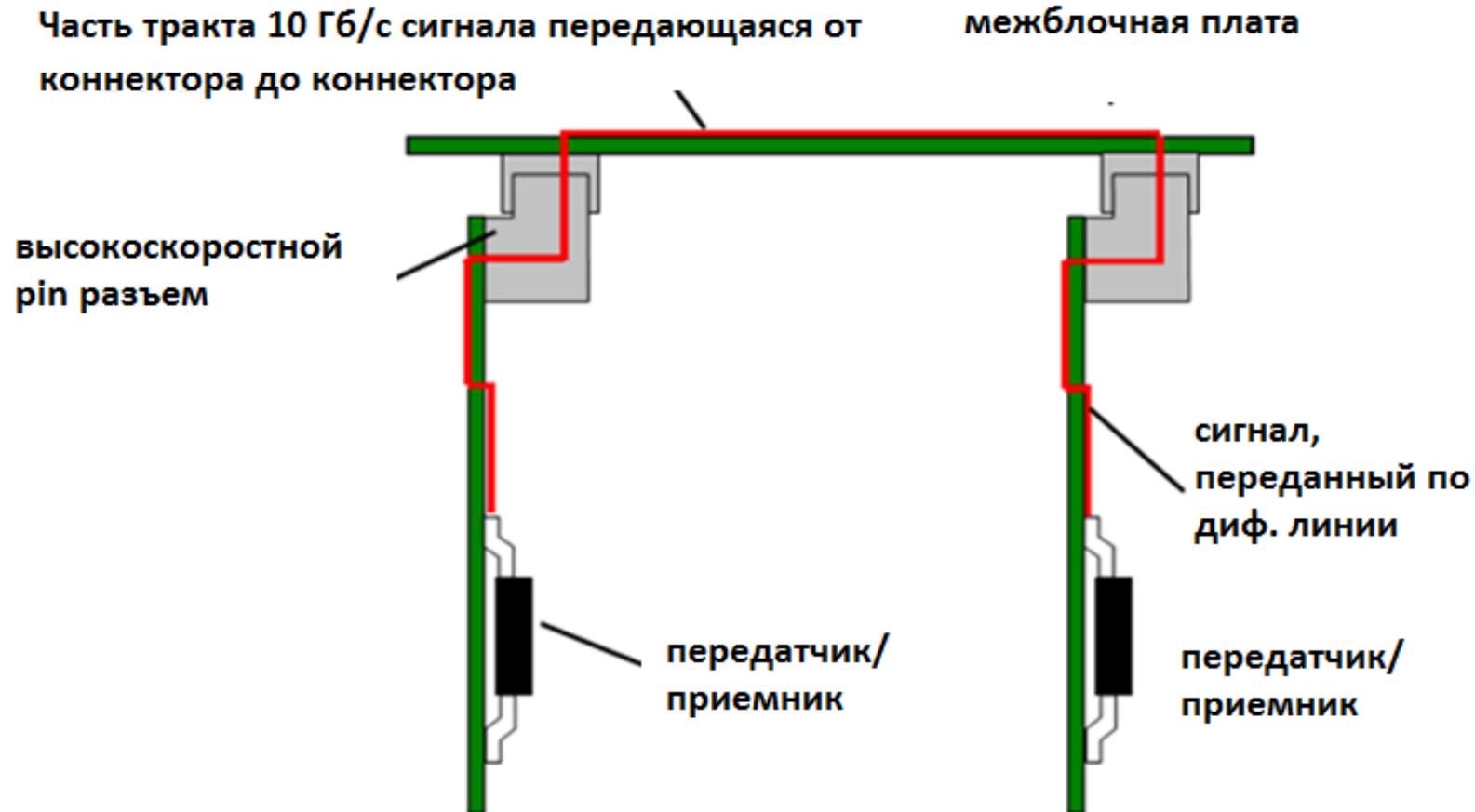


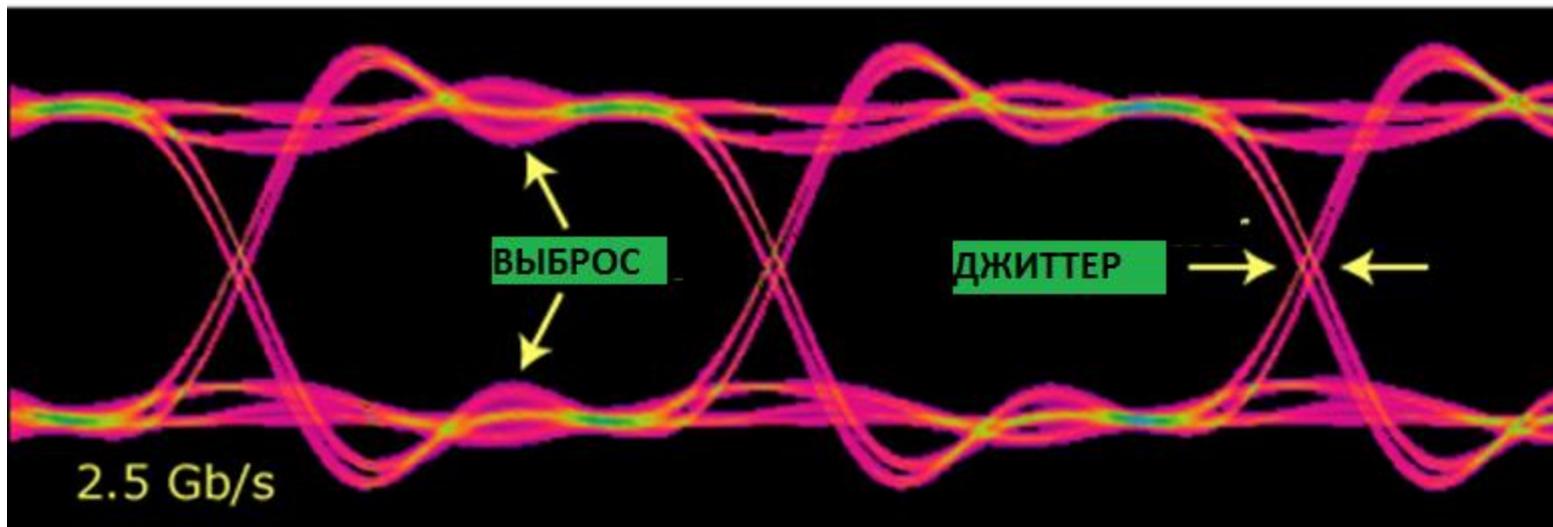
рисунок показывает ключевые моменты, на которые следует обращать внимание при увеличении скоростей передачи данных

- Качество линий передачи становится критическим на высоких скоростях
- Анализ *IP* становится частью измерения целостности сигнала высокоскоростных устройств вместе с *джиттером*

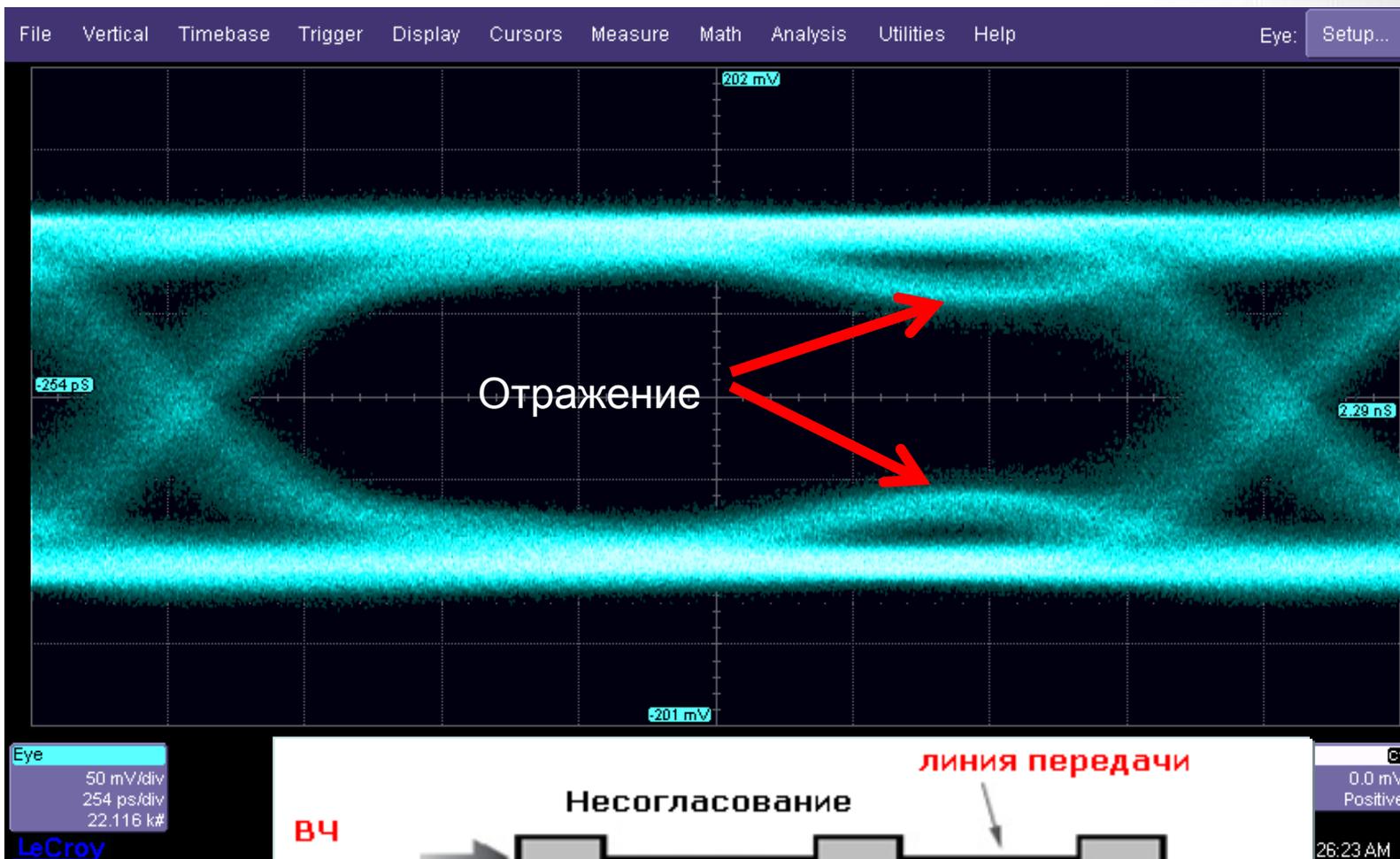
Основные проблемы целостности сигнала



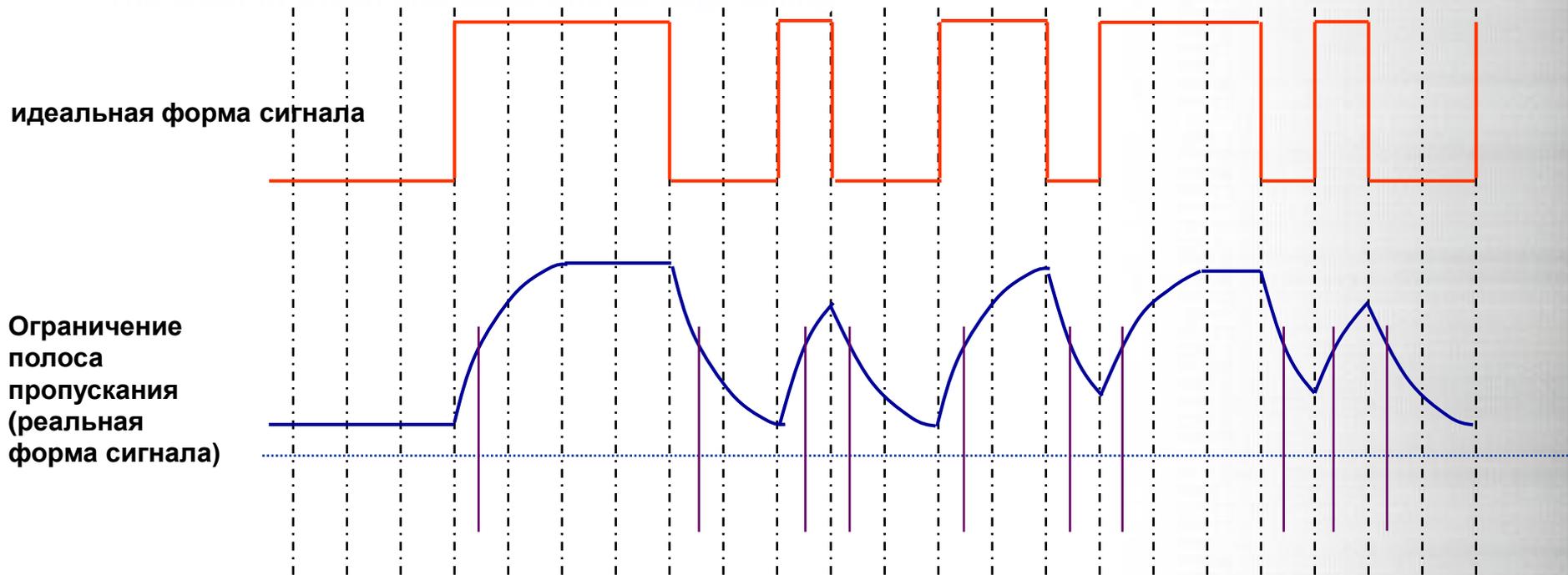
Основные проблемы целостности сигнала



Отражения



Как межсимвольная интерференция создает джиттер в системе



- линии передачи и электронные компоненты, которые служат передатчиками и приемниками, имеют ограниченную полосу частот. Это приводит к тому, что фронты сигнала становятся не идеальными. Первый бит после переключения полярности может не достигнуть нужной амплитуды в заданный промежуток времени. Для этого некоторые системы используют «предыскажения», которые делают фронты сигнала более крутыми.

Как межсимвольная интерференция создает джиттер в системе

Поток данных

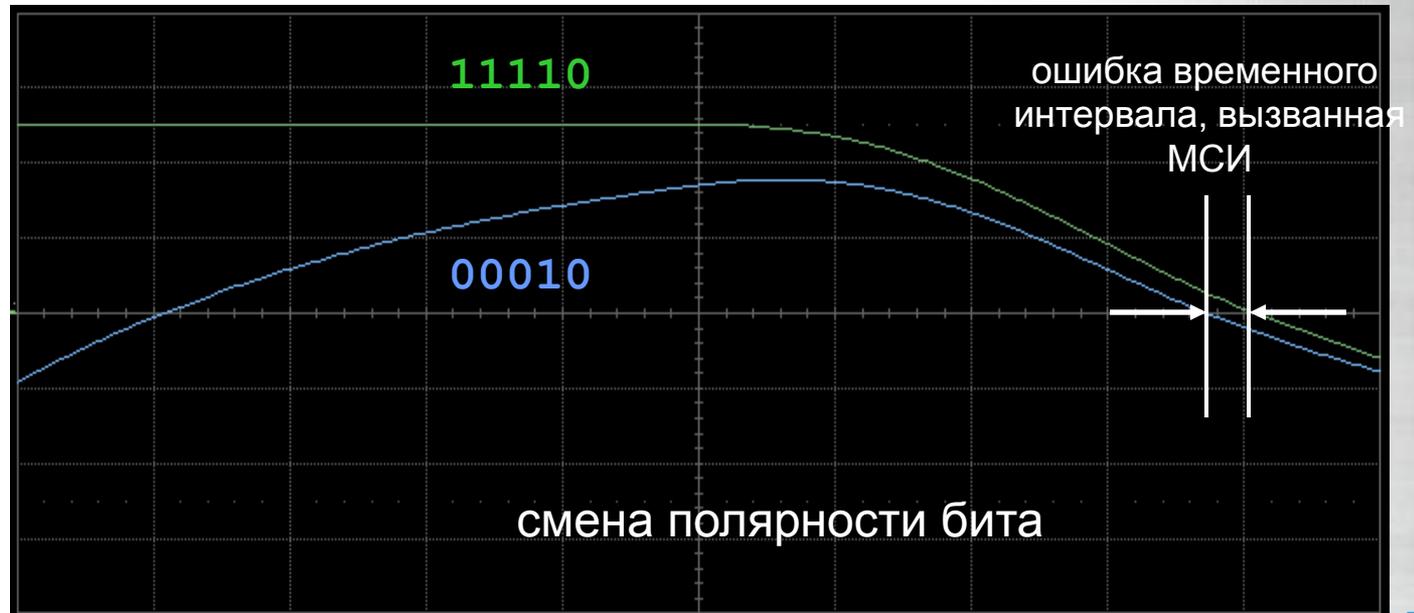
=

```
0100101101110101000010101111010101010001010110  
1010010101010101011001101110010111110100101001010  
01001111001001001001010101011010010101011111101  
0010010010110100100100101001100010
```

есть порядок бит, при котором возникает ошибка временного интервала при переключении полярности.

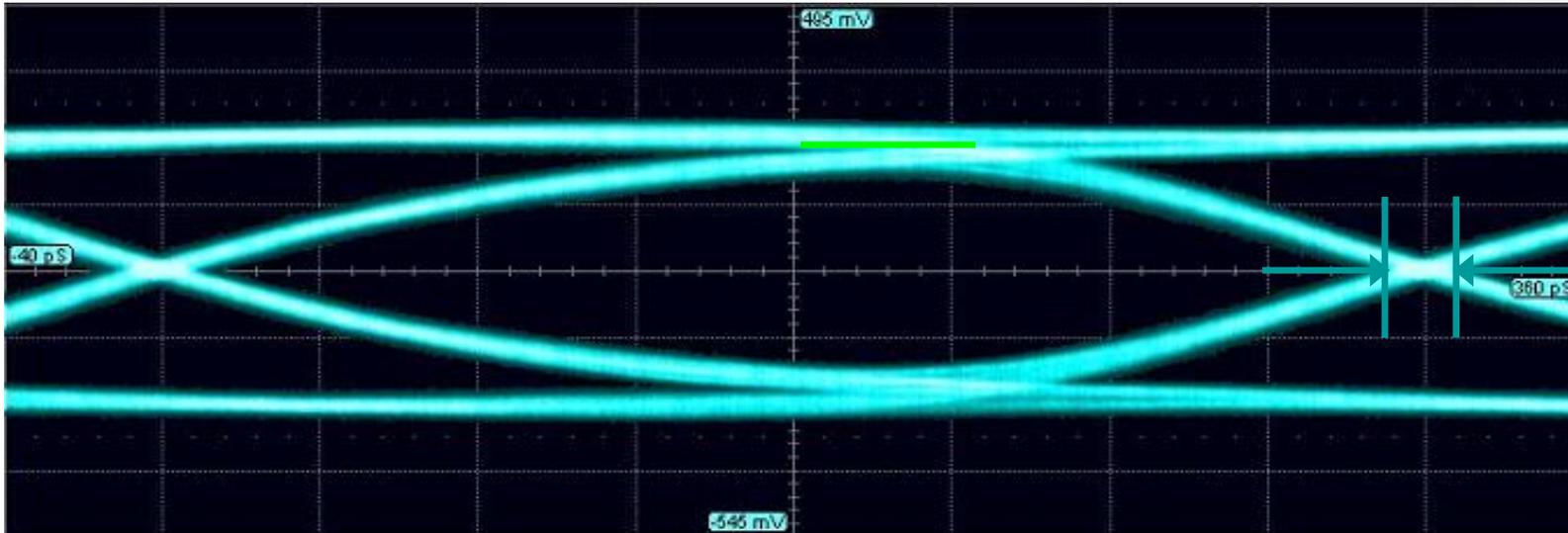
Рассмотрим шаблон 00010 и 11110

Переход 1->0 в последовательности 00010 и 11110 приводит к разному результату при достижении порогового уровня

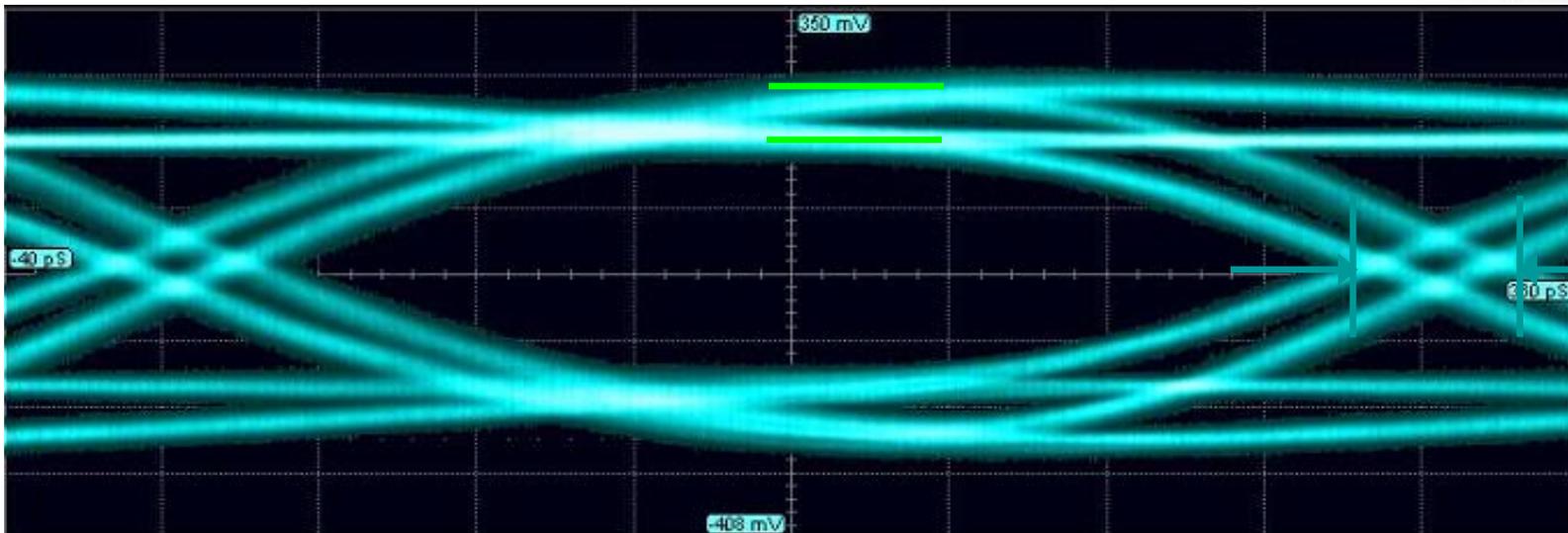


Межсимвольная интерференция (МСИ)

это основная причина детерминированного джиттера



3.125 Гбит/с
NRZ-сигнал
без МСИ



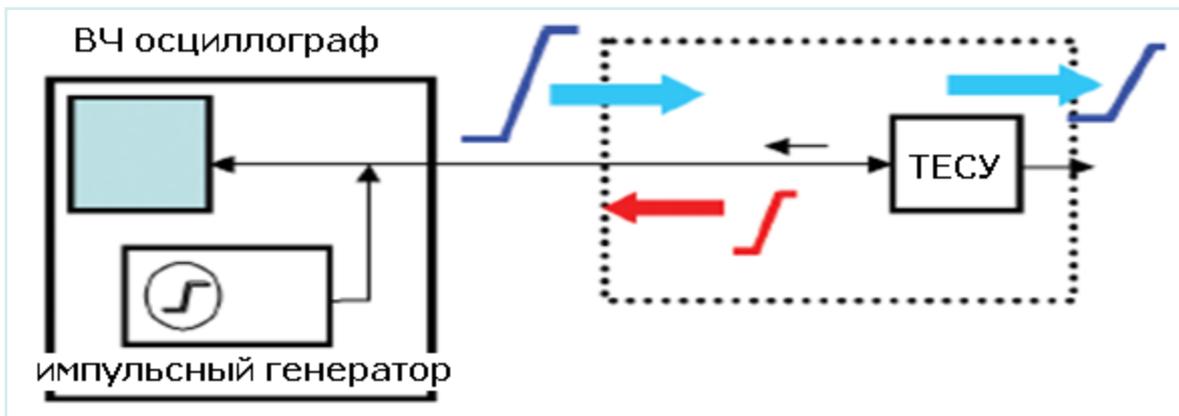
3.125
Гбит/с
NRZ-
сигнал
с МСИ



Основы импульсной рефлектометрии

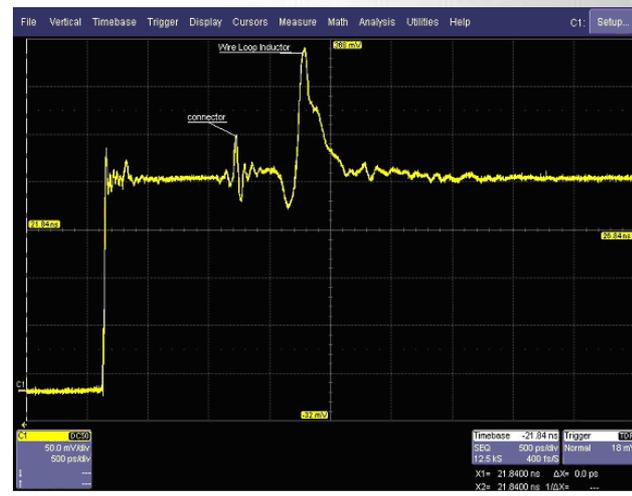
Что такое ИР

ИР- Импульсная Рефлектометрия (ИР)



❖ Это измерение отражение во временной области

- ✓ Импульсный генератор используется для создания импульса возмущения (стимулятор)
- ✓ Отражение напряжения от тестируемого устройства (ТЕСУ) измеряются осциллографом на совпадение напряжения тестирования
- ✓ Форма измеренного отраженного сигнала помогает определить характер цепи и расположение неоднородностей



Time

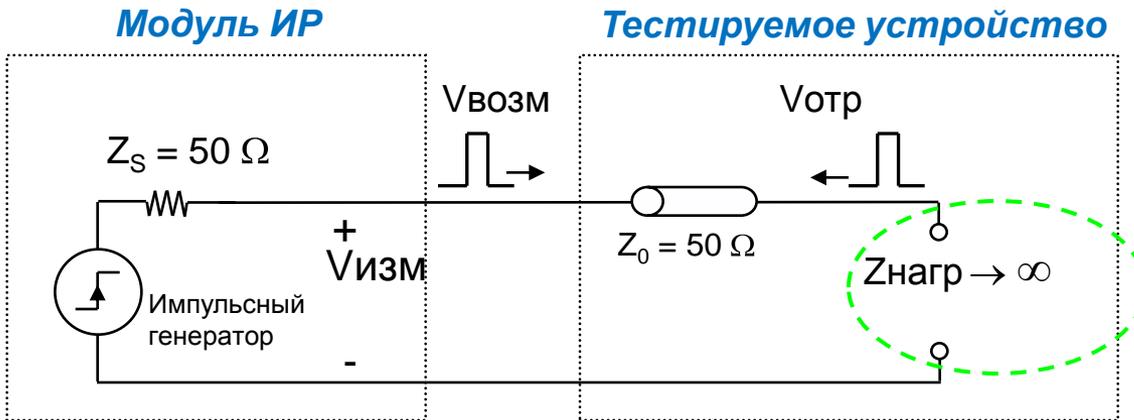
≈



❖ ИР измеряет *Неоднородности*, что означает отражение и расстояние до него

Холостой Ход (Zнагр $\rightarrow \infty$)

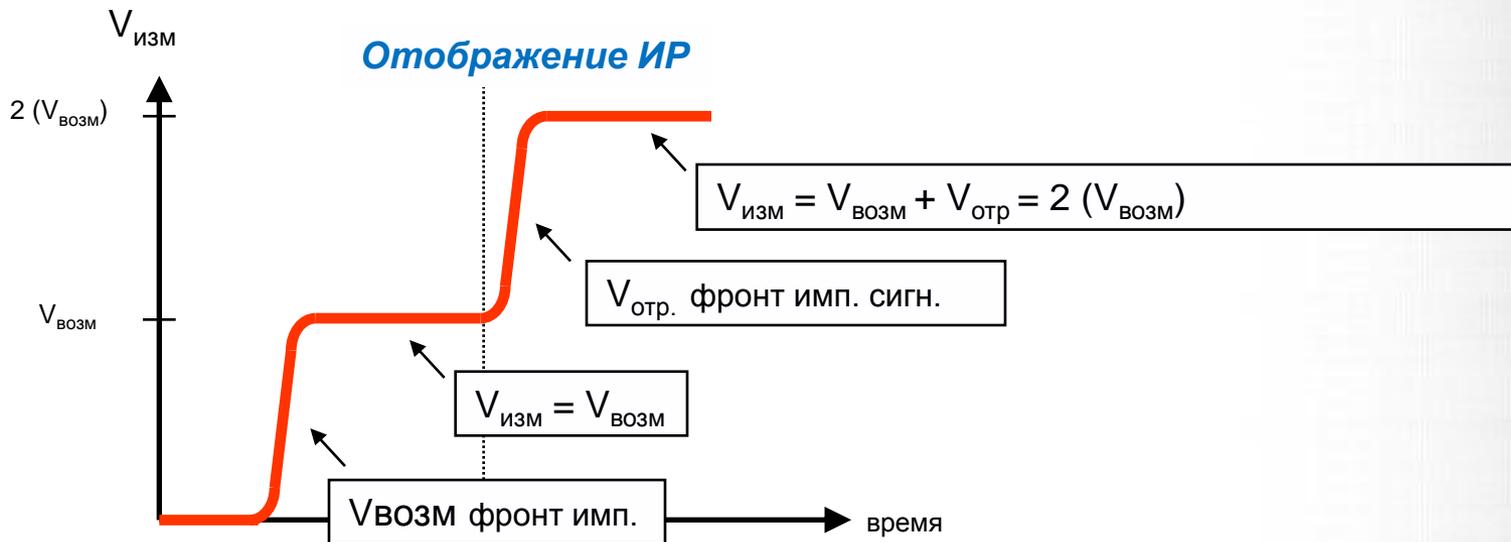
Пример ИР



Определение $V_{\text{отр}}$:

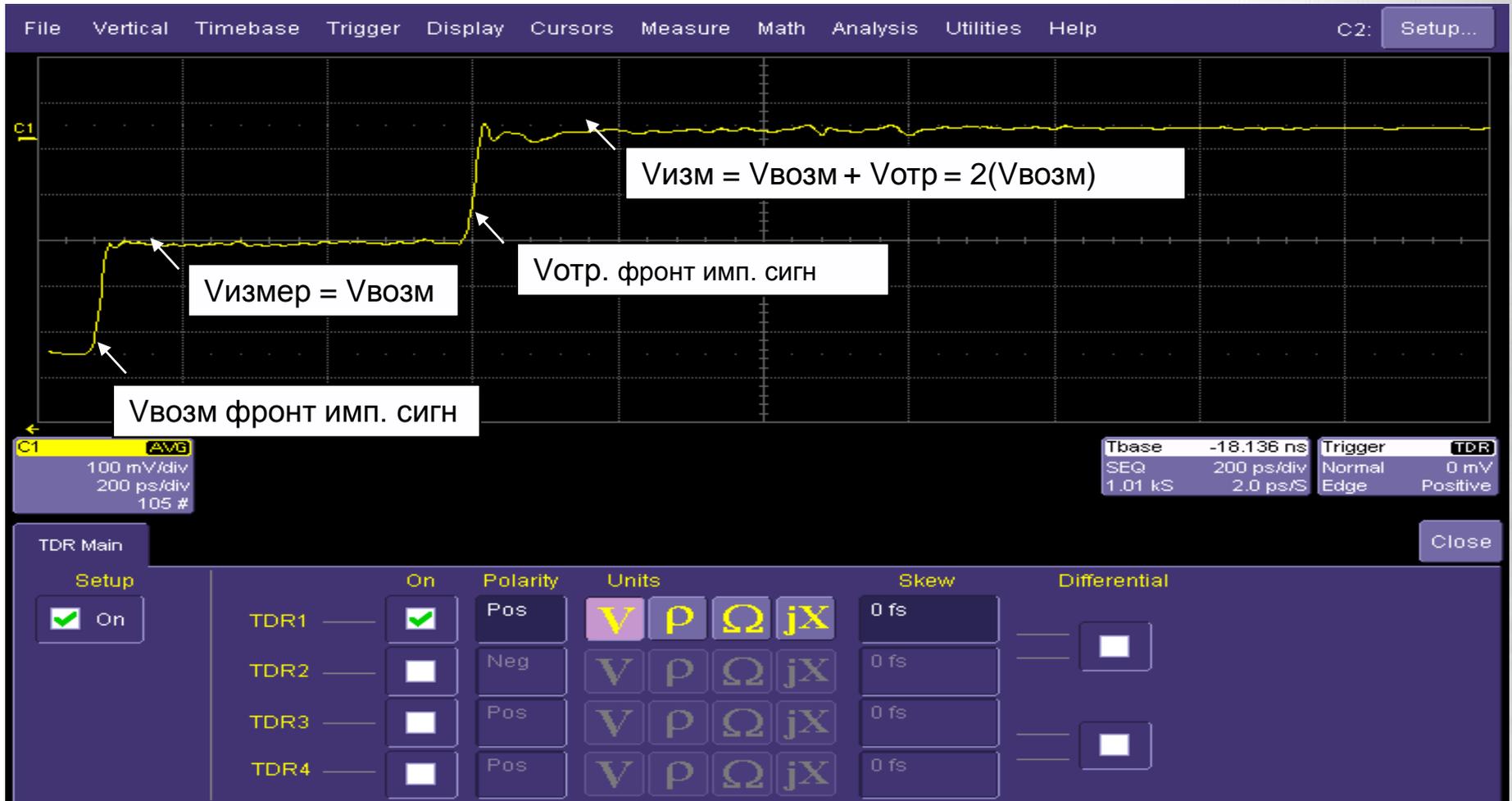
$$V_{\text{отр}} = V_{\text{возм}} \left(\frac{Z_{\text{нагр}} - Z_0}{Z_{\text{нагр}} + Z_0} \right)$$

$$Z_{\text{нагр}} \rightarrow \infty, \quad \therefore V_{\text{отр}} = V_{\text{возм}}$$



Холостой Ход (Zнагр $\rightarrow \infty$)

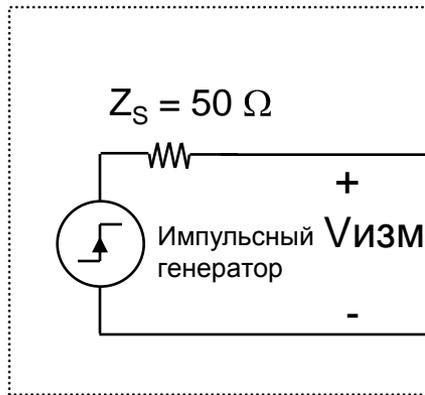
Пример ИР



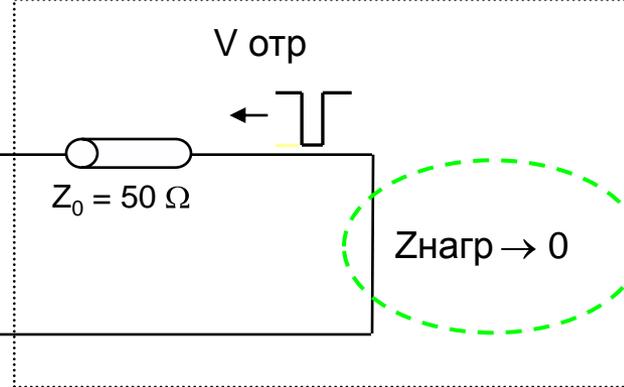
Короткое замыкание ($Z_{нагр} = 0$)

Пример ИР

Модуль ИР



Тестируемое устройство

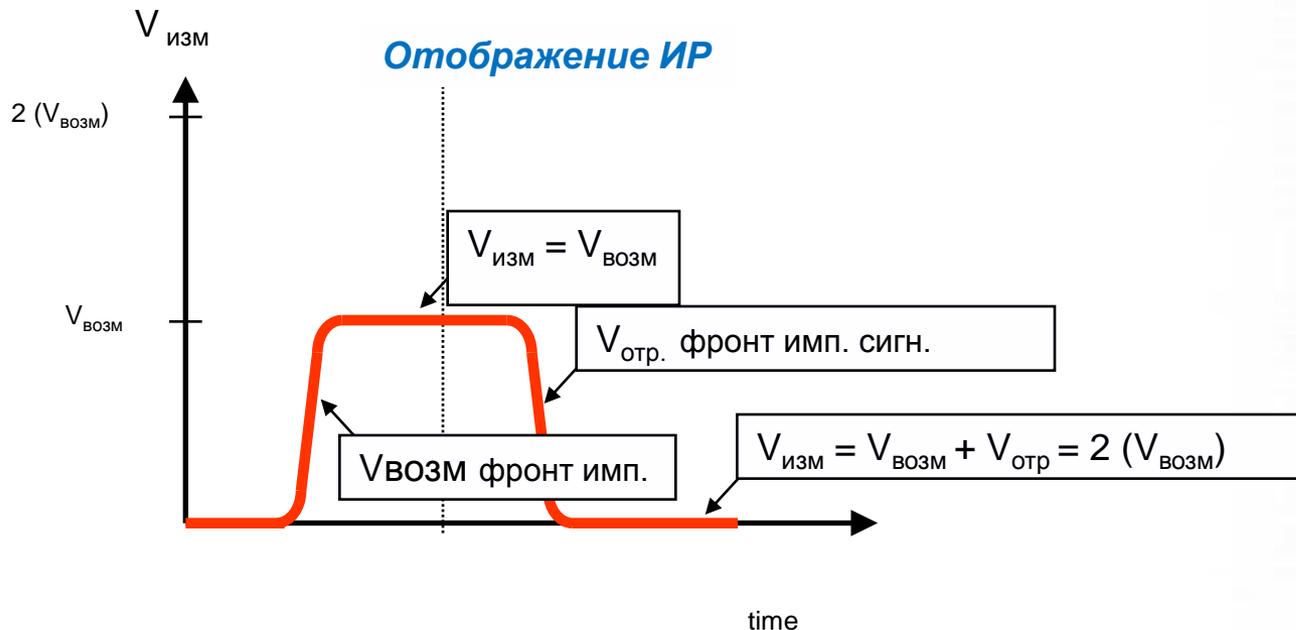


Определение $V_{отр}$:

$$V_{отр} = V_{возм} \left(\frac{Z_{нагр} - Z_0}{Z_{нагр} + Z_0} \right)$$

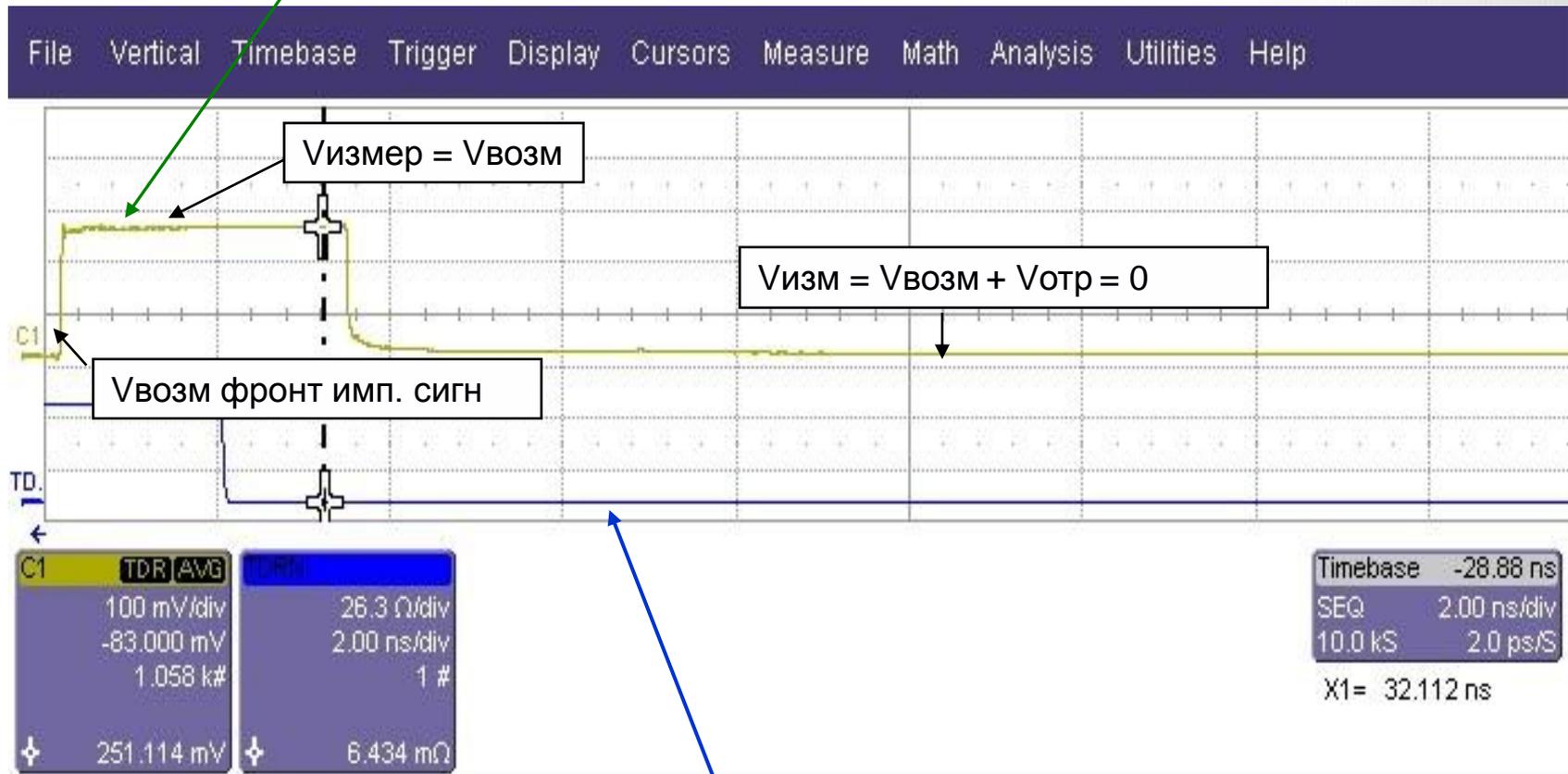
$$Z_{нагр} \rightarrow 0, \quad \therefore V_{отр} = V_{возм}$$

Отображение ИР



Короткое замыкание ($Z_{нагр} = 0$) Пример ИР

Необработанная кривая



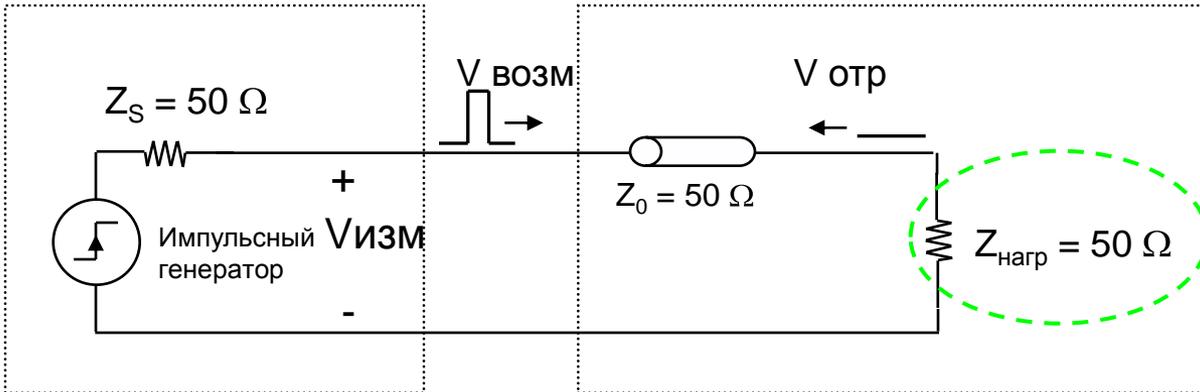
Выравненная кривая

Согласованная нагрузка ($Z_{\text{нагр}} = 500\text{м}$)

Пример ИР

Модуль ИР

Тестируемое устройство



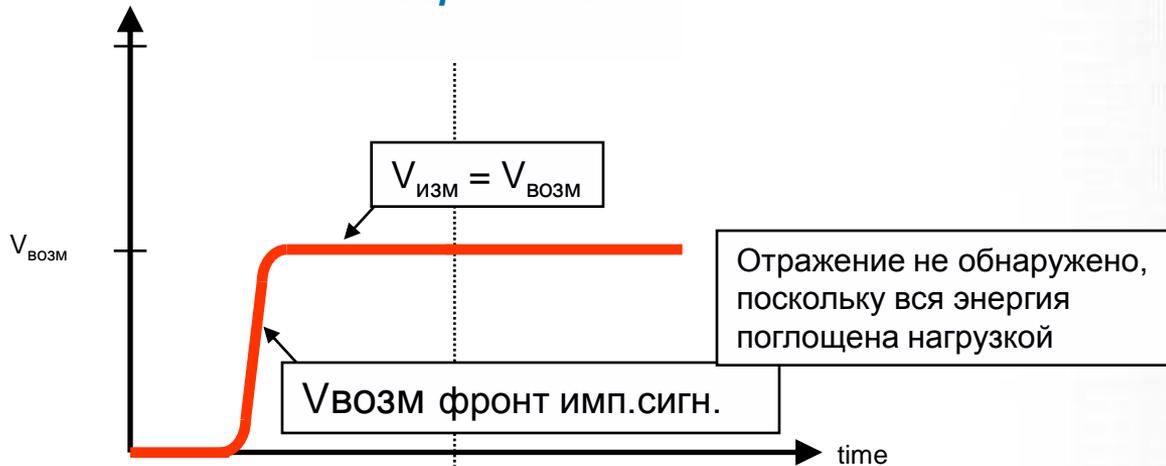
Определение $V_{\text{отр}}$:

$$V_{\text{отр}} = V_{\text{возм}} \left(\frac{Z_{\text{нагр}} - Z_0}{Z_{\text{нагр}} + Z_0} \right)$$

$$Z_{\text{нагр}} = Z_0, \quad \therefore V_{\text{отр}} = 0$$

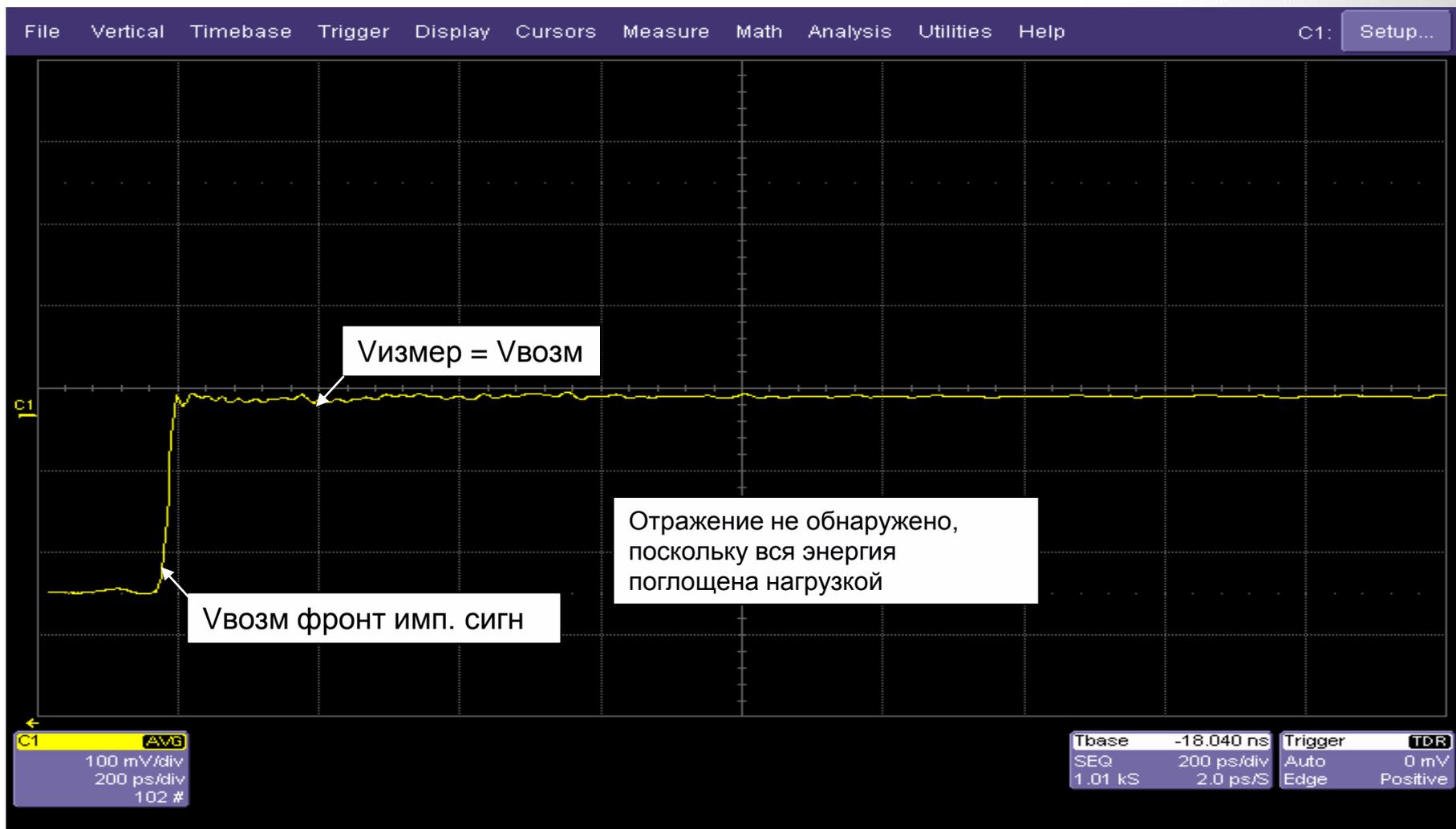
$V_{\text{ИЗМ}}$

Отображение ИР



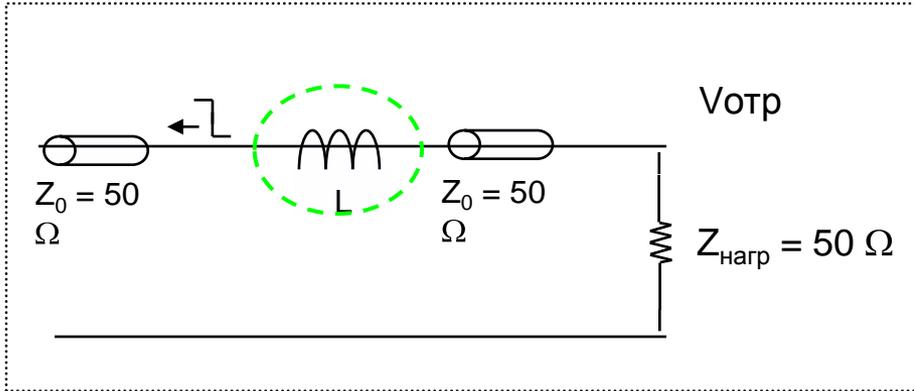
Согласованная нагрузка

Пример ИР

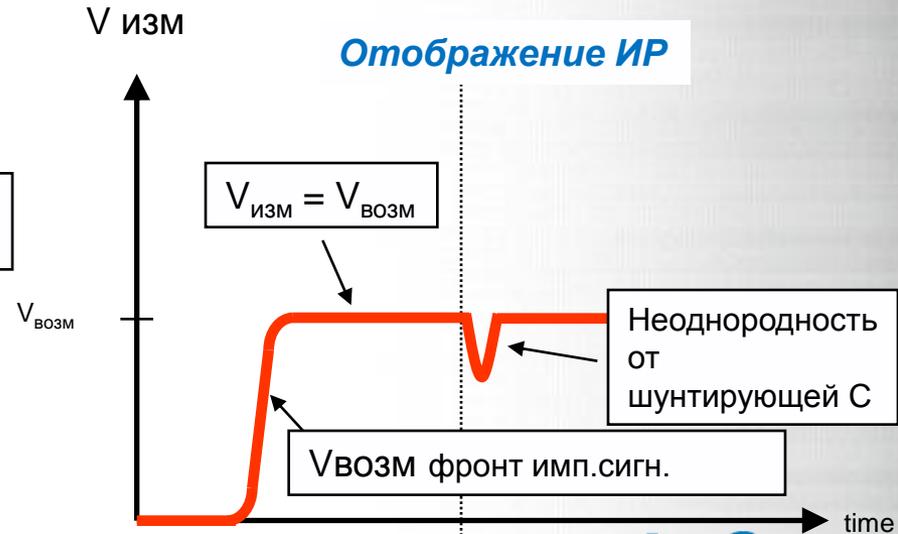
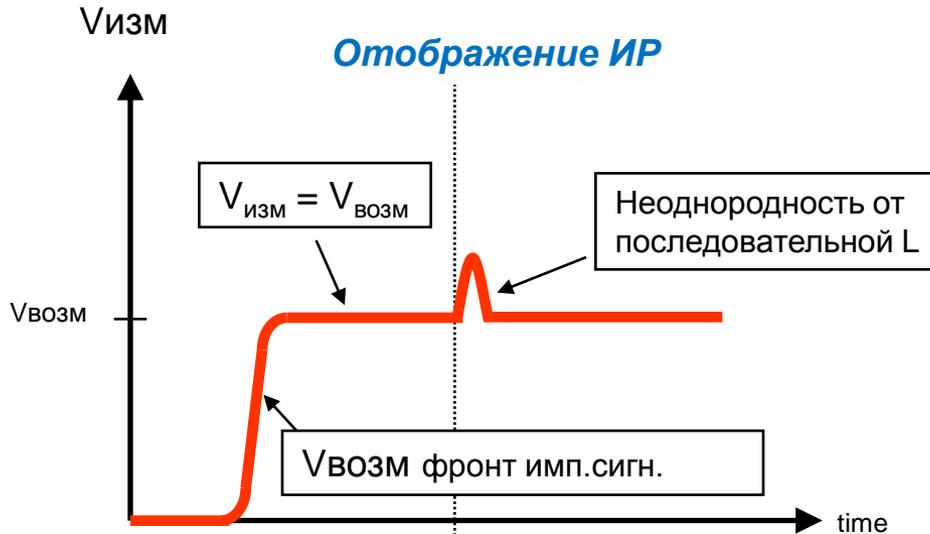
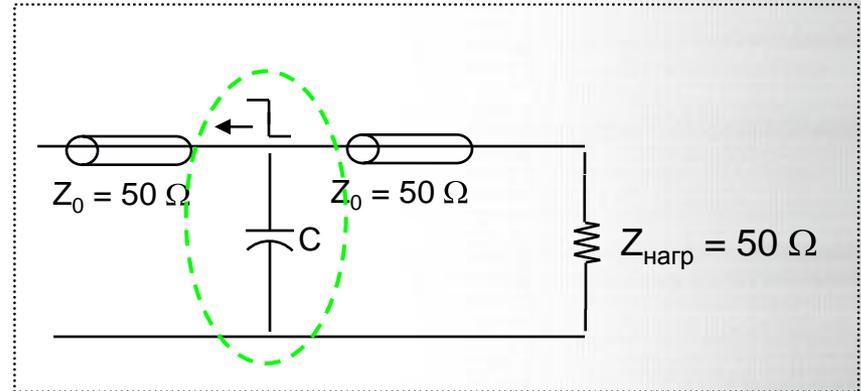


Индуктивная (L) и Емкостная (C) нагрузки

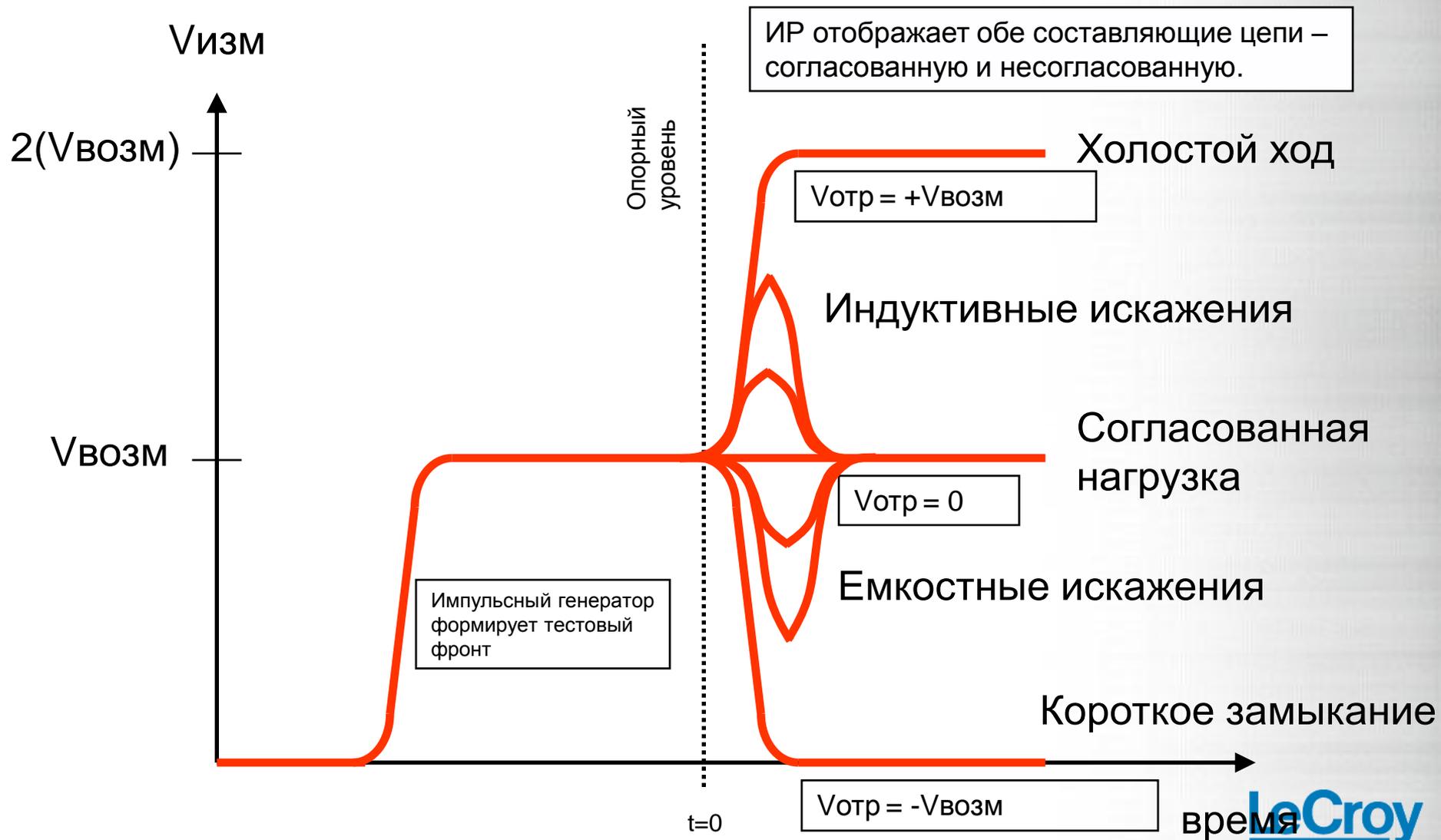
Тестируемое устройство



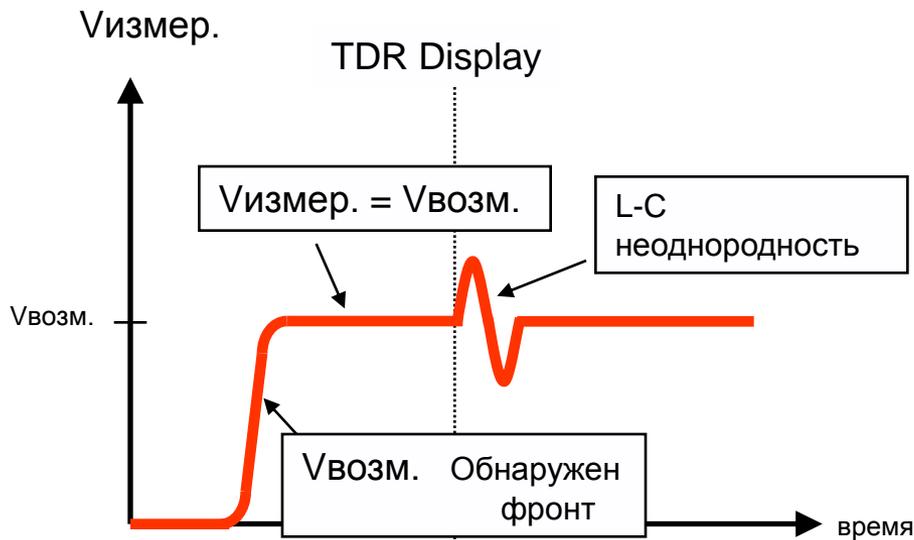
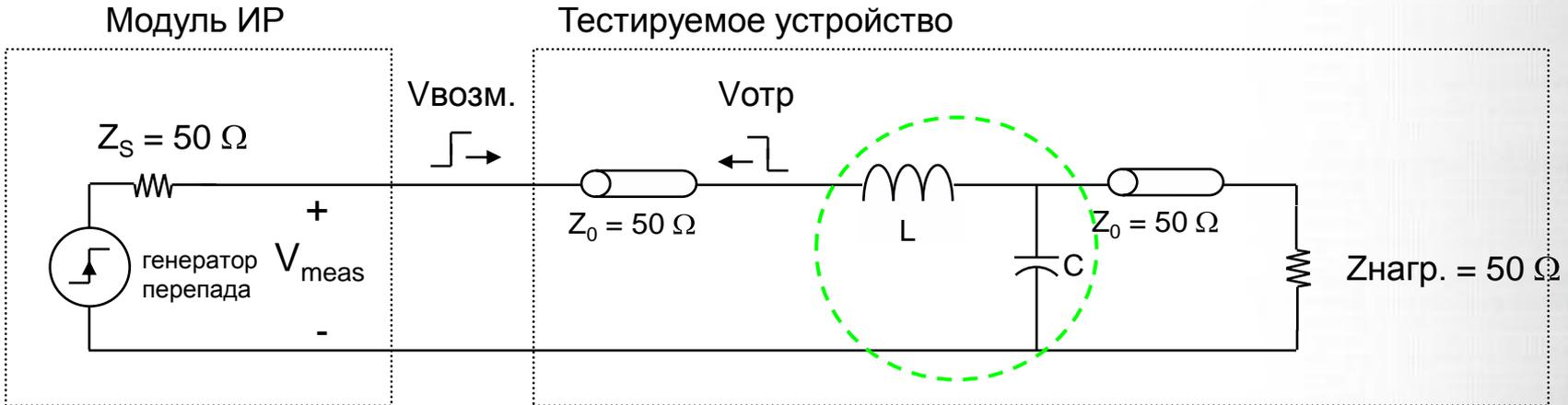
Тестируемое устройство



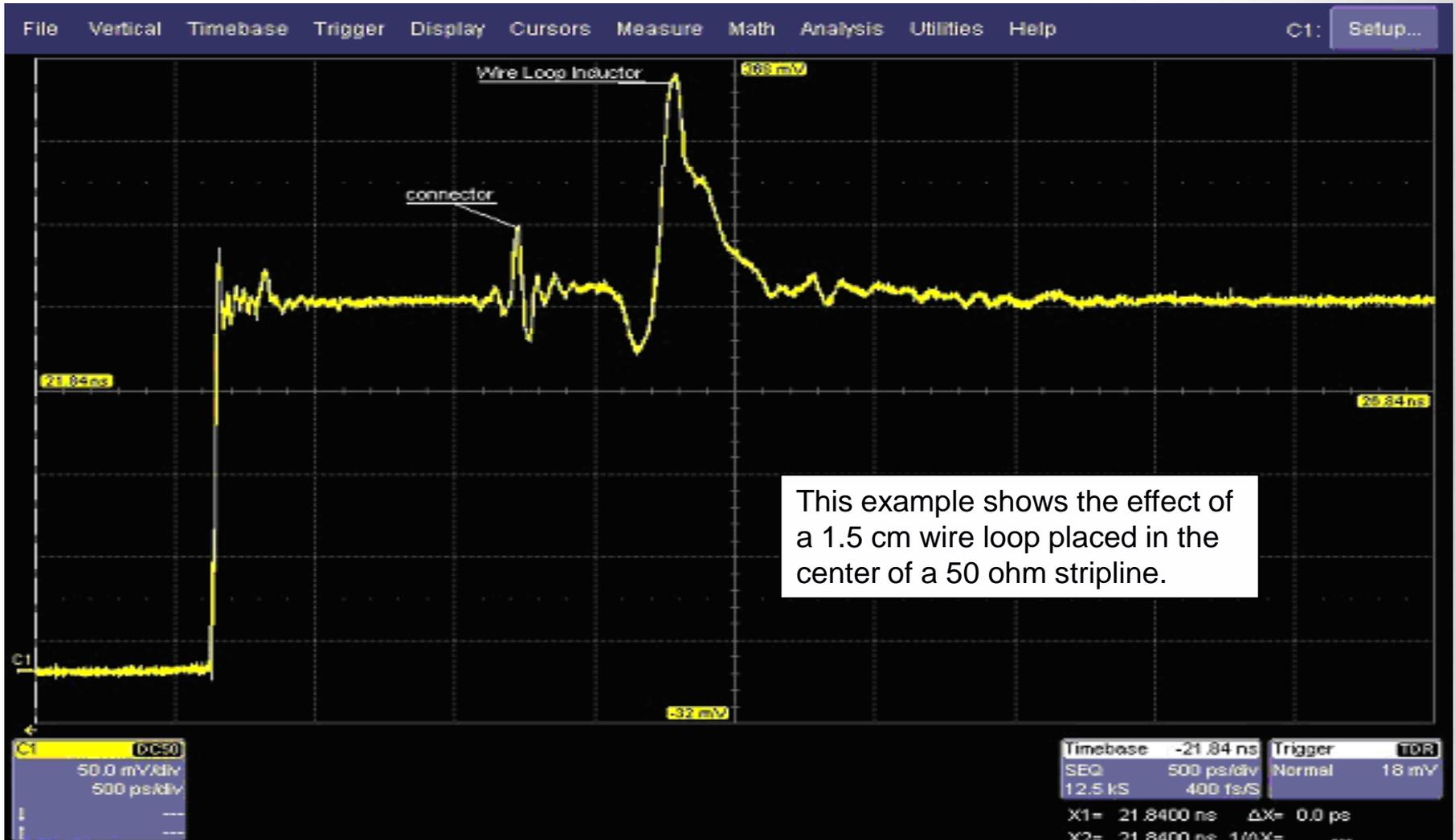
Понимание отображения ИР



Индуктивные (L) и Емкостные (C) неоднородности



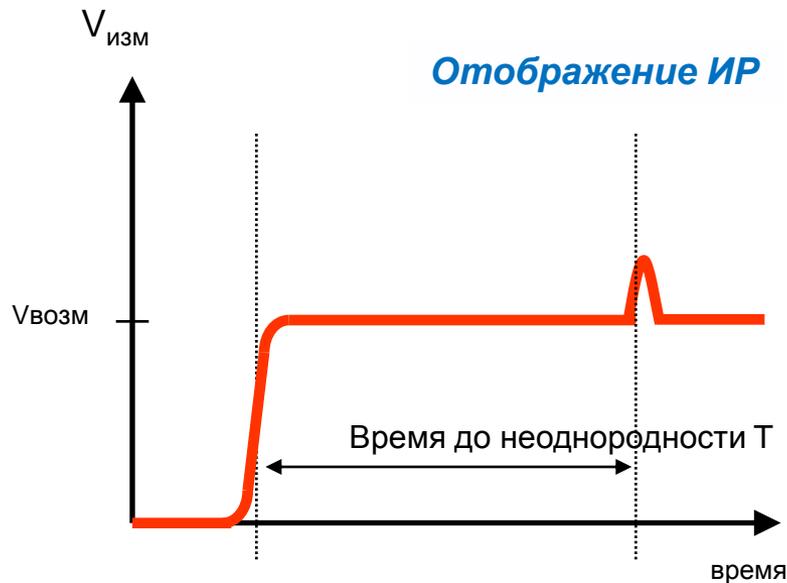
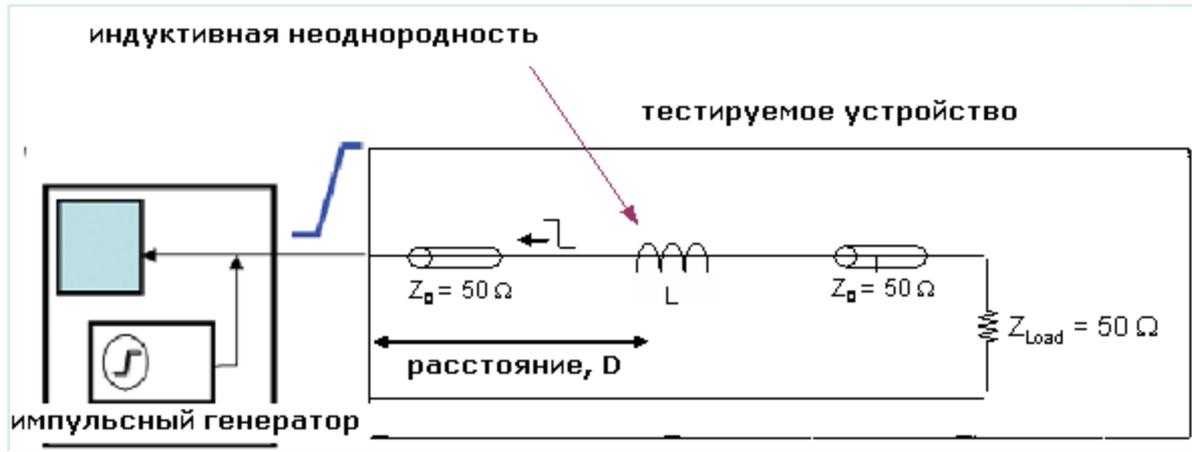
Последовательная индуктивность (L)



Шунтирующая емкость (С)



Определение места нахождения



Физически расстояние до неоднородности может быть определено как:

$$D = 0.5 * (T) * (v_p)$$

D = Физическое расстояние до неоднородности
 T = Время до неоднородности от начала импульса возмущения до точки неоднородности и обратно (задержка обратного хода)
 v_p = скорость распространения (свойство материала)

Многоступенчатое сопротивление

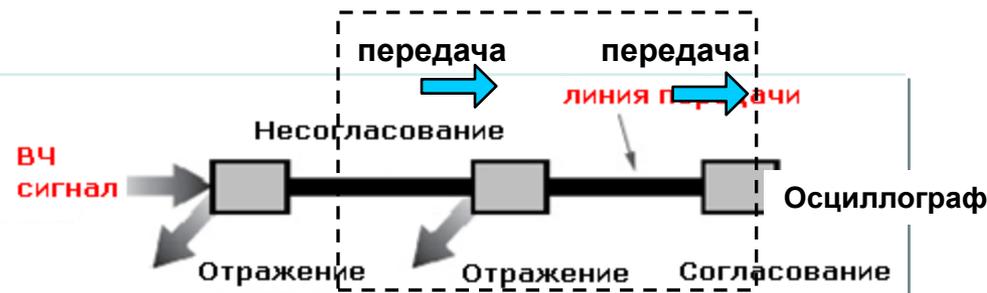
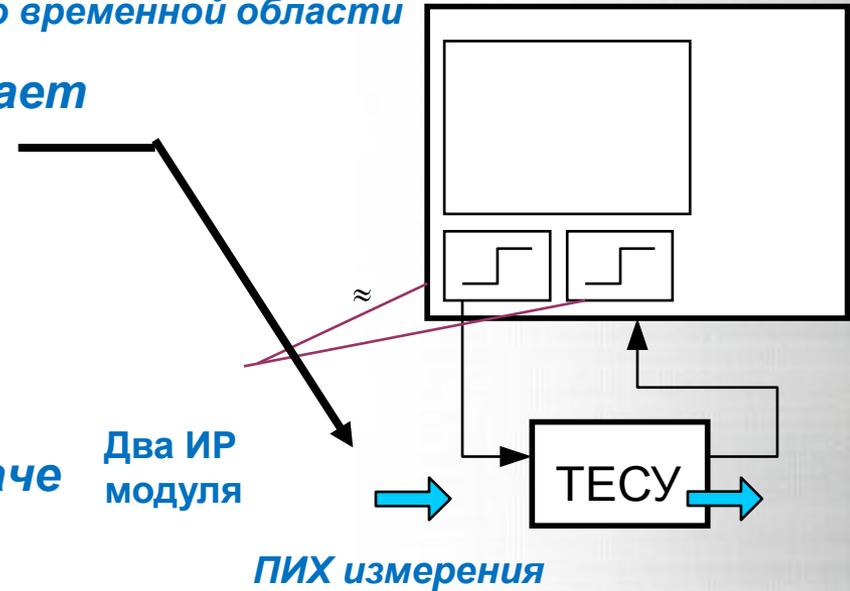


Что такое передаточная импульсная характеристика

ПИХ – Передаточная Импульсная Характеристика (ПИХ)

❖ это измерения передаточной характеристики во временной области

- ✓ Импульсный генератор обеспечивает формирование возмущающего импульса (стимуляция)
- ✓ Передаточная характеристика тестируемого устройства (ТЕСУ) измеряется осциллографом
- ✓ ПИХ включает потери при передаче
- ✓ Необходимо 2 ИР модуля – один для стимуляции, другой для измерений



→
время

Нормализация АЧХ (калибровка)

❖ АЧХ устройства и разъемов до калибровки

Метод калибровки :

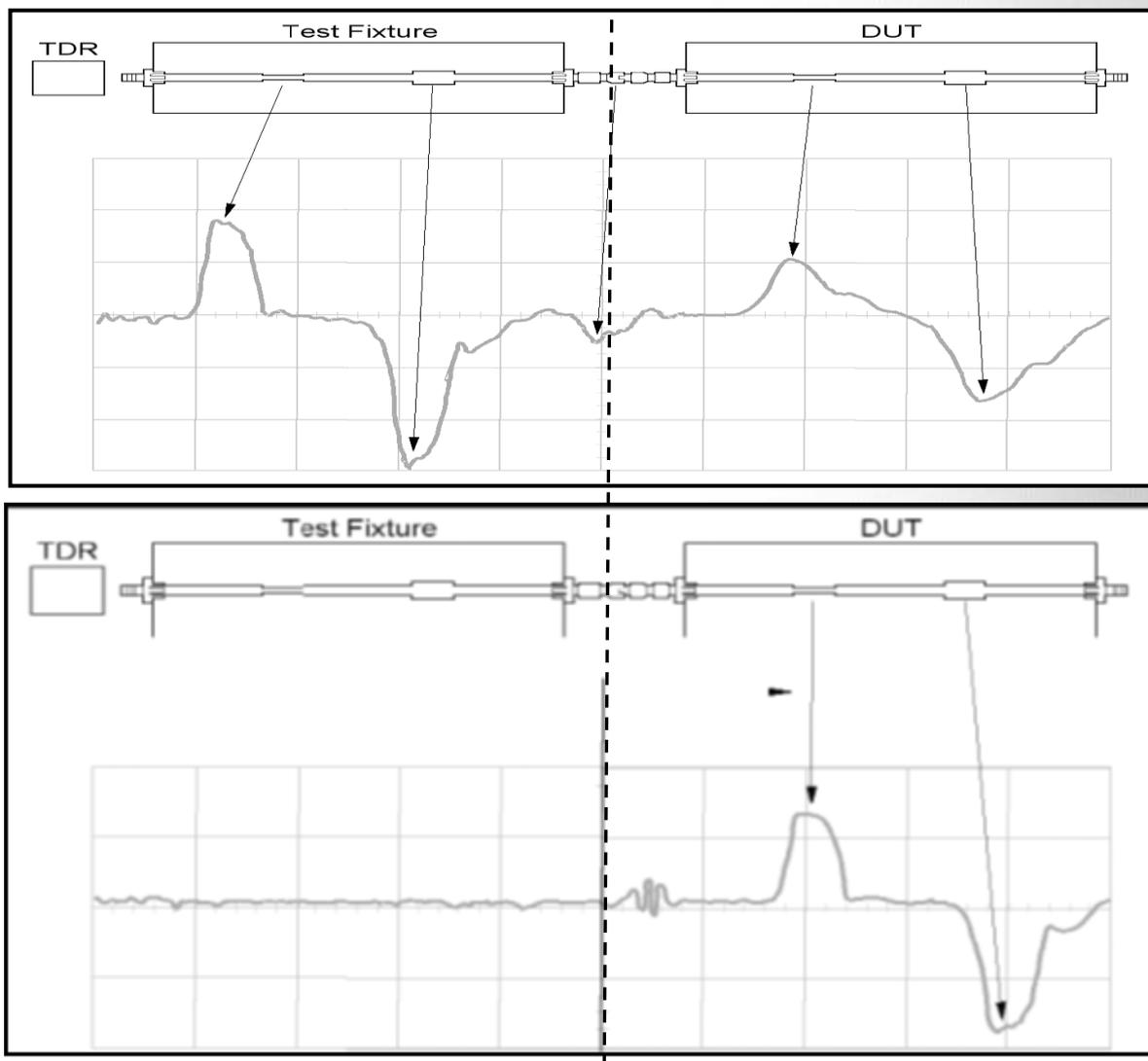
❖ КЗ

Использование двух мер – КЗ и согласованной нагрузки

❖ XX

Использование трех мер – КЗ, XX и согласованной нагрузки

❖ После калибровки – неравномерности АЧХ, вызванные разъемами и линиями передачи скомпенсированы

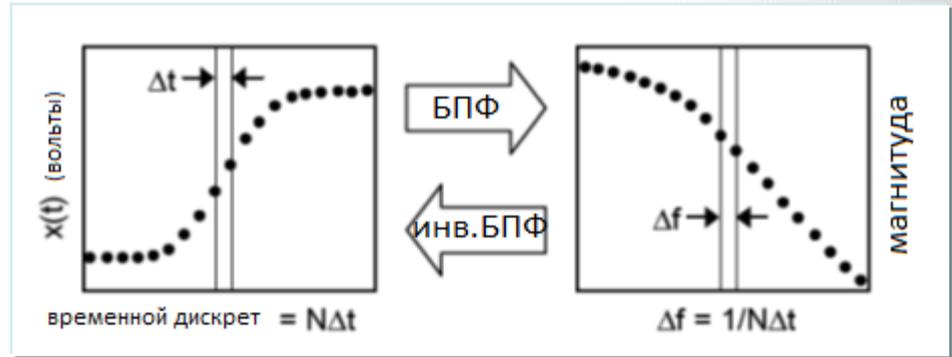


TDR/TDT, векторные анализаторы и измерение S-параметров

✓ TDR/TDT и S-параметры описывают процесс отражения и передачи во временной и частотной области .

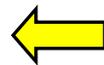
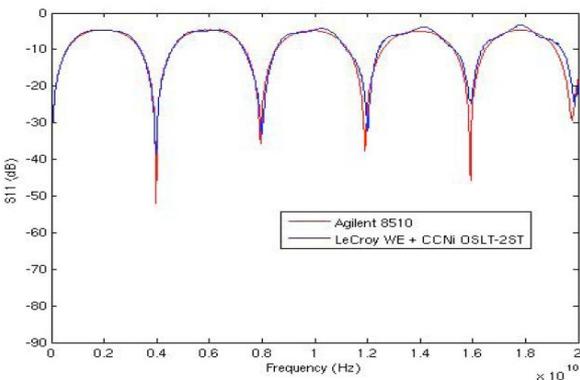
✓ TDR/ TDT измерения могут быть преобразованы в частотный домен для анализа S-параметров.

✓ S-параметры могут быть преобразованы во временной домен для измерения TDR/TDT



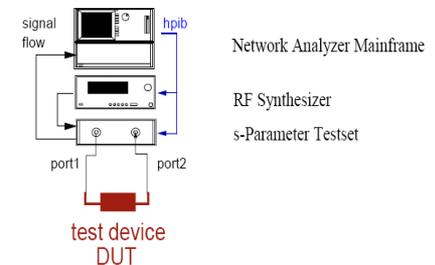
TDR/TDT

S-параметры

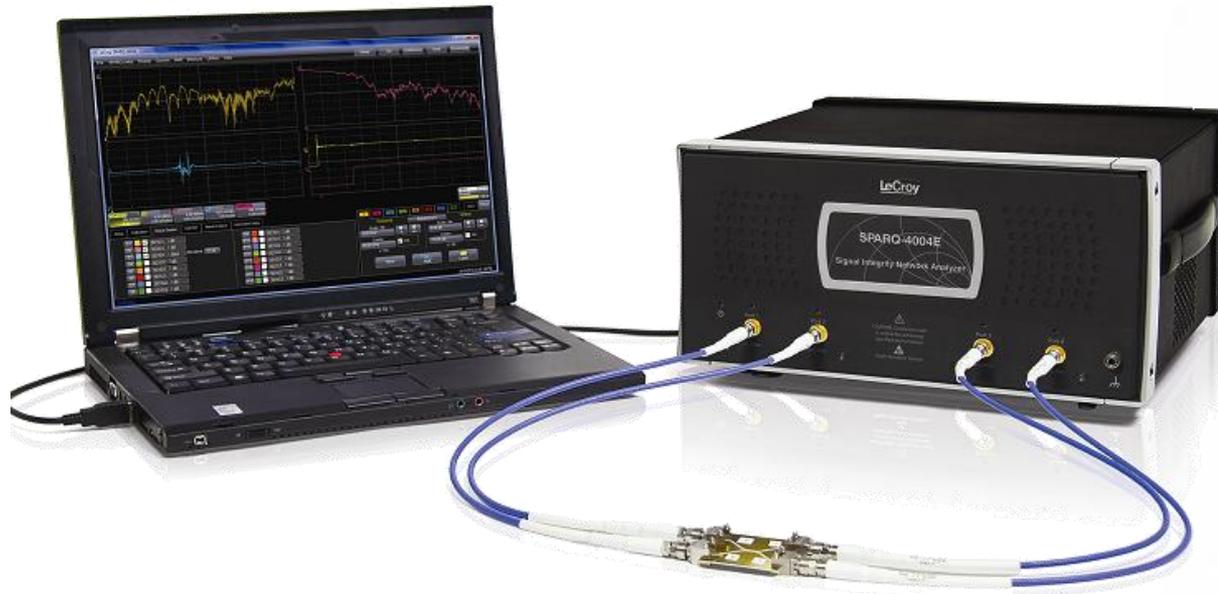


Отражение— корреляция в S_{11}

S-параметры полученные с векторного анализатора цепей и извлеченные из ИР измерений



Анализатор SPARQ (“S-Parameters Quick”)



- **Измеритель S-параметров на принципе импульсной рефлектометрии**
 - частотный диапазон 40 ГГц на 4-х портах
 - встроенный автоматический OSLT (XX; КЗ; СН; МПК)
 - управление всего одной кнопкой
 - низкая цена, по сравнению с векторными анализаторами
 - малое время калибровки и измерения
 - компактные размеры

модели SPARQ

- SPARQ-4004E: 4 порта, 40 ГГц, внутр.калибратор
- SPARQ-4002E: 2 порта, 40 ГГц, внутр.калибратор
- SPARQ-4002M: 2 порта, 40 ГГц, внеш.калибратор

В перспективе будут и модели с большим числом портов

Включает в себя:

- 40 ГГц фазостабильные кабели
- 2.92 мм адаптеры
- специальный ключ, универсальный ключ
- USB накопитель с софтом

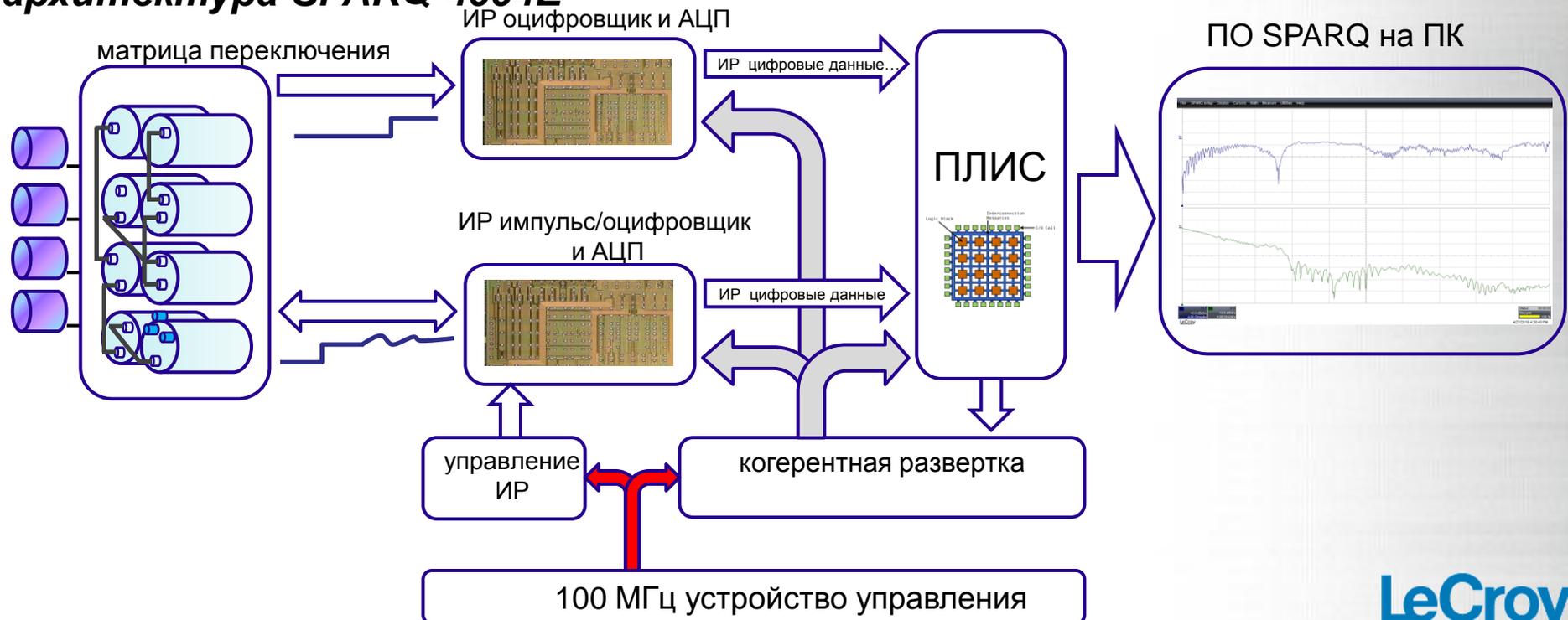


Архитектура SPARQ

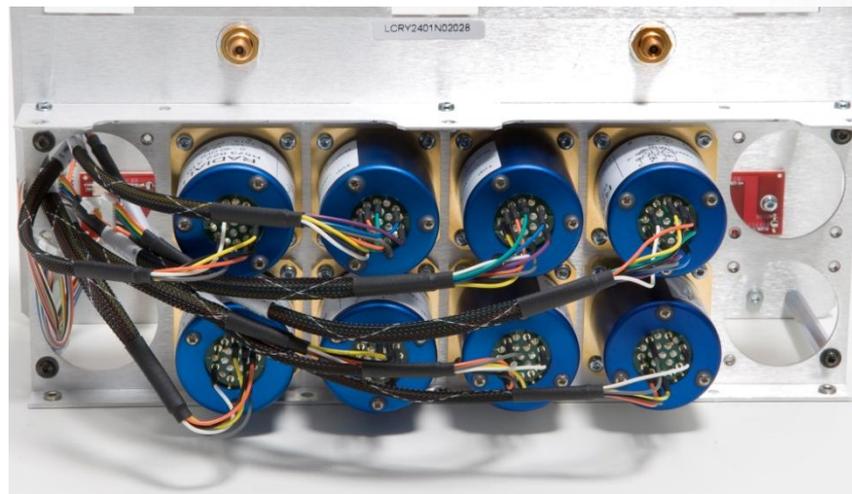
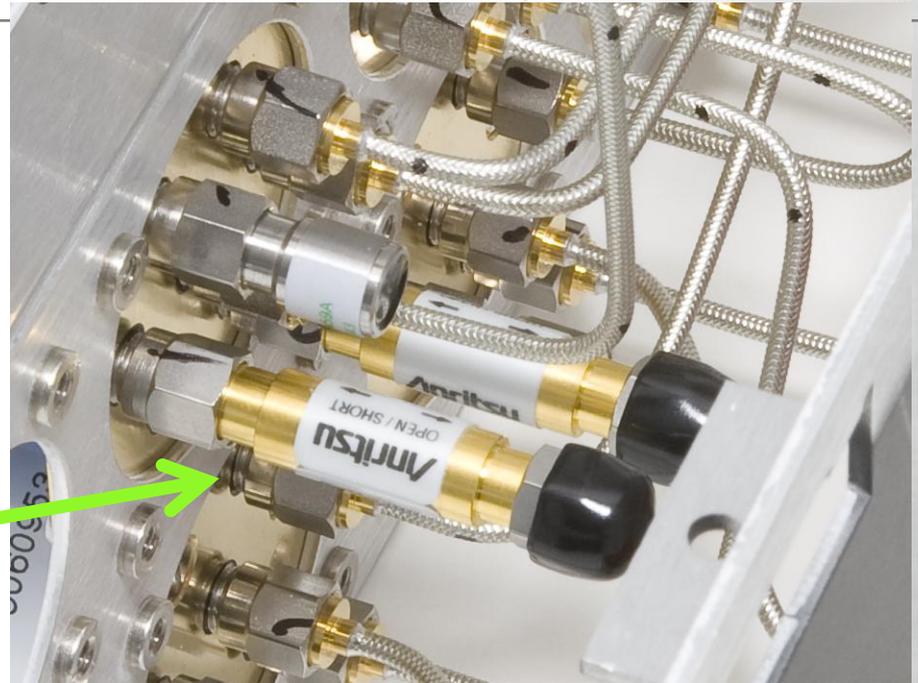
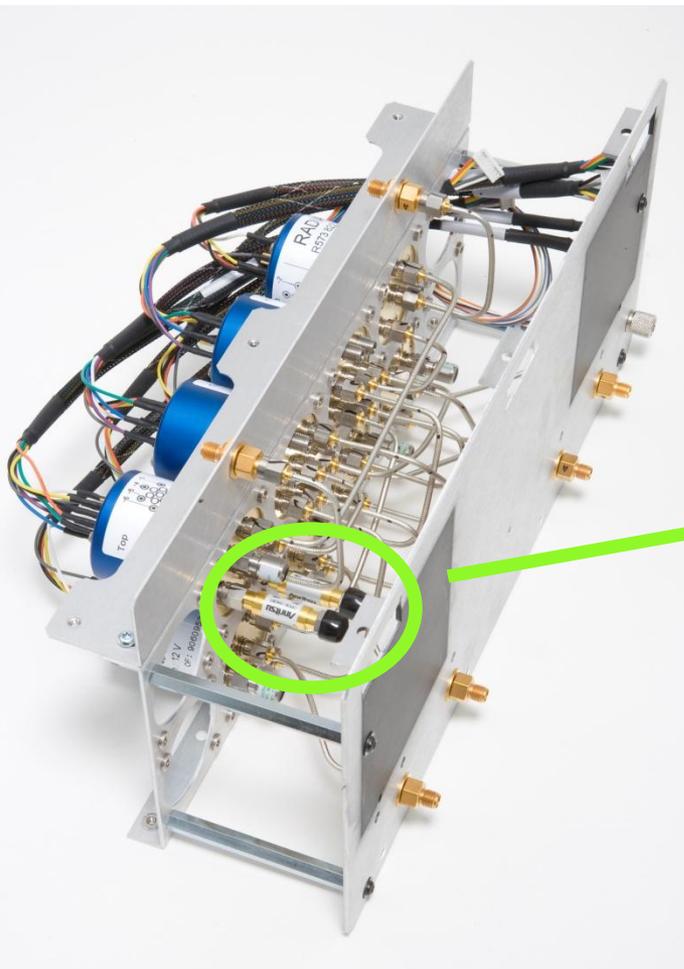
Основан на принципе импульсной рефлектометрии

- система сбора информации использует формирователь с временем нарастания 6 пс
- LeCroy развертка CIS обеспечивает сбор 250 осциллограмм/сек
- 40 ГГц переключатели управляют подключением входного сигнала и калибровочного комплекта
- Алгоритм компенсации обеспечивает получение S-параметров только для измеряемого устройства.

архитектура SPARQ-4004E

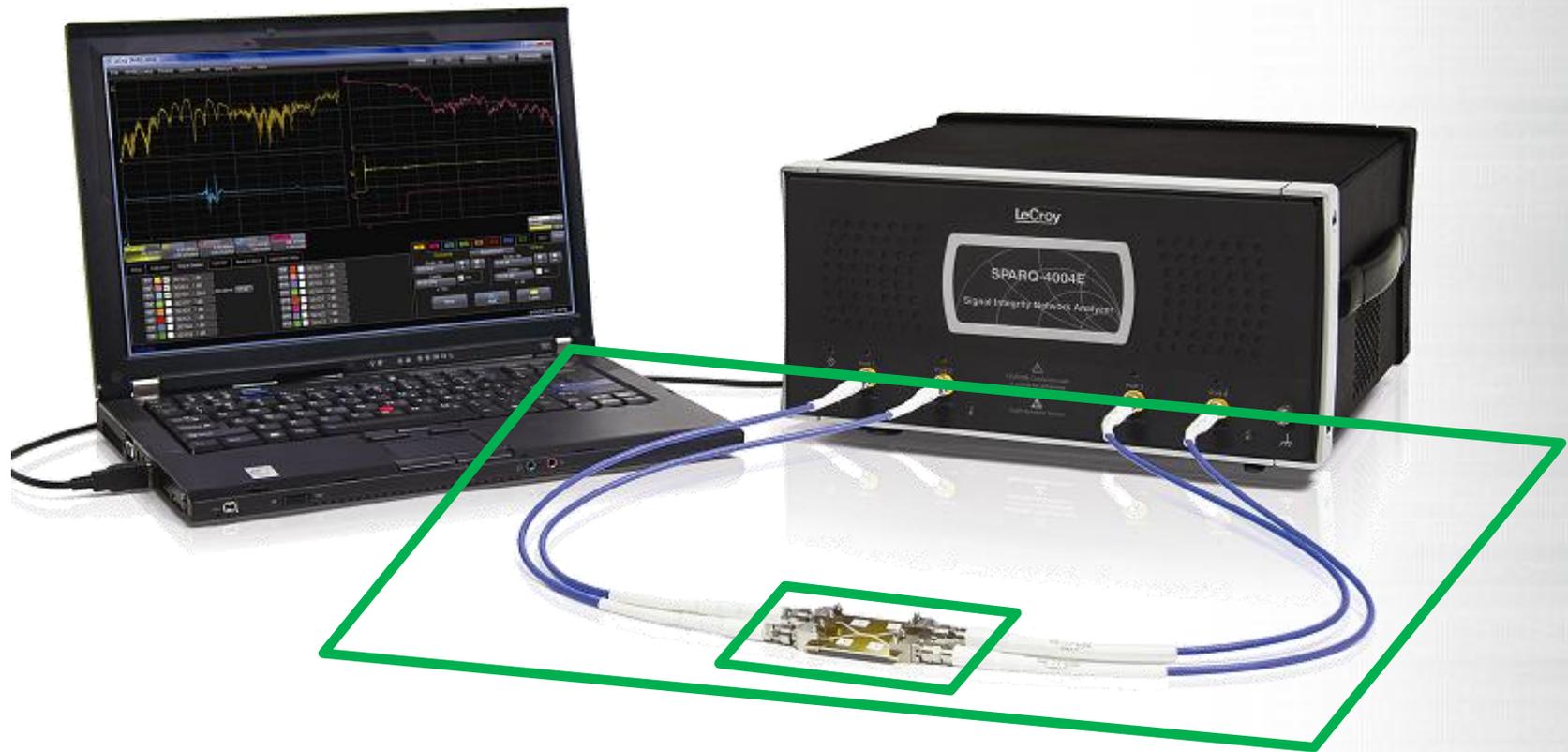


Так это выглядит изнутри 😊



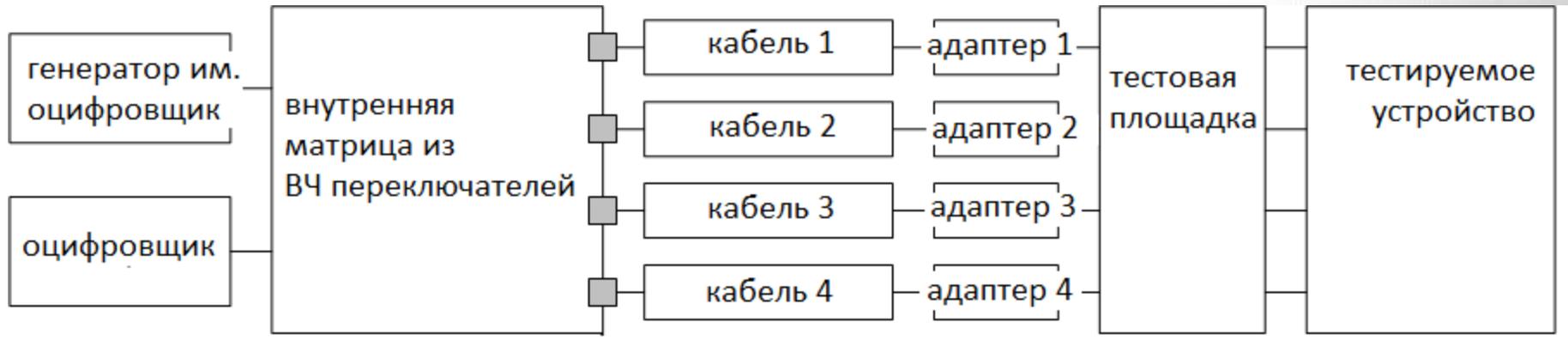
Где образцовые площадки для подключения?

Другими словами, что это за система, которую мы используем для измерения?



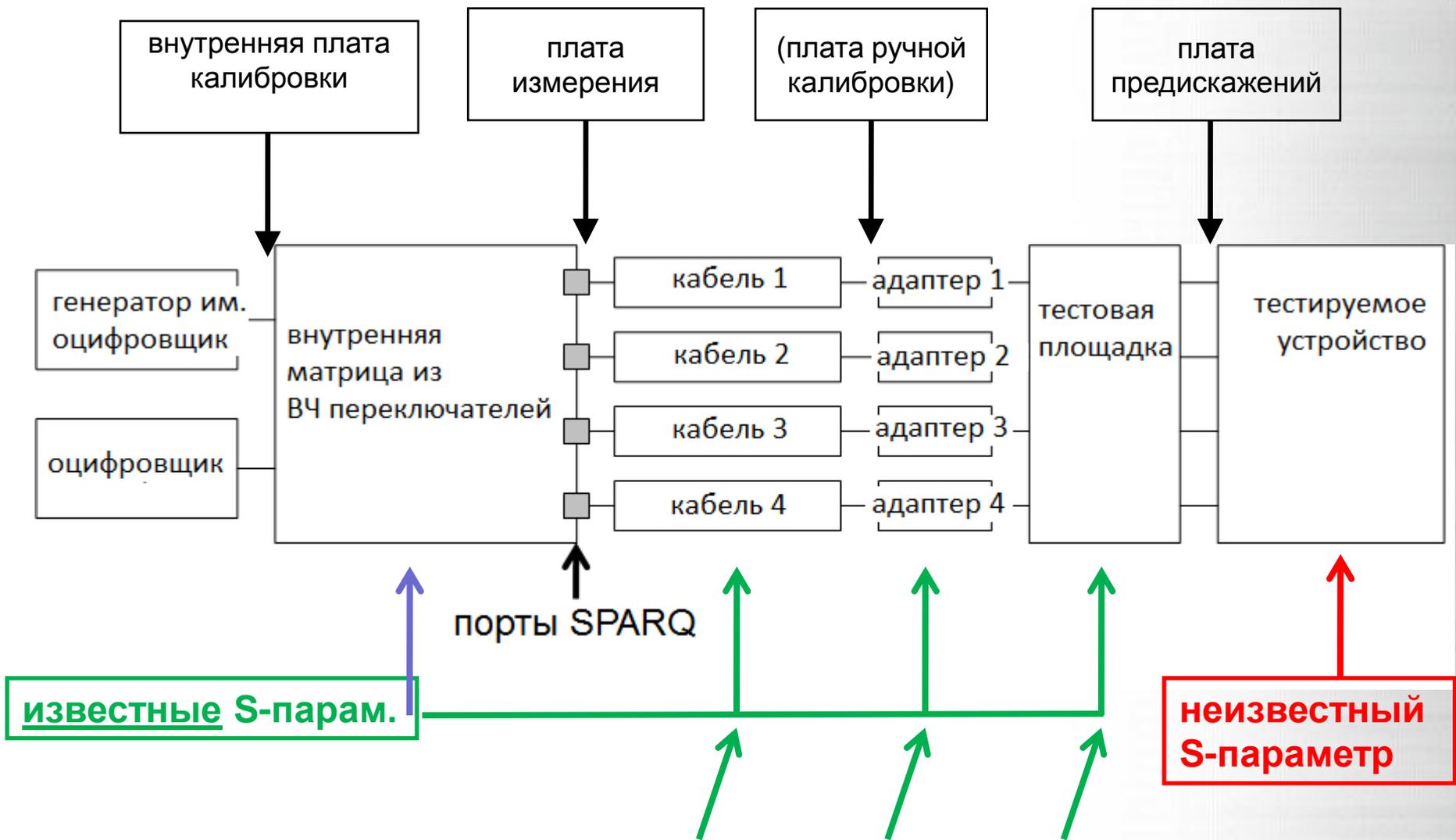
возможности SPARQ по самокалибровке

SPARQ показывает систему по ее анализу.



- До сегодняшнего для измерения S-параметров это преодоление множества сложностей
 - Векторные анализаторы не имеют встроенных систем калибровки
 - пользователи ИР должны учитывать влияние кабелей и тестовых площадок
- Мы делаем измерения ближе к пользователю...
 - **Патентованный алгоритм измерения S-параметров позволяет вам компенсировать «известные» элементы системы.**
- Пользователь сам конфигурирует SPARQ на необходимые компенсации адаптеров, кабелей и пр.

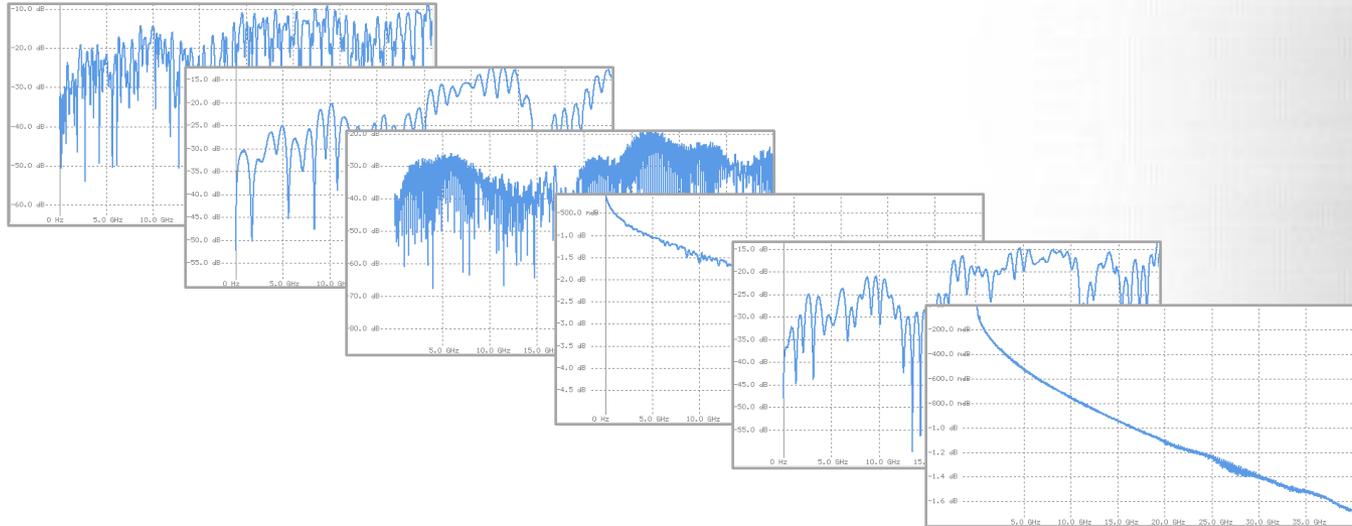
План-Карта SPARQ



пользователь контролирует файлы S-параметров через интерфейс

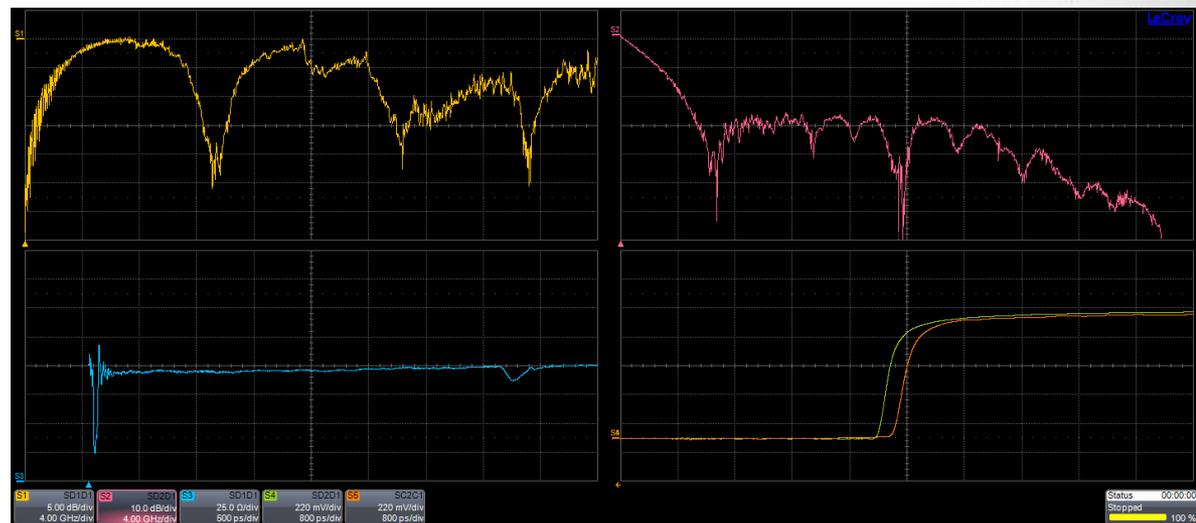
процесс компенсации в SPARQ

Заданные
S-параметры
компонентов
системы...

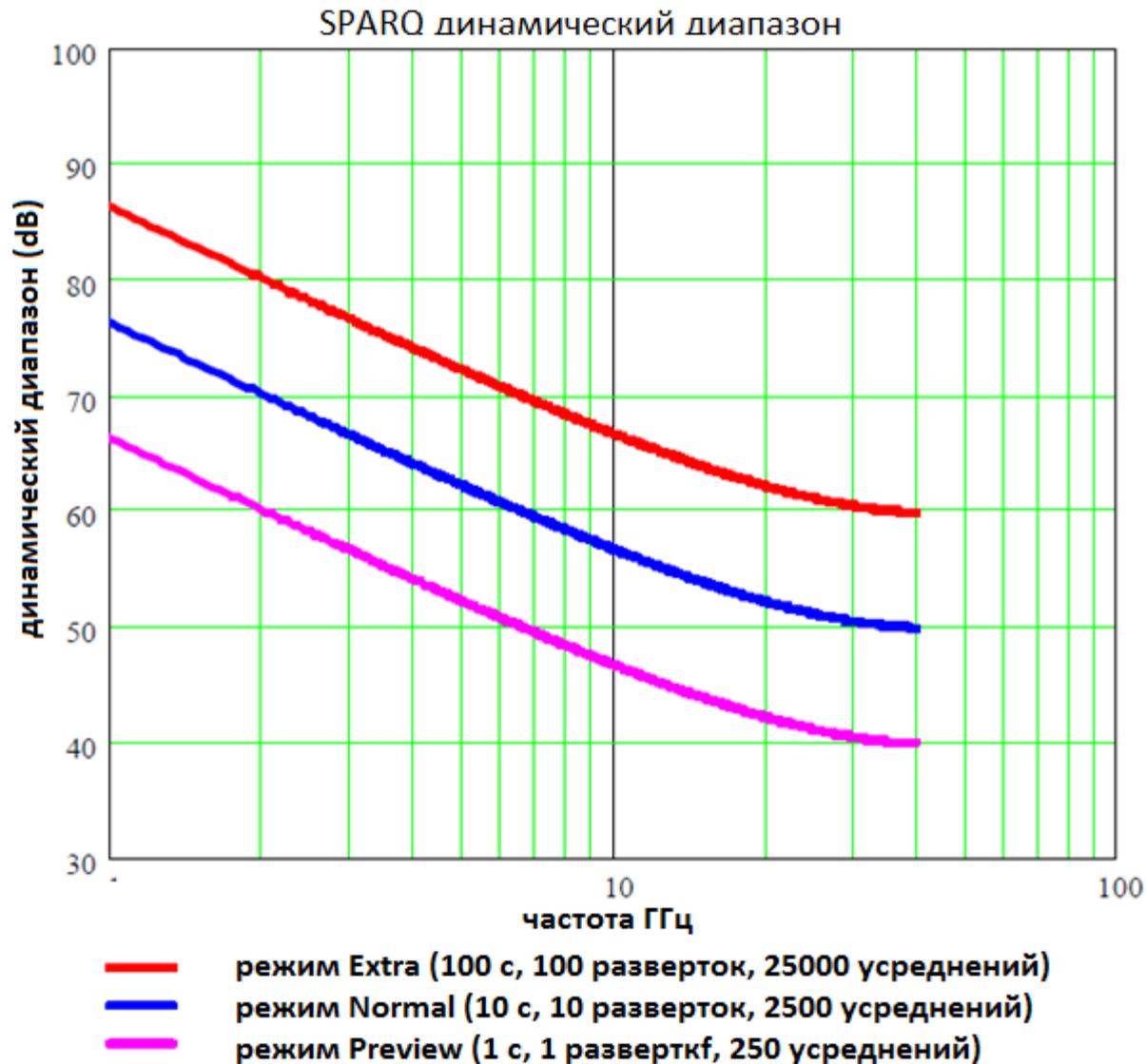


...и использование OSLT калибровки...

Мы
рассчитываем
S-параметры
тестируемого
устройства



Зависимость динамического диапазона от частоты



калибровка SPARQ и время измерения

0

Измерения зависят от вычислительных возможностей используемого компьютера

2-портовые измерения, включая калибровку			
# порта	# точек	Пред. просмотр	Режим измерения
2	1000	29 с	1 мин 36 с
2	4000	42 с	1 мин 52 с
2	8000	56 с	2 мин 15 с

Общее время калибровки	
Режим погрешности	Время калибровки
Пред. просмотр	11 с
измерение	1 мин

4-port measurement time, including calibration			
# порта	# точек	Пред. просмотр	Режим измерения
4	1000	1 мин 36 с	4 мин 37 с
4	4000	4 мин 14с	6 мин 45с
4	8000	7 мин 17 с	10 мин 5с

- Режим предпросмотра: Быстрая калибровка и малое время измерений
- Режим измерения: Больше усреднений сигнала для лучшей достоверности.
- Калибровка может выполняться перед каждым измерением без отключения/подключения тестируемого устройства



Результаты измерения SPARQ

Экран отображения SPARQ



Инструмент для оценки целостности сигнала, который вы оживали

1. измерение АЧХ в дифференциальном и несимметричном режимах до 40 ГГц
2. Смешанный режим измерения ослабления до 40 ГГц
3. ИР осциллограмма во время измерения
4. измерение ослабления в дифференциальном и несимметричном режимах до 40 ГГц
5. Режим отображения АЧХ
6. измерение сопротивления в дифф. и несимметричном режимах от длины линии
7. регулируемое время нарастания для всех доменов

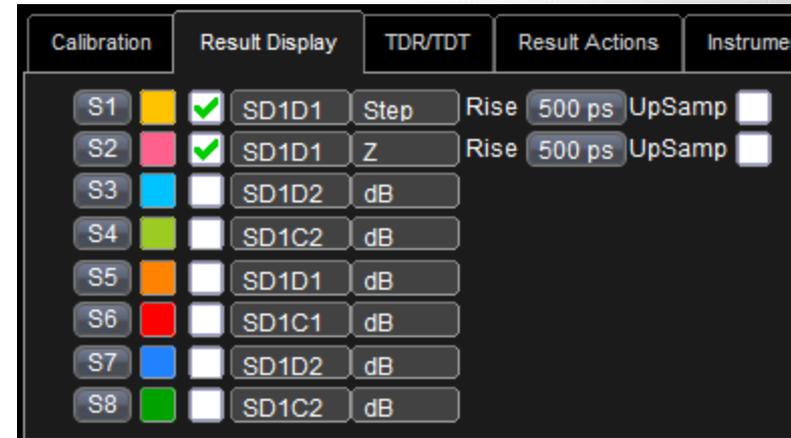


8. до 16 одновременно индексируемых измерений

9. независимая растяжка на каждую осциллограмму

Конфигурирование результирующих осциллограмм

- **селектор S-параметров:**
 - Выбор в зависимости от числа портов
 - SDxDy это примечания LeCroy
 - SDDху типичное отображение
 - Но ... если у вас >10 портов.

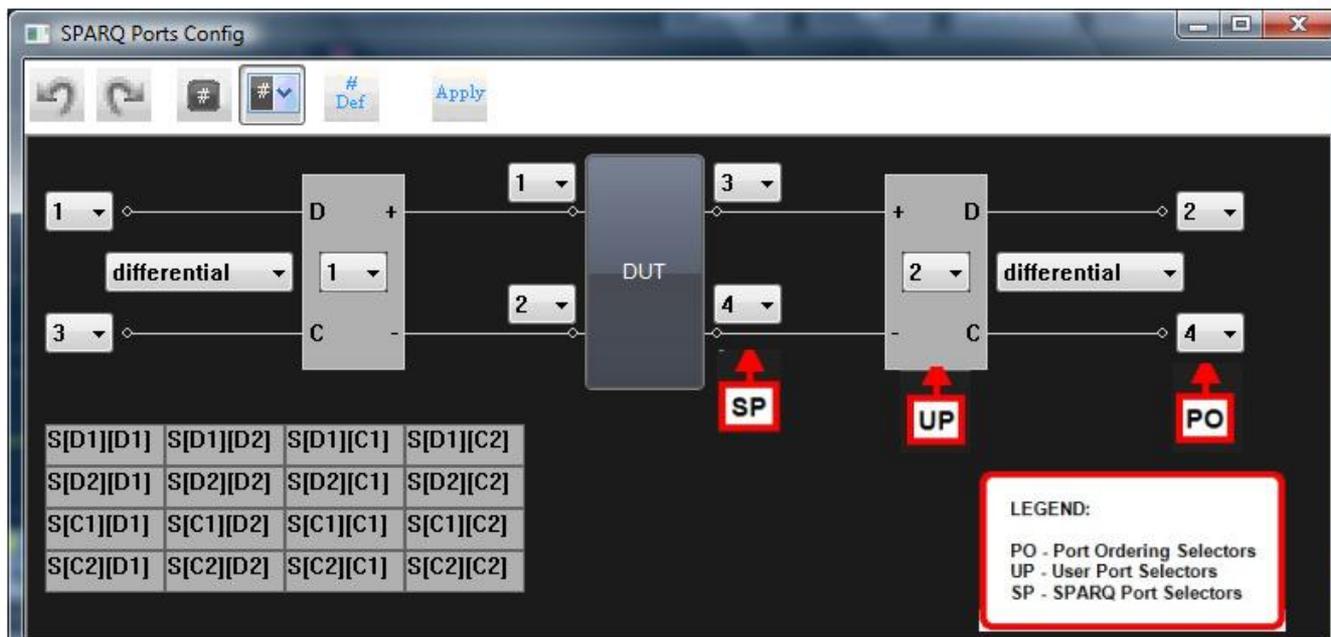


- **селектор результата:**
 - результат в частотной области
 - результат во временной области (Rho и Z только для S11, S22)



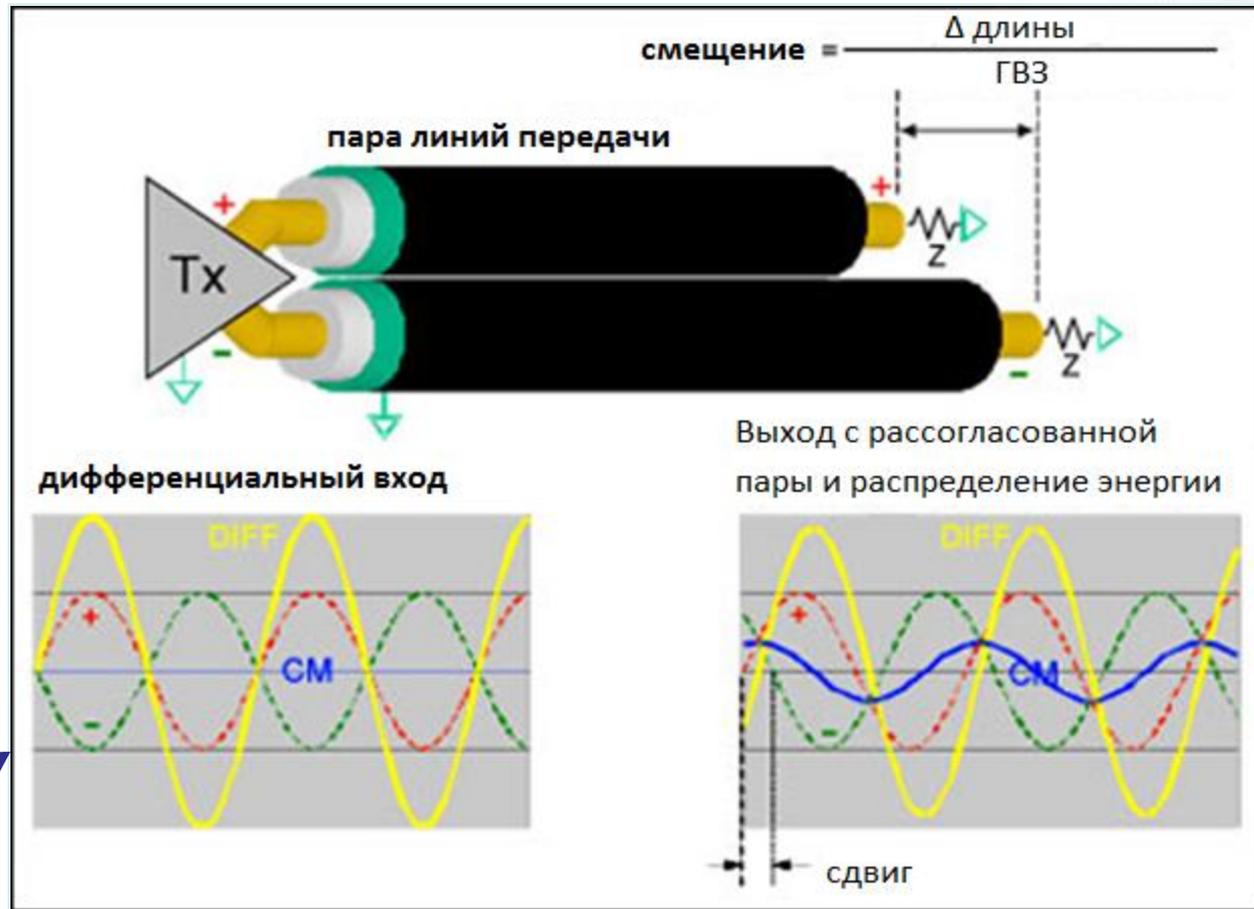
Несимметричный режим <-> смешанный режим

- Несимметричный режим <-> смешанный режим для конвертации нужен только пересчет



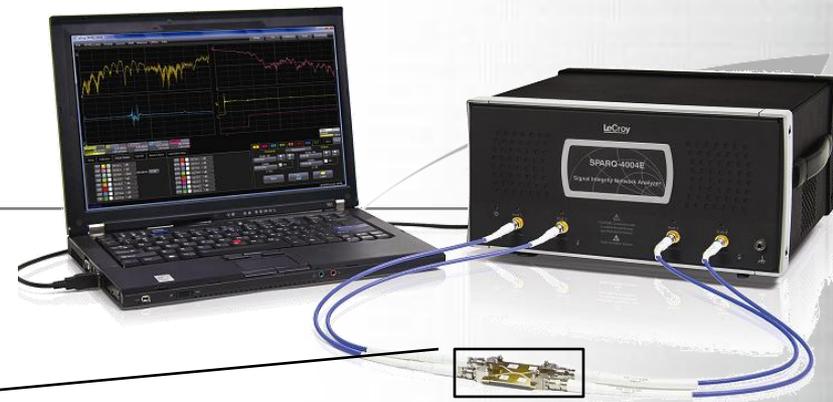
Применение смешанного режима: краткий экскурс

- Пример несогласованной дифференциальной пары



Несимметричный режим

S-параметры несимметричные



- S_{11} , S_{22} , : несимметричные потери отражения
- S_{31} , S_{42} : несимметричные потери передачи

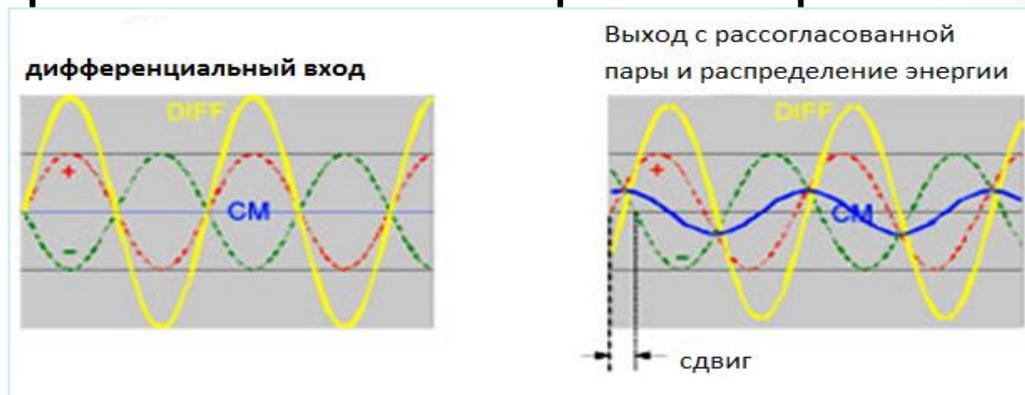
Это может быть использовано для определения дифференциальной свойств цепи, преобразованием в режим смешанных S-параметров

Режим смешанных S-параметров

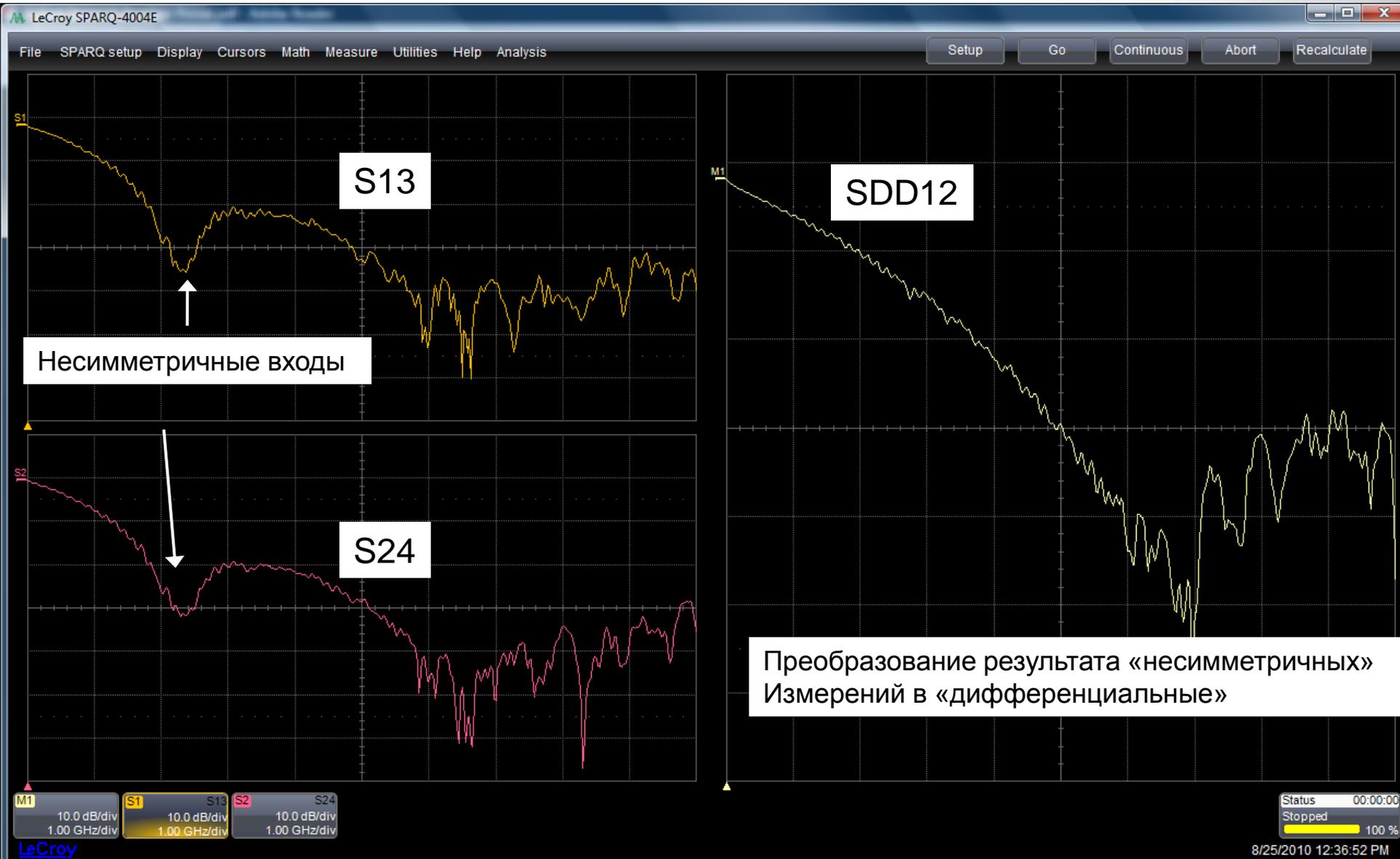


$$\begin{bmatrix} sdd_{11} & sdd_{12} & sdc_{11} & sdc_{12} \\ sdd_{21} & sdd_{22} & sdc_{21} & sdc_{22} \\ scd_{11} & scd_{12} & scc_{11} & scc_{12} \\ scd_{21} & scd_{22} & scc_{21} & scc_{22} \end{bmatrix}$$

- Sdd_{xy} : описывает дифференциальные свойства
- Scc_{xy} : описывает свойства не симметричного режима
- Scd_{xy} : описывает преобразования из несимметричного в симметричный режим



Пример дифференциальных измерений S-параметров, используя несимметричные ИР

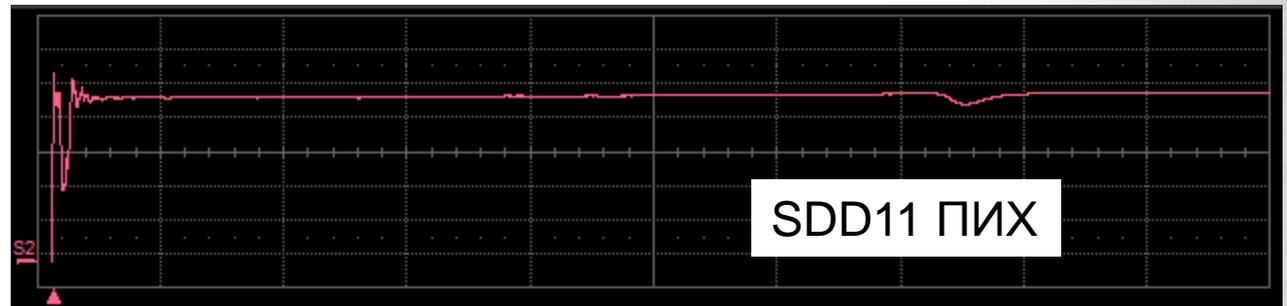
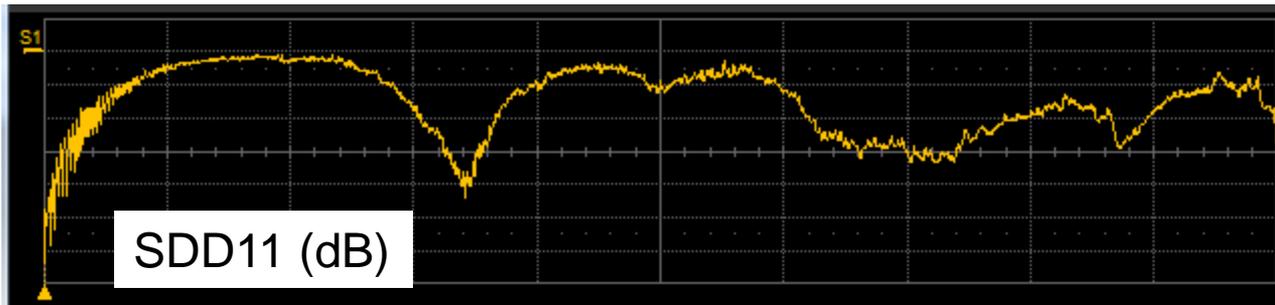




Результаты SPARQ во временной области

Переходная импульсная характеристика

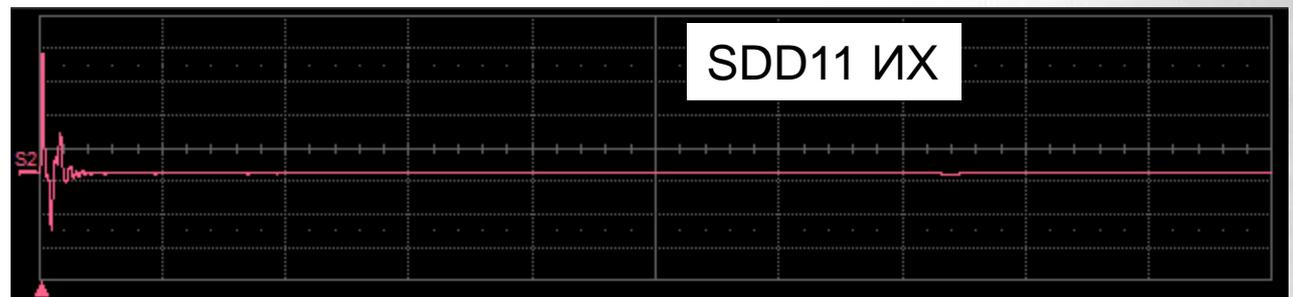
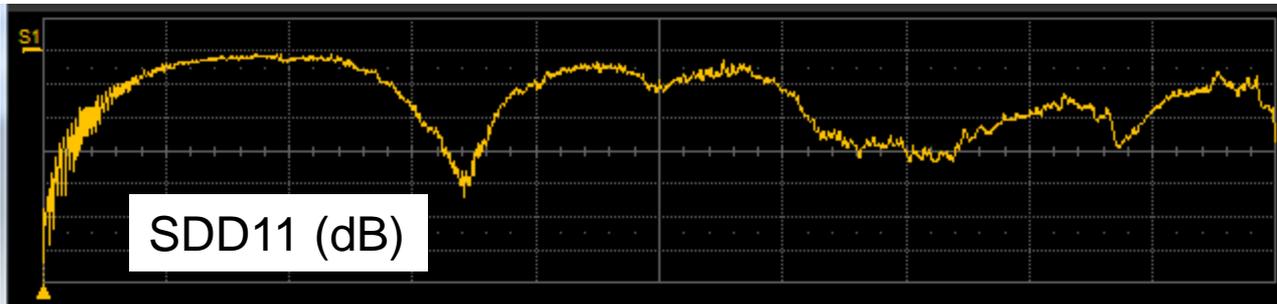
- Отображение переходной характеристики для заданного пользователем времени нарастания
- Форма ПИХ близка к синусоиде.



Импульсная характеристика

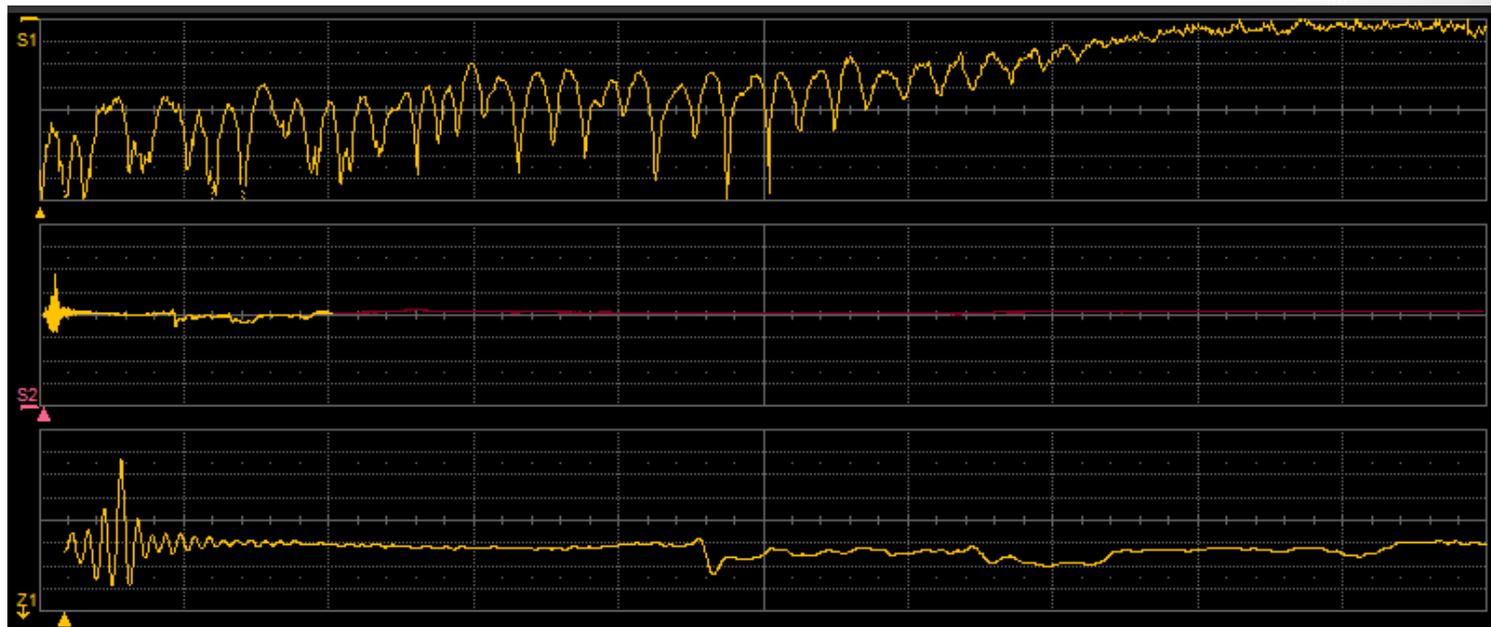
- Производная от переходной импульсной характеристики - импульсная характеристика

Пример: SD11 и SD22 ИХ:



Измерение Z и R

- Аппроксимация формы сопротивления
- Ось времени - электрическая длина
 - как противоположная ПИХ и ИХ
- Пользователь сам выбирает время нарастания для аппроксимации
 - график Z показывает распределение сопротивления в зависимости от частоты



Отраженный и падающий сигнал (TDR/TDT)

- Отображаются «сырые» осциллограммы TDR и TDT
- SPARQ может усреднить:
 - в группу из 250 экрана (использует аппаратное усреднение)
 - как математическая функция усреднения





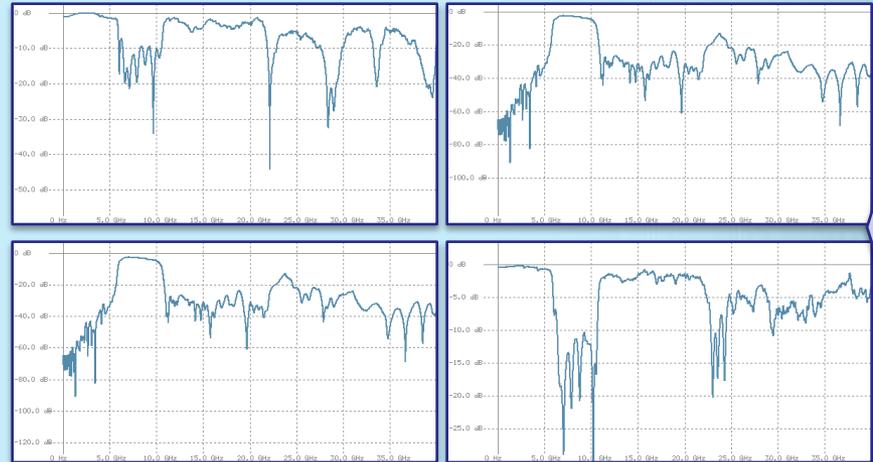
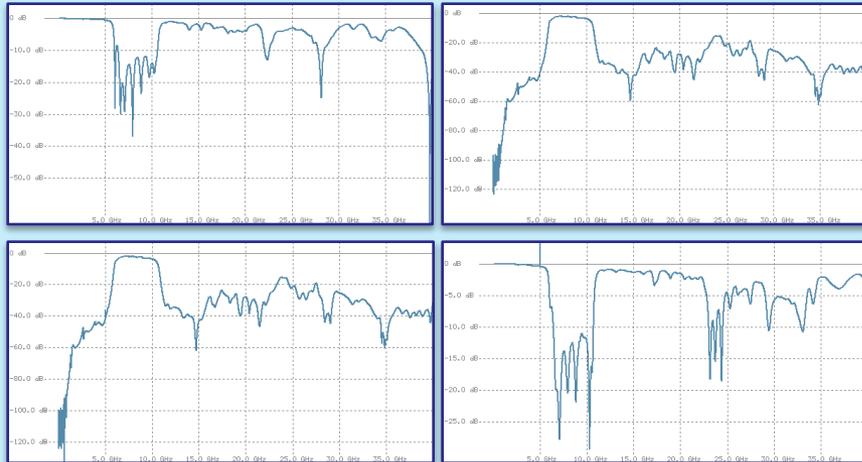
сравнение SPARQ и векторного анализатора

результаты тестирования

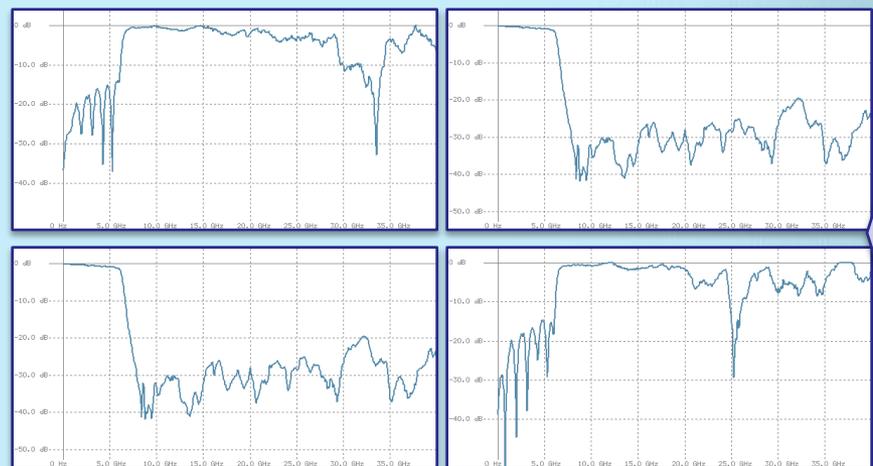
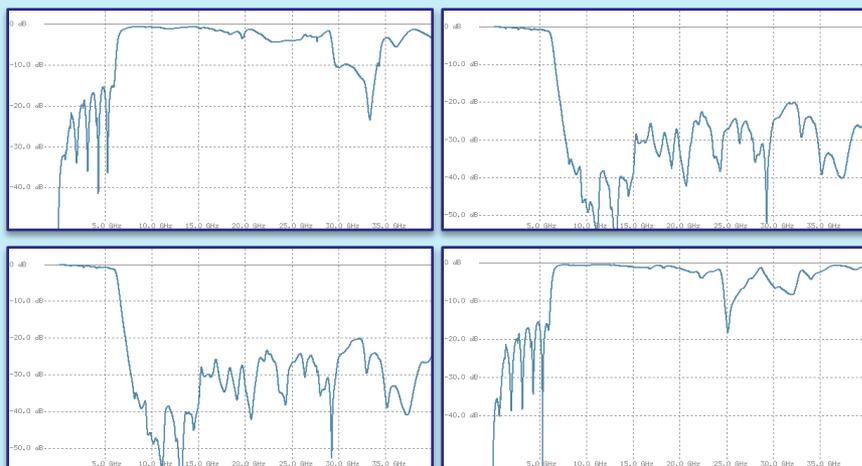
2-портовые анализаторы, 40 ГГц

2-х портовый Anritsu 40 ГГц

измерения SPARQ 4004E

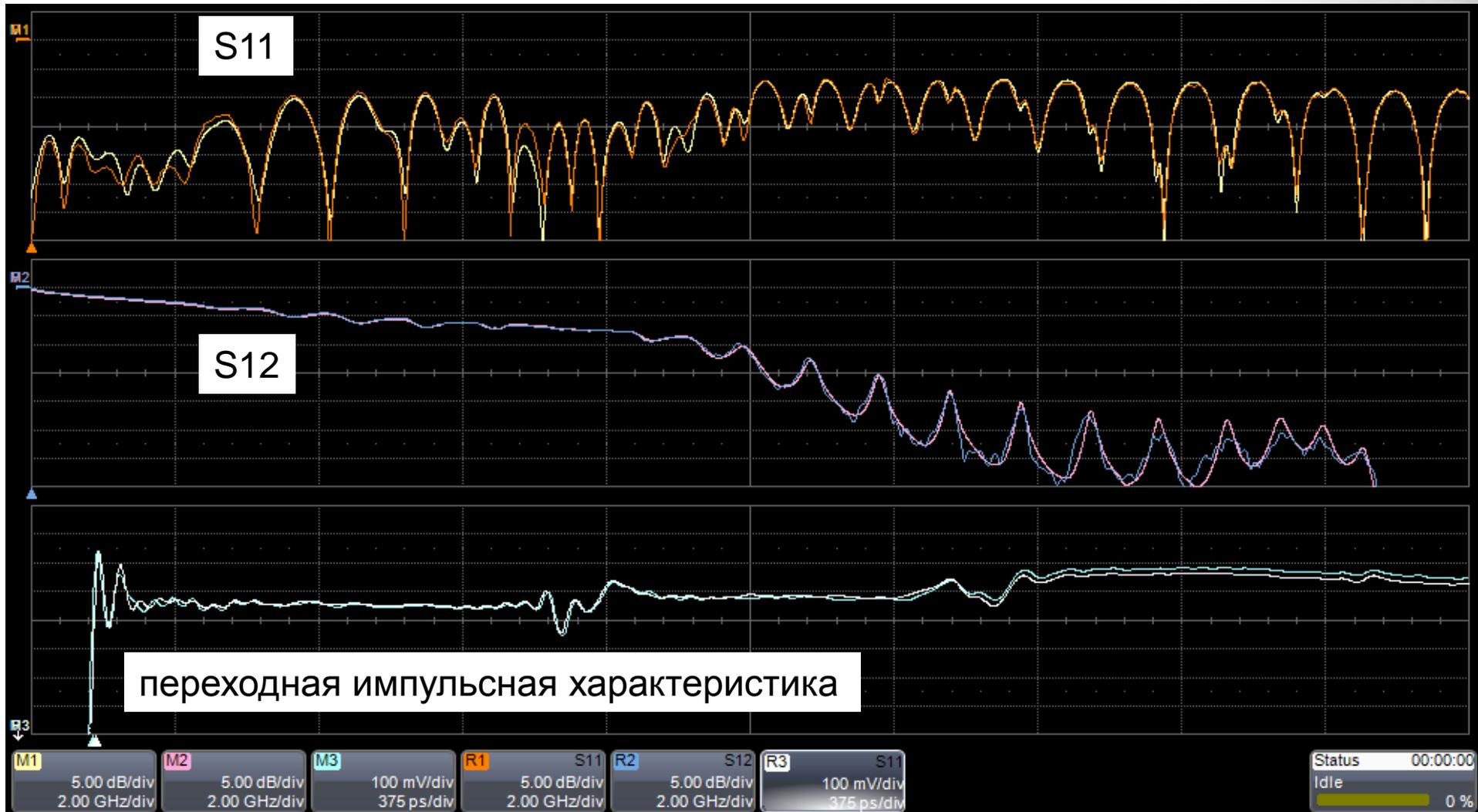


ПОЛОСОВОЙ
фильтр



НЧ фильтр

сравнение SPARQ и векторного анализатора



польза от SPARQ

- **стоимость измерения S-параметров значительно ниже, чем у векторного анализатора цепей**
 - низкая цена делает измерения S-параметров доступными для всех
- **Встроенный автоматический калибратор OSLT**
 - нет ручных подключений/отключений или дорогих комплектов ECAL
- **Готов для симуляции S-параметров**
 - соответствует требованиям пассивности, взаимности и причинности ; работает с постоянного напряжения
- **Отображение как временного, так и частотного домена**
 - Измерения на одном конце, смешанные режимы отображения S-параметров в стандартной комплектации
 - Отображение PX , IX , Z и Rho
- **Автоматическая компенсация тестовых площадок**
 - влияние кабелей, адаптеров и пр. исключаются из результатов измерений
- **возможность отображения отраженной и падающей волны**
 - наглядное отображение TDR/TDT для быстрой проверки и отладки
- **Небольшой размер, легкий, простой в использовании.**

12-портовый анализатор SPARQ в диапазоне до 40 ГГц

SPARQ-4012E



LeCroy