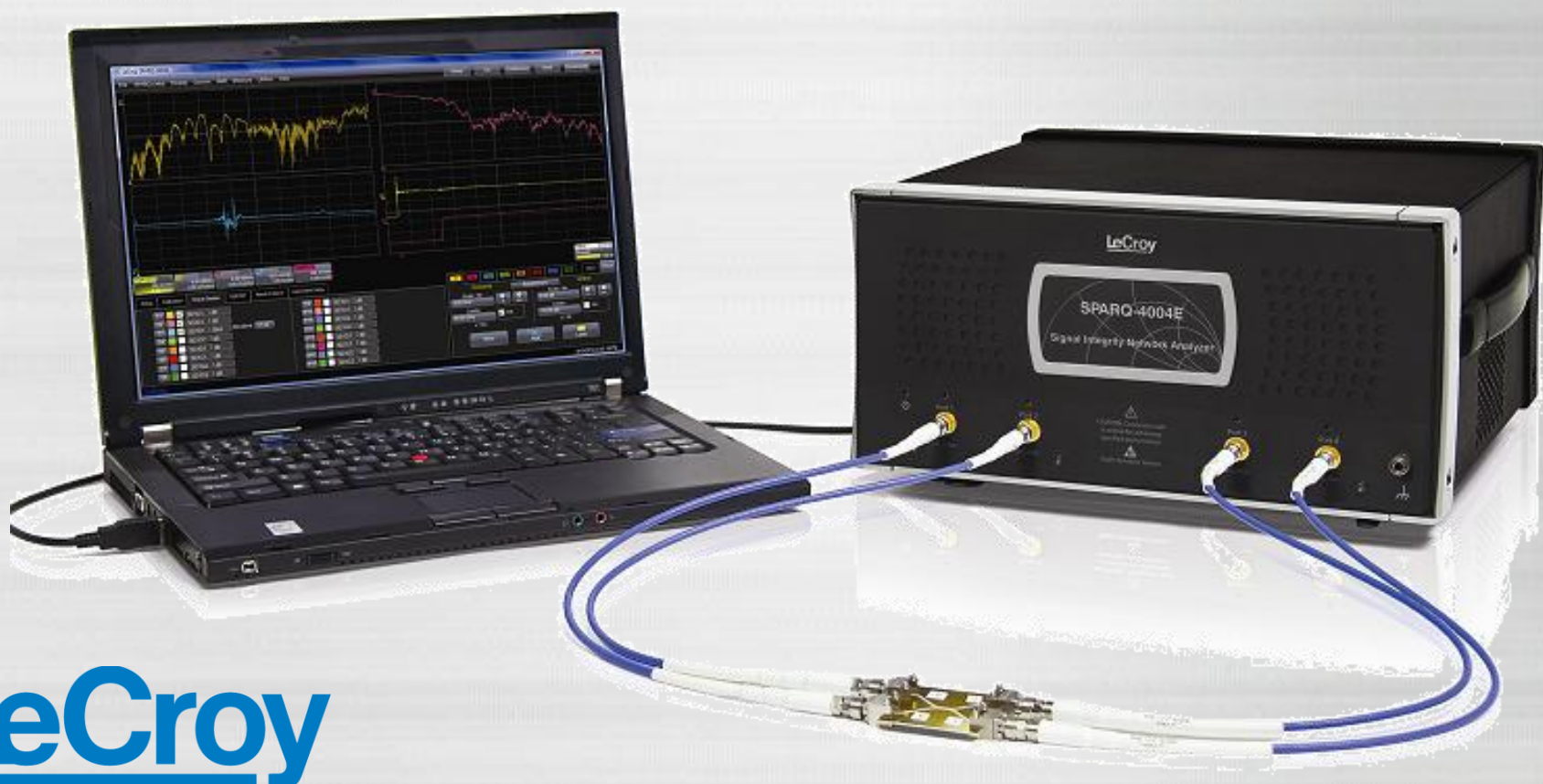


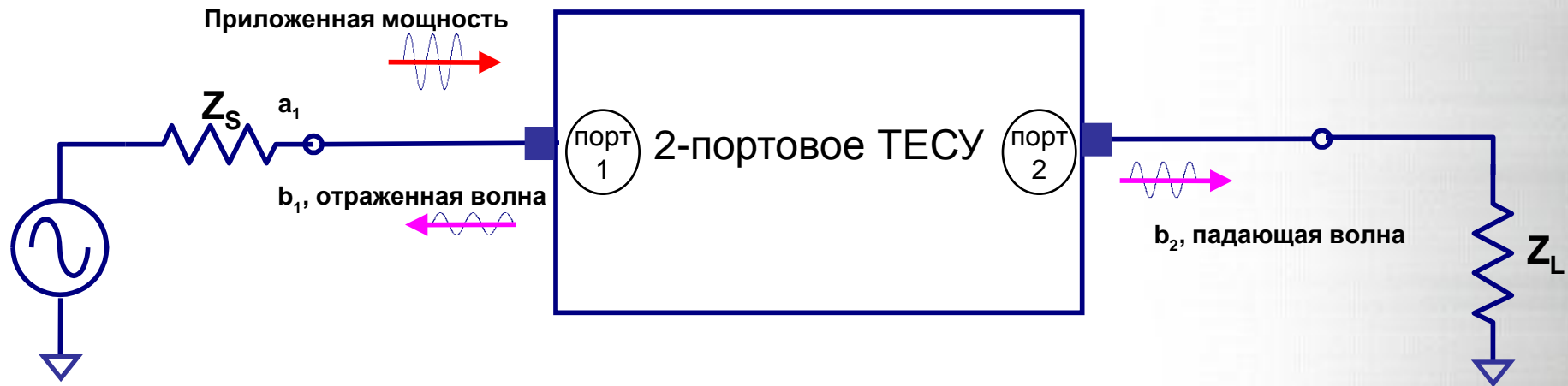
SPARQ

Измеритель S-параметров на принципе импульсной рефлектометрии (“**S**-**P**arameters **Q**uick”)



LeCroy

Что такое S-параметры?



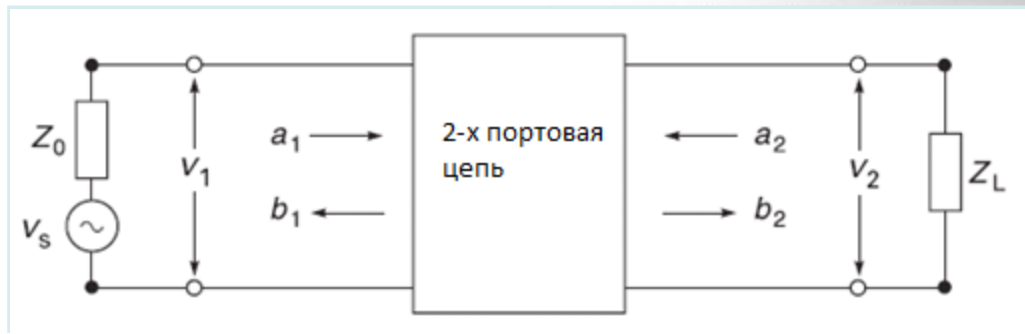
- ✓ S-параметры измеряют параметры отраженной и падающей волн в тестируемых устройствах
- ✓ 'S' происходит от слова "Scattering" (Рассеивание)
- ✓ Тестируемые устройства могут быть: коаксиальные кабели. Пассивные антенны, активные усилители, микроволновые фильтры и т.п..
- ✓ S-параметры имеют модуль 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

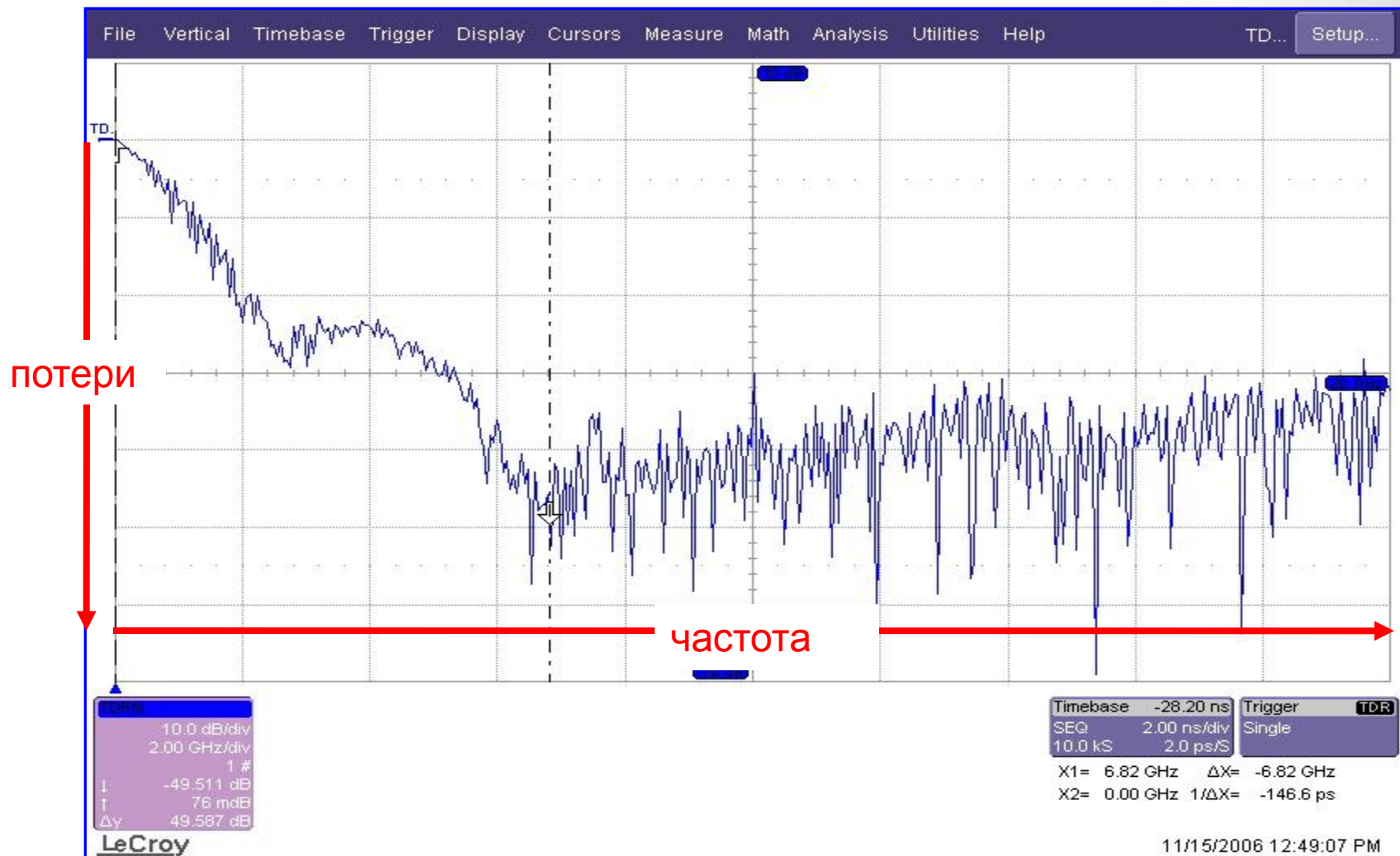
- ✓ S-параметры (от словосочетания *Scattering matrix* «матрица рассеивания») это путь точного описания как ВЧ энергия проходит через многопортовые тестируемые устройства.
- ✓ ТЕСУ, в большинстве случаев представляется как «черная коробка»
- ✓ Матрица S-параметров для N-портового устройства содержит 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 0 0 0 0 0 0 0 0
    
```

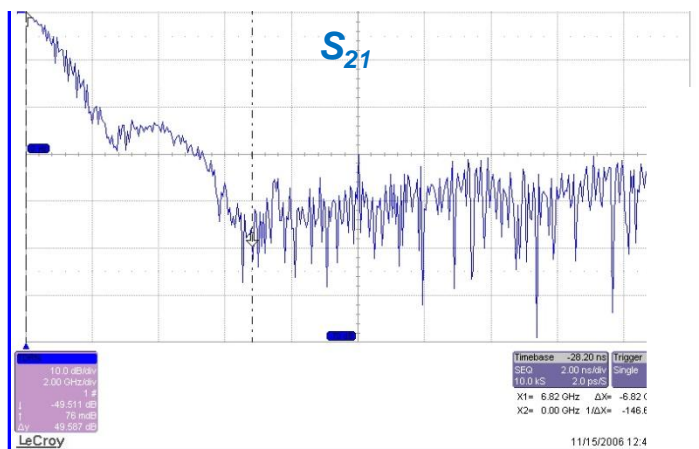

Отражение / передача (частотная область)

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

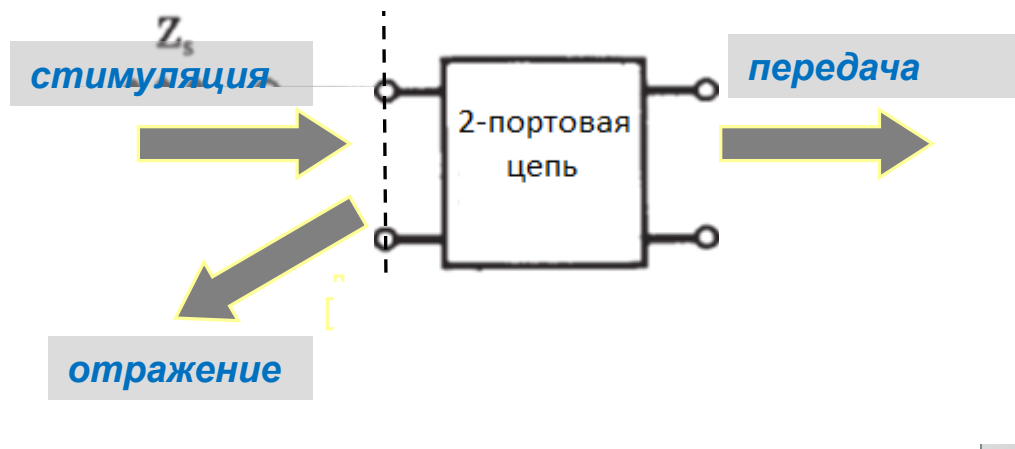
- *отношение в dB мощности отраженного сигнала по отношению к приложенной мощности сигнала*

✓ **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»

Смешанный режим S-параметров

Дифференциальный
режим

$$\begin{array}{c}
 \text{Дифференциальный} \\ \text{режим}
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 \begin{bmatrix} S_{dd_{11}} & S_{dd_{12}} & S_{dc_{11}} & S_{dc_{12}} \\ S_{dd_{21}} & S_{dd_{22}} & S_{dc_{21}} & S_{dc_{22}} \\ S_{cd_{11}} & S_{cd_{12}} & S_{cc_{11}} & S_{cc_{12}} \\ S_{cd_{21}} & S_{cd_{22}} & S_{cc_{21}} & S_{cc_{22}} \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix} da_1 \\ da_2 \\ ca_1 \\ ca_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} db_1 \\ db_2 \\ cb_1 \\ cb_2 \end{bmatrix}
 \end{array}$$

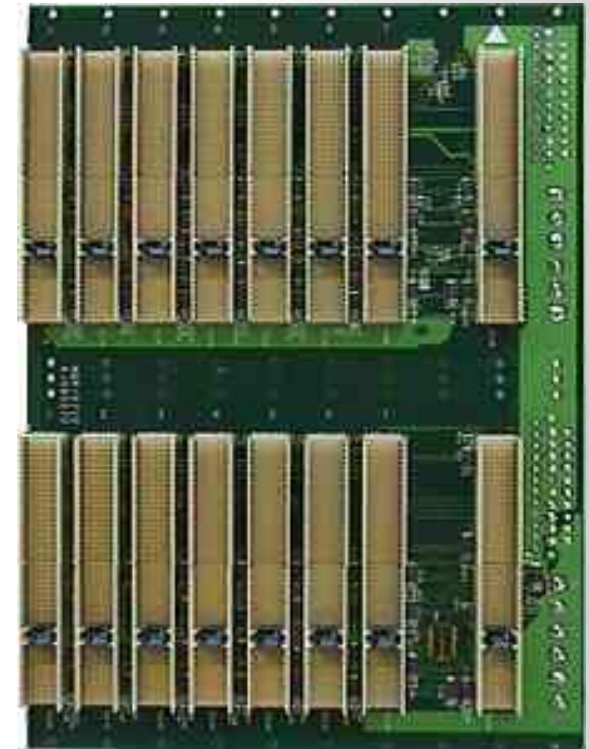
Несимметричный
режим

$$\begin{pmatrix} s_{11} & s_{12} & s_{13} & s_{14} \\ s_{21} & s_{22} & s_{23} & s_{24} \\ s_{31} & s_{32} & s_{33} & s_{34} \\ s_{41} & s_{42} & s_{43} & s_{44} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \end{pmatrix}$$



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*

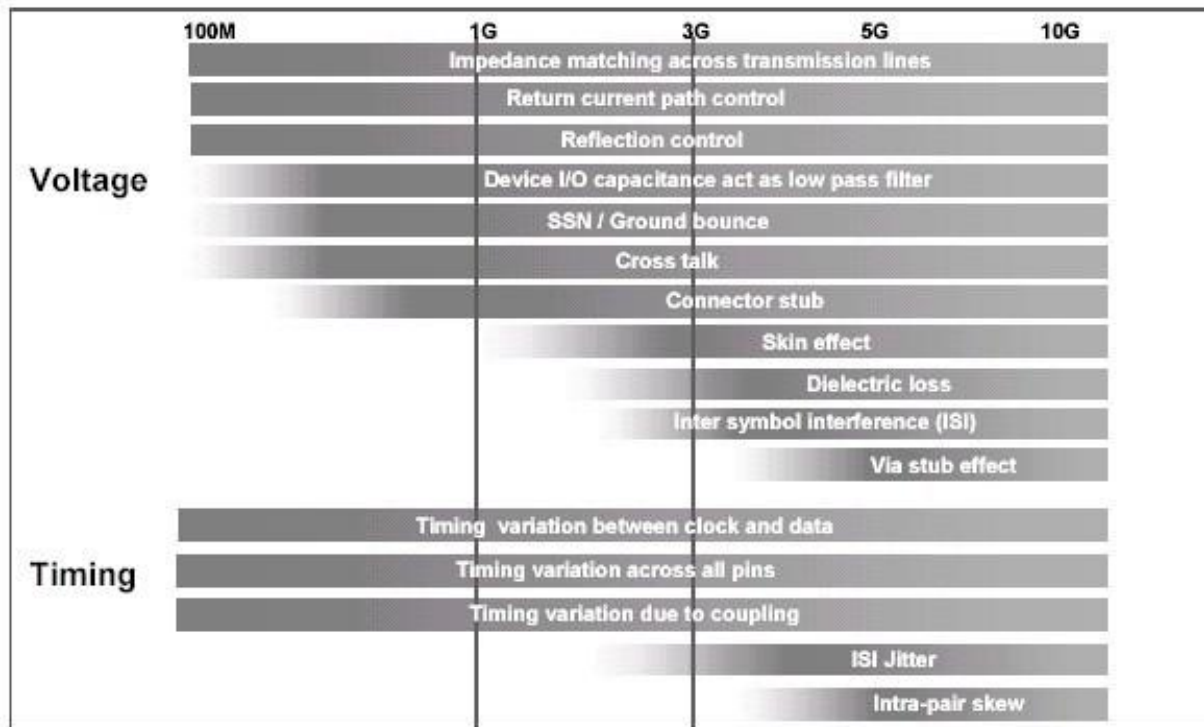
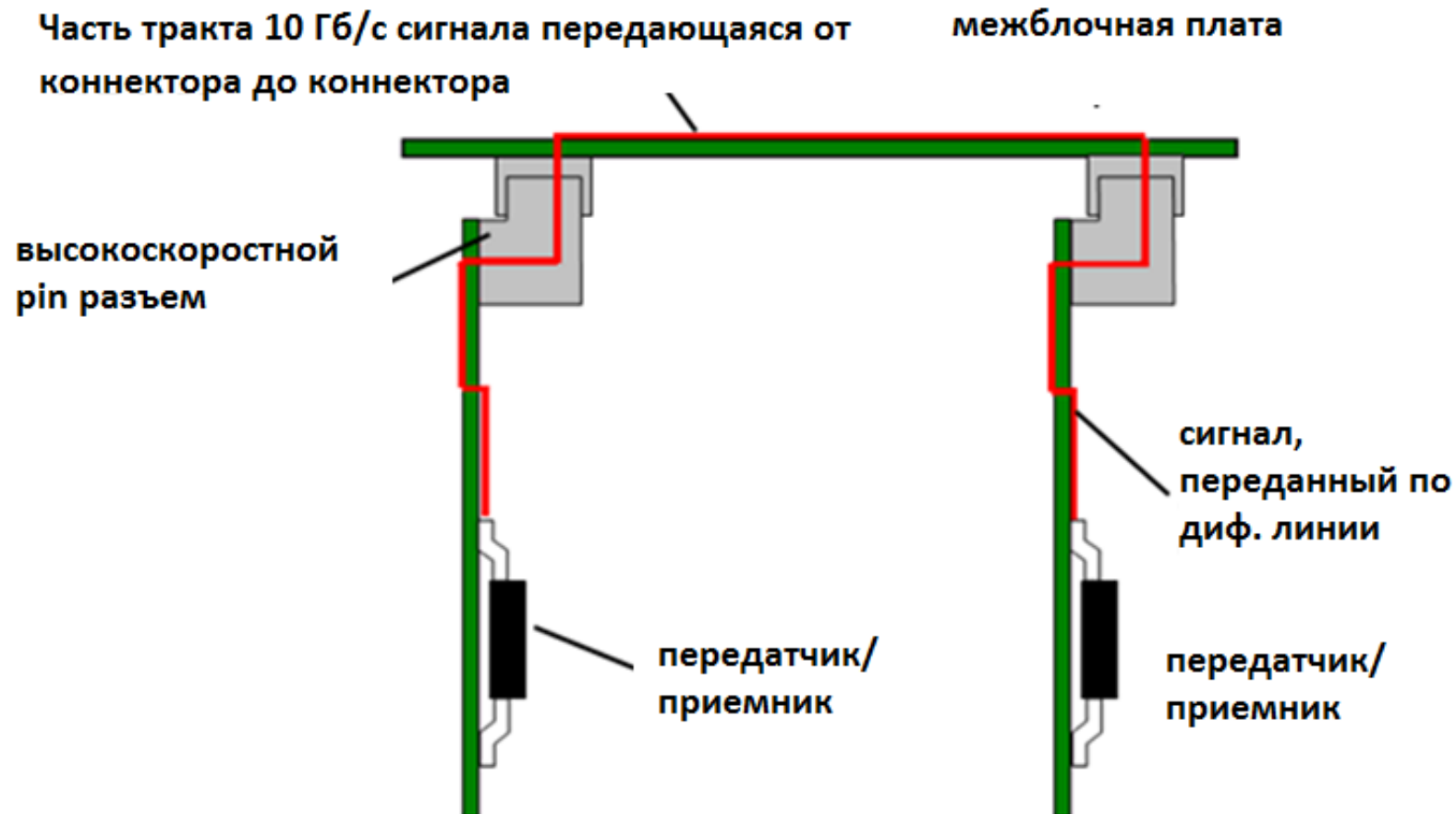


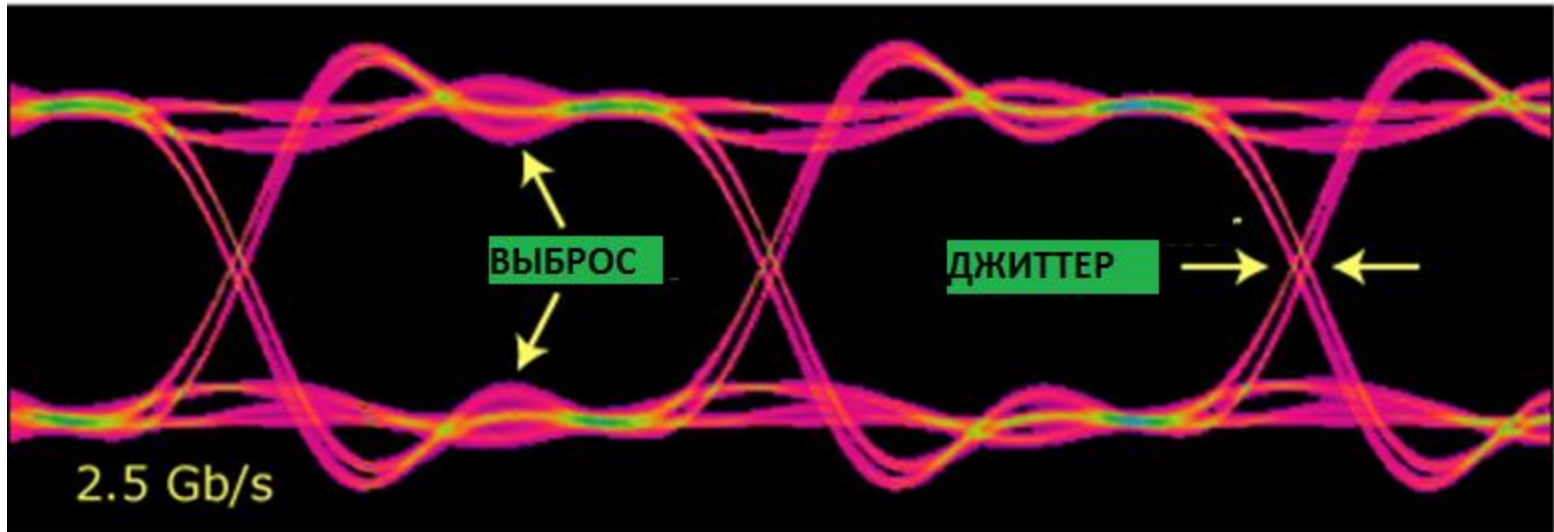
рисунок показывает ключевые моменты, на которые следует обращать внимание при увеличении скоростей передачи данных

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

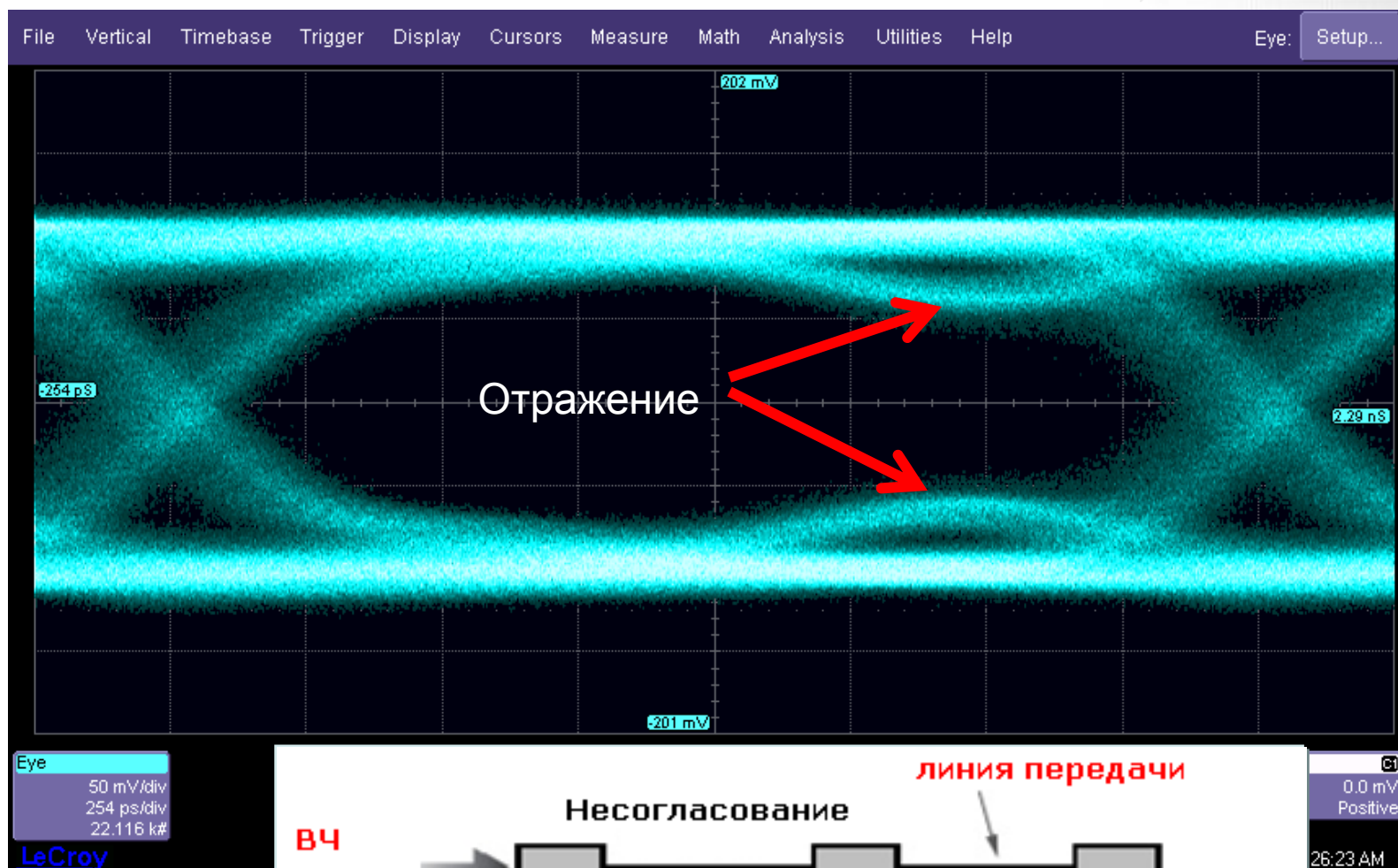
Основные проблемы целостности сигнала



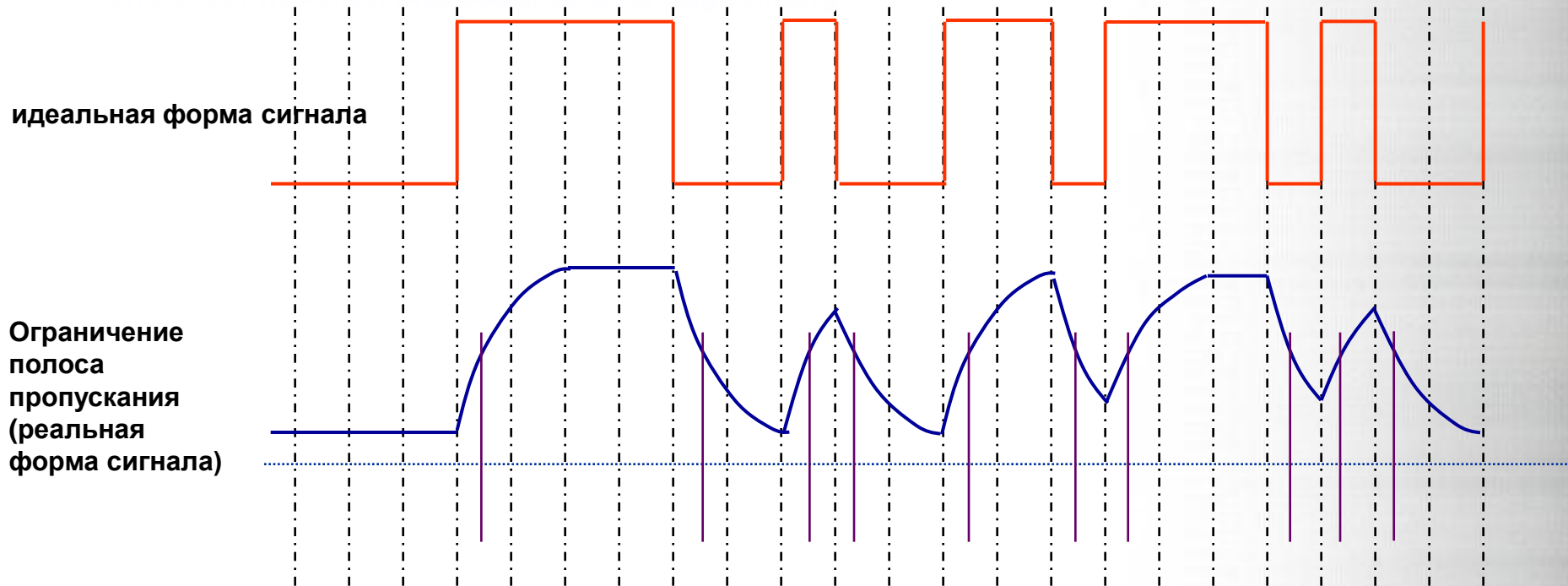
Основные проблемы целостности сигнала



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

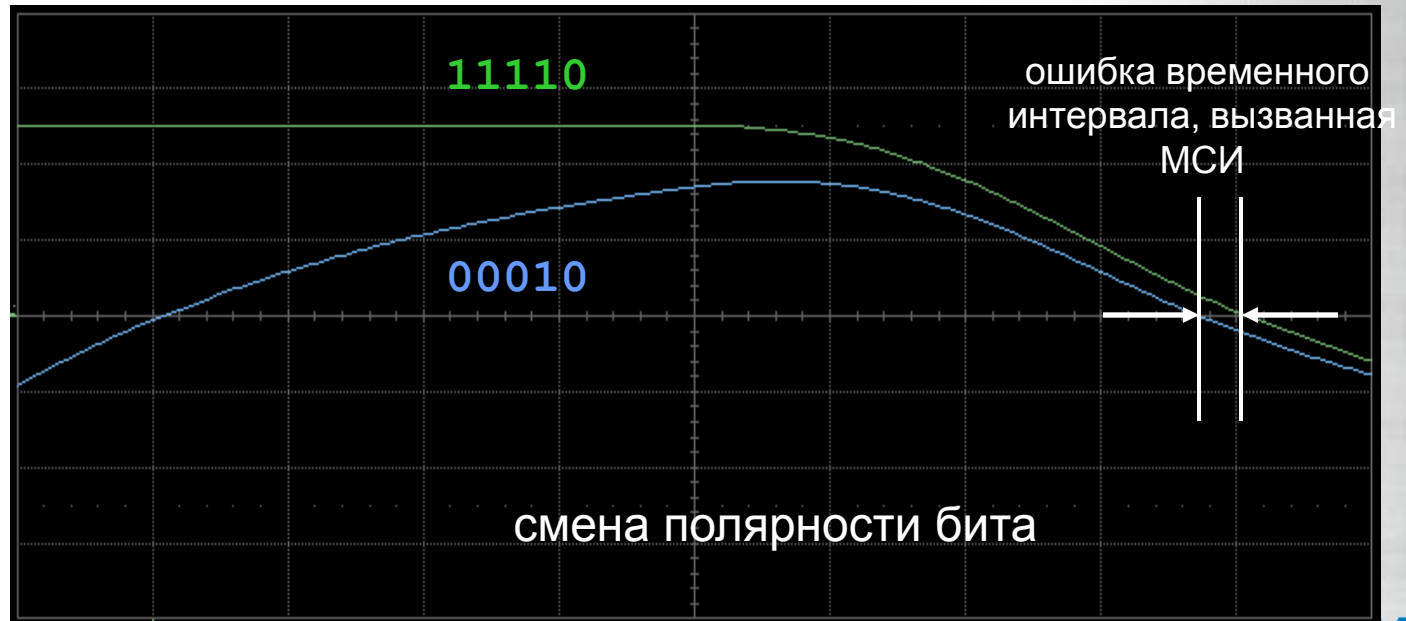
=

```
0100101101110101000010101111010101010001010110  
10100101010101010110011011100101111101001001010  
010011110010010010010101010101101001010101111101  
0010010010110100100100101001100010
```

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

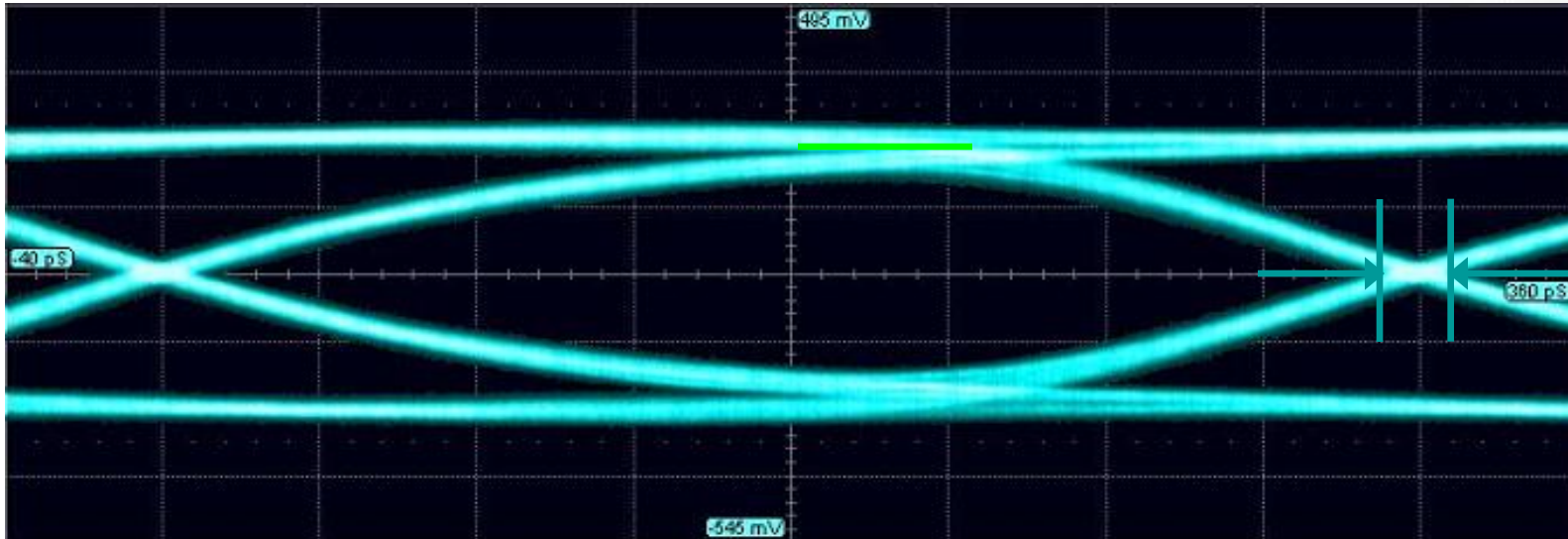
Рассмотрим шаблон 00010 и 11110

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

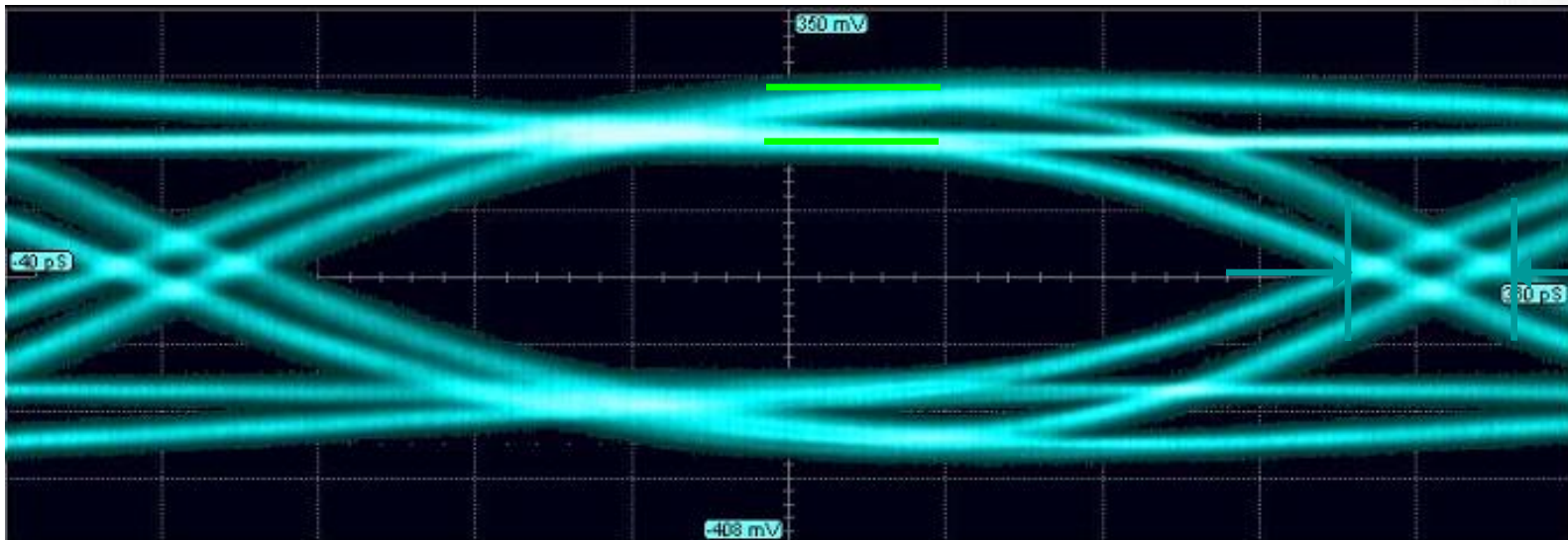


Межсимвольная интерференция (МСИ)

это основная причина детерминированного джиттера



3.125 Гбит/с
NRZ-сигнал
без МСИ



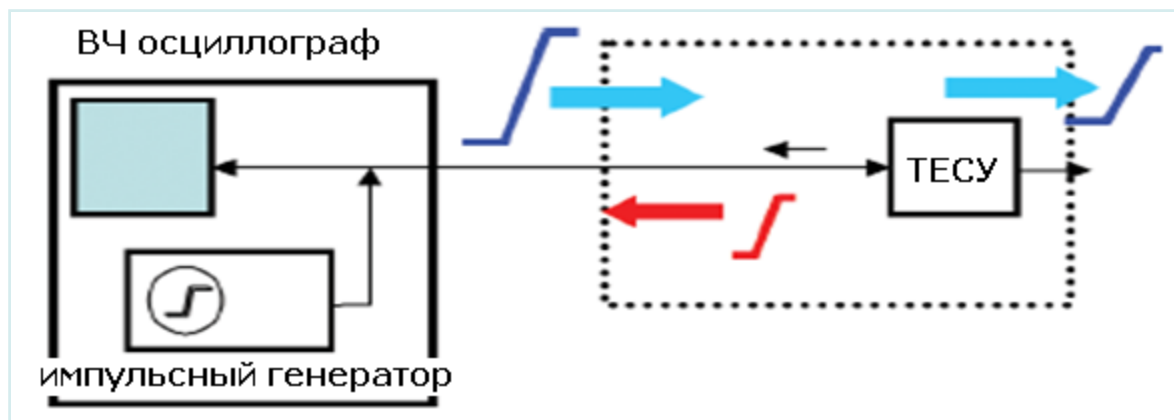
3.125
Гбит/с
NRZ-
сигнал
с МСИ



Основы импульсной рефлектометрии

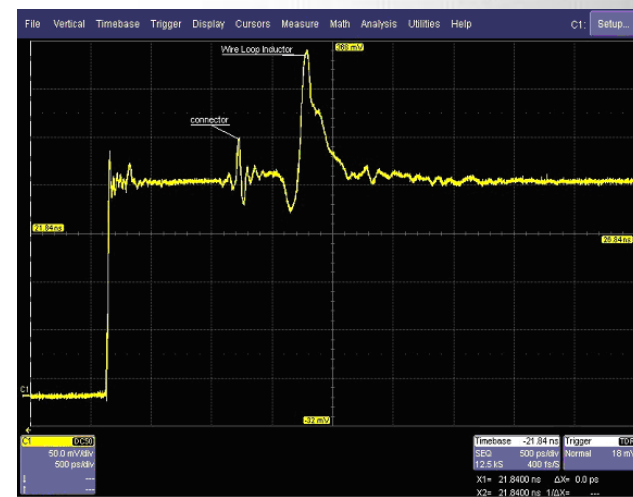
Что такое ИР

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



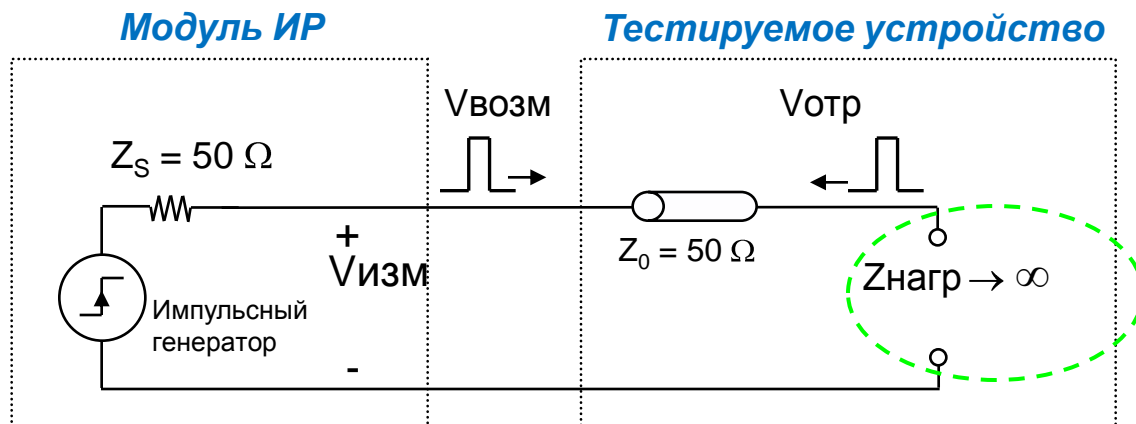
Time



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

Холостой Ход (Zнагр $\rightarrow \infty$)

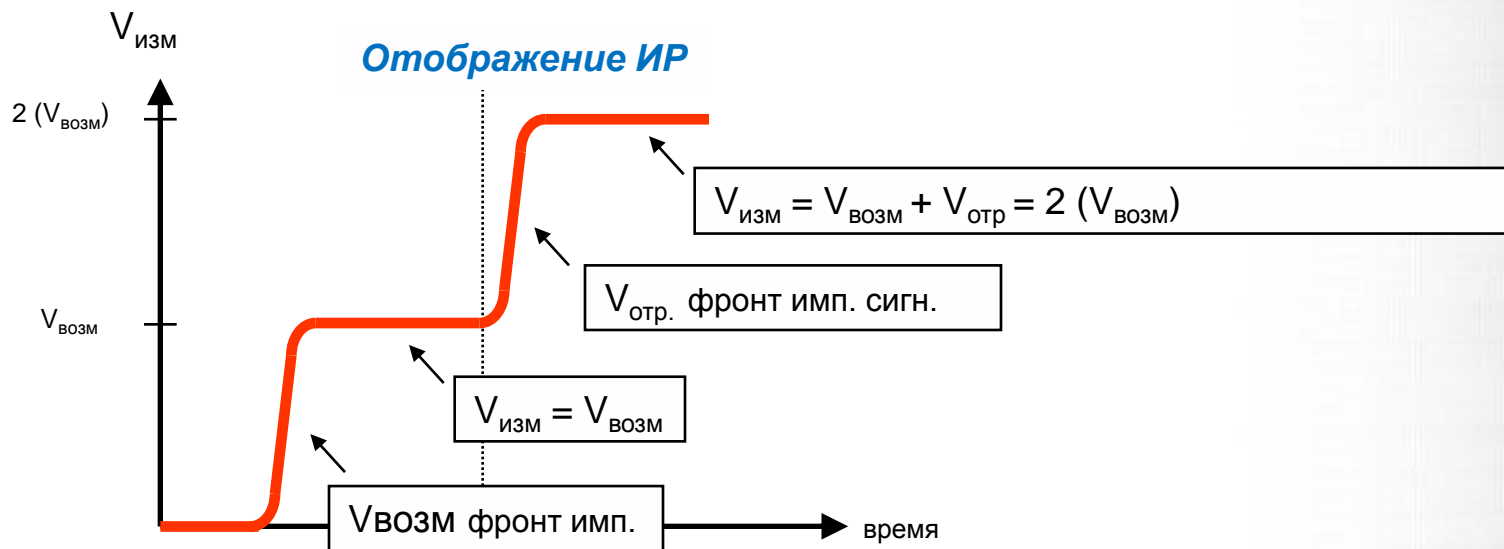
Пример ИР



Определение $V_{\text{отр}}$:

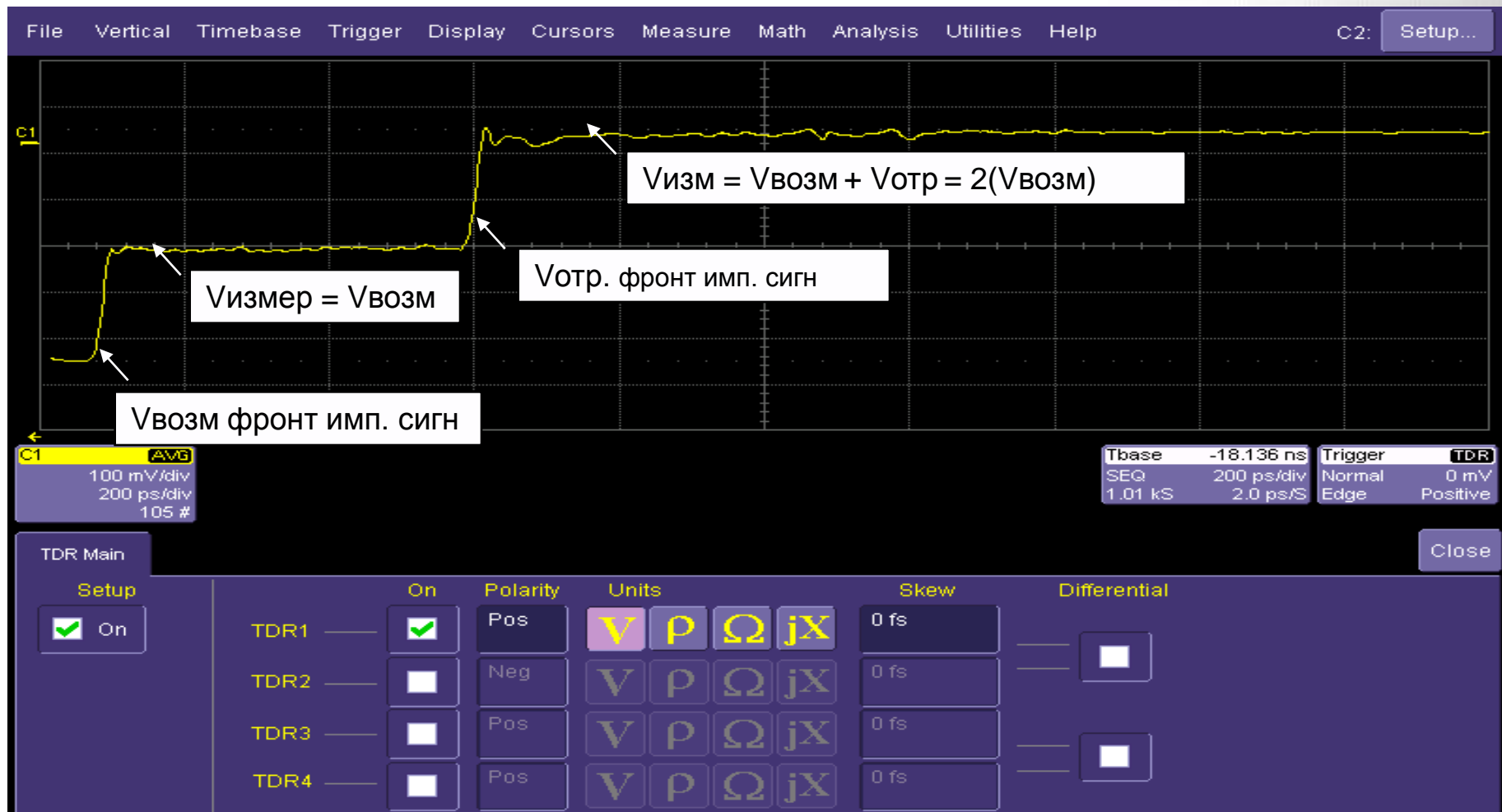
$$V_{\text{отр}} = V_{\text{возм}} \left(\frac{Z_{\text{нагр}} - Z_0}{Z_{\text{нагр}} + Z_0} \right)$$

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



Холостой Ход (Zнагр $\rightarrow \infty$)

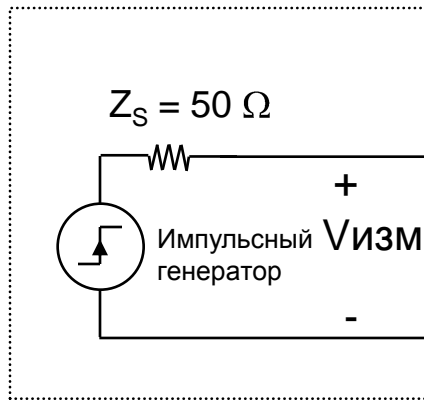
Пример ИР



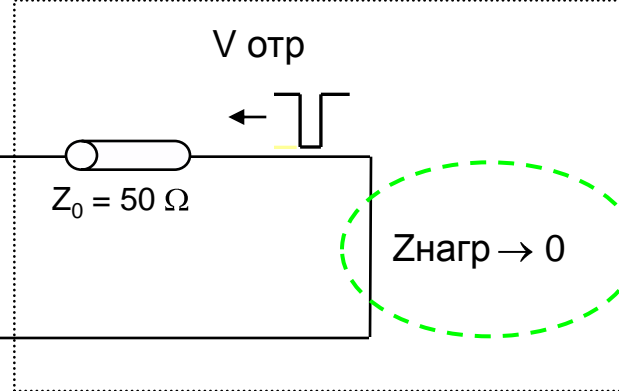
Короткое замыкание ($Z_{\text{нагр}} = 0$)

Пример ИР

Модуль ИР



Тестируемое устройство

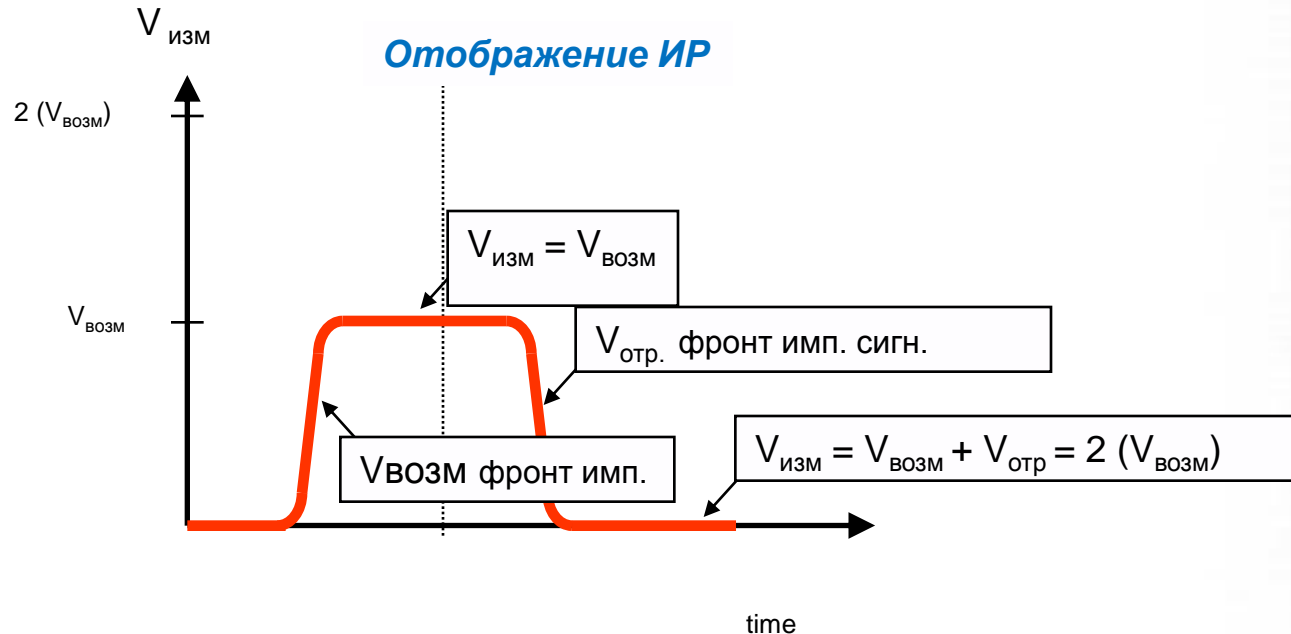


Определение $V_{\text{отр}}$:

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

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

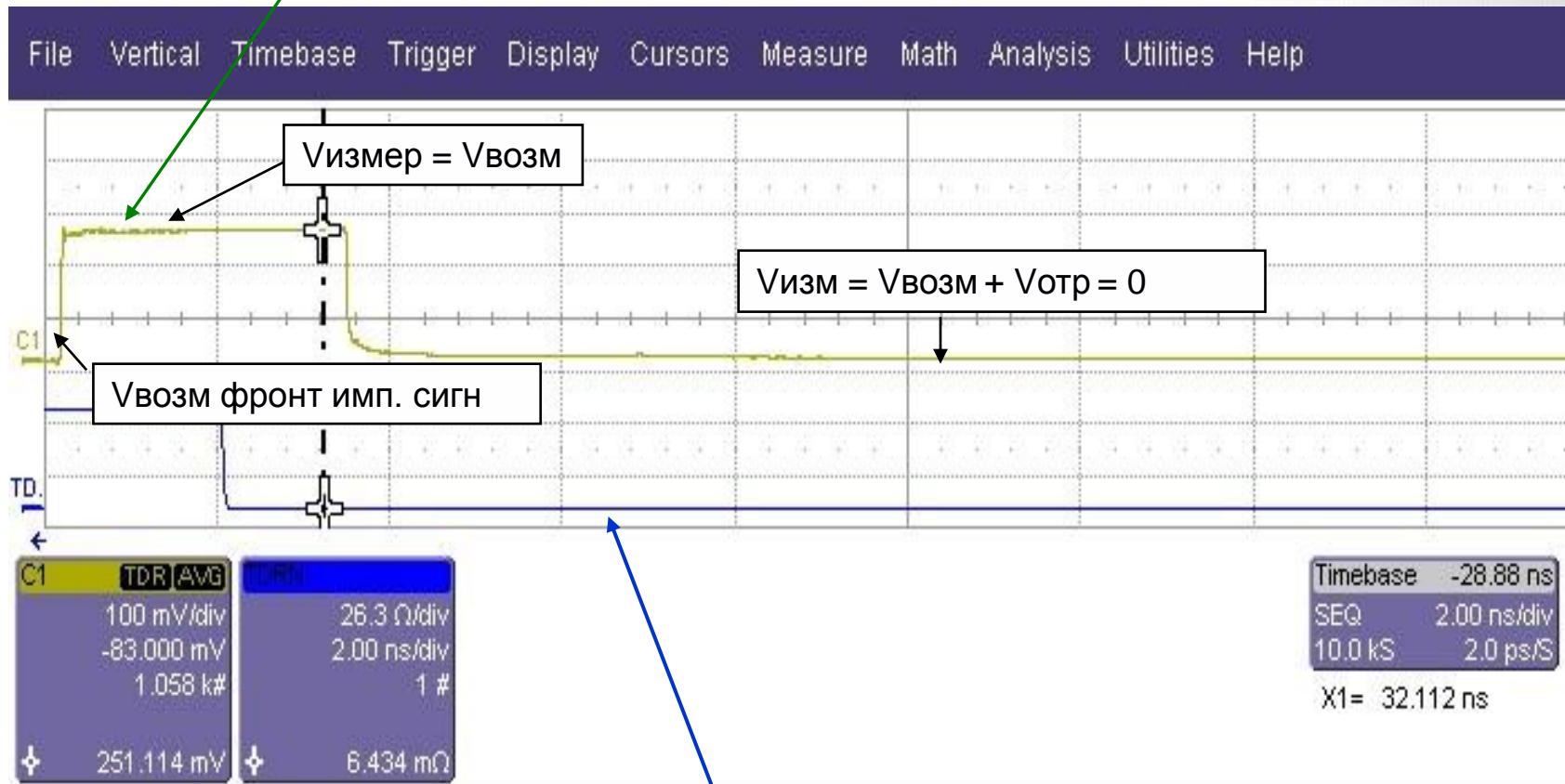
Отображение ИР



Короткое замыкание ($Z_{нагр} = 0$)

Пример ИР

Необработанная кривая



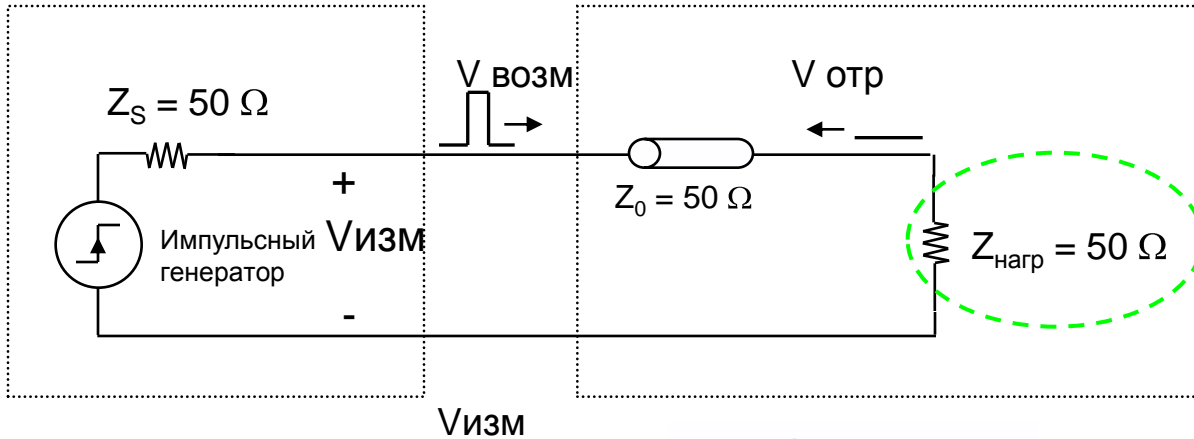
Выравненная кривая

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

Пример ИР

Модуль ИР

Тестируемое устройство

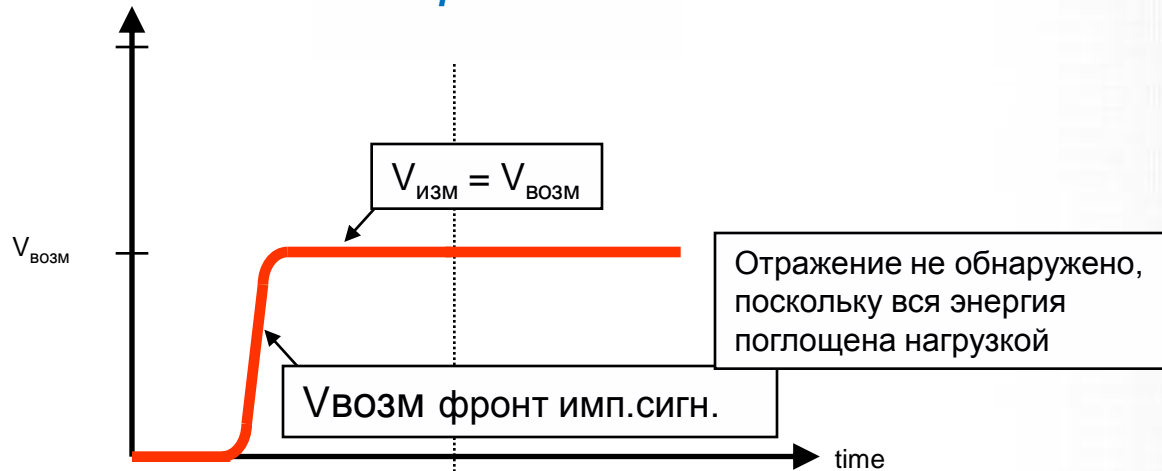


Определение $V_{\text{отр}}$:

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

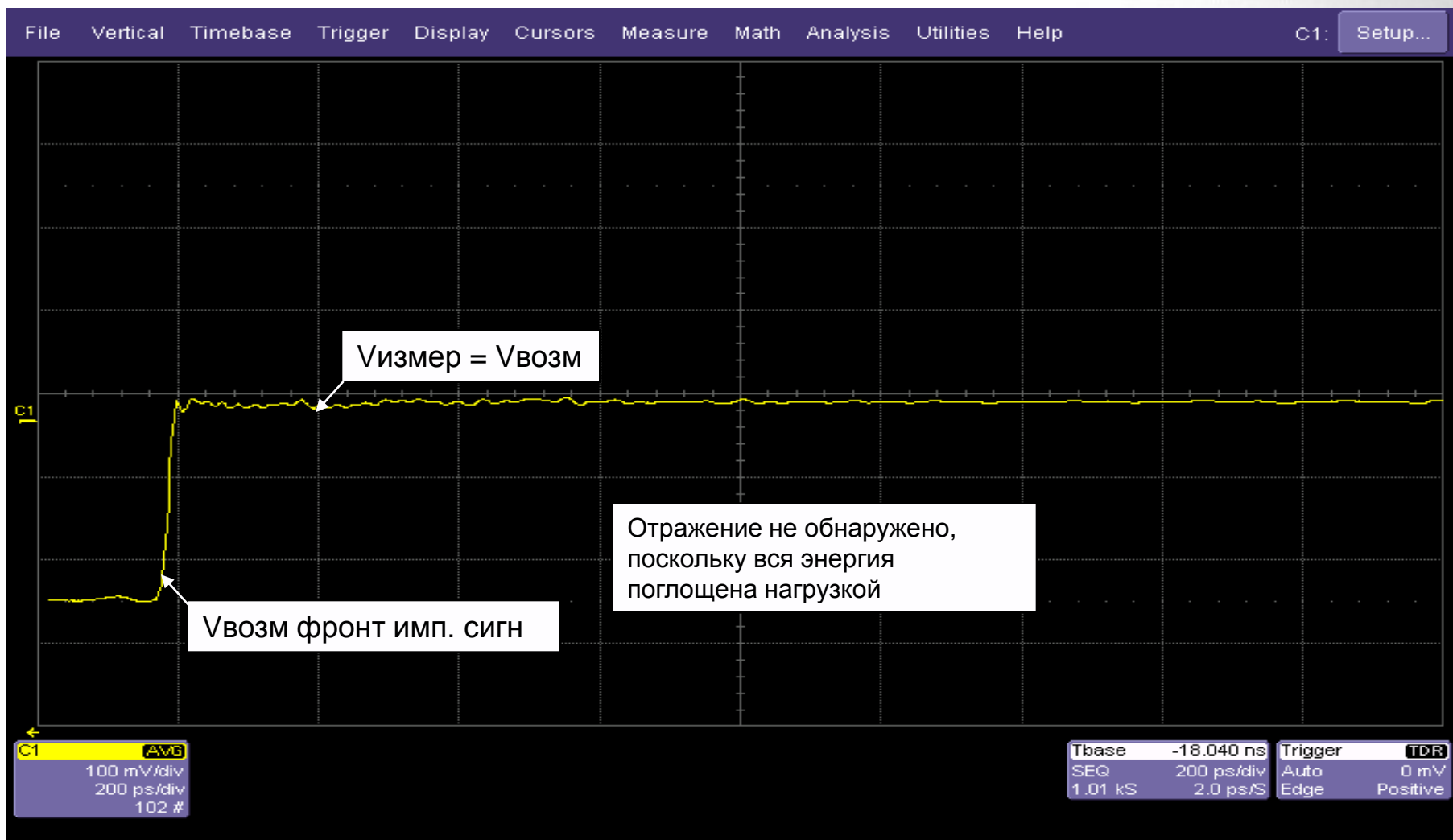
$$Z_{\text{нагр}} = Z_0, \therefore V_{\text{отр}} = 0$$

Отображение ИР



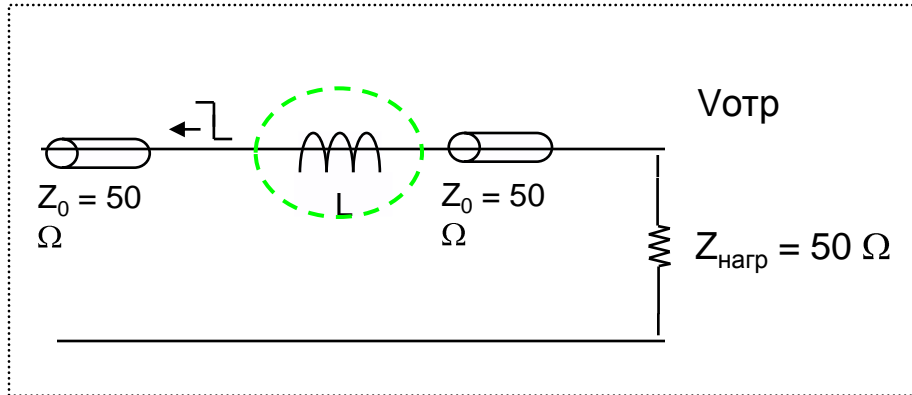
Согласованная нагрузка

Пример ИР

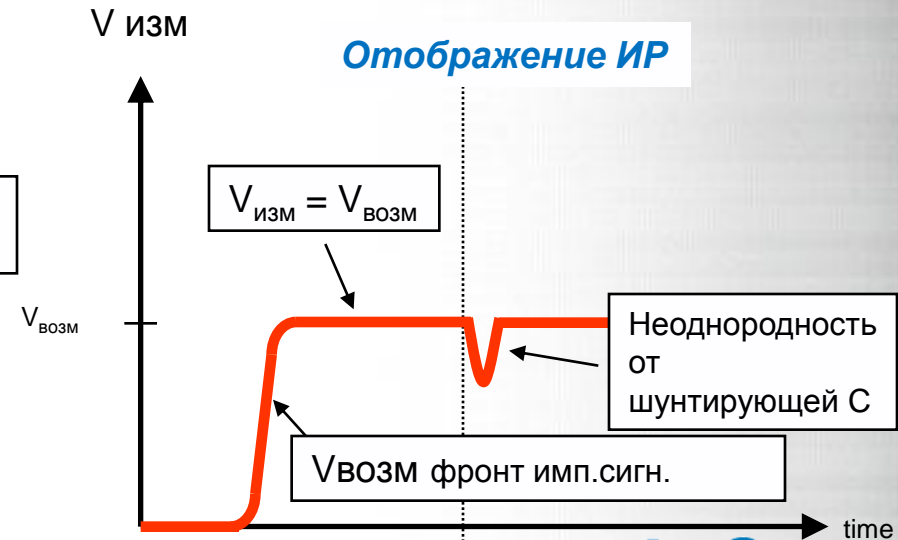
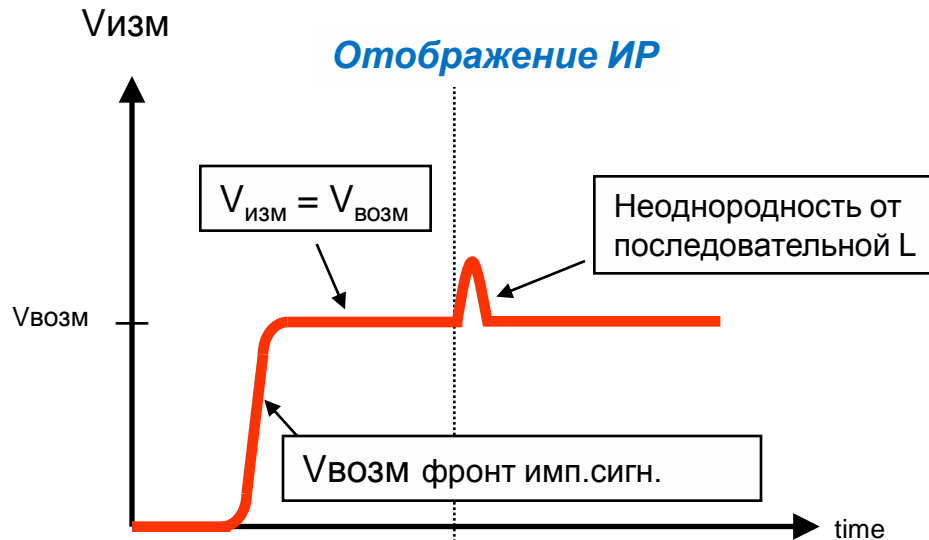
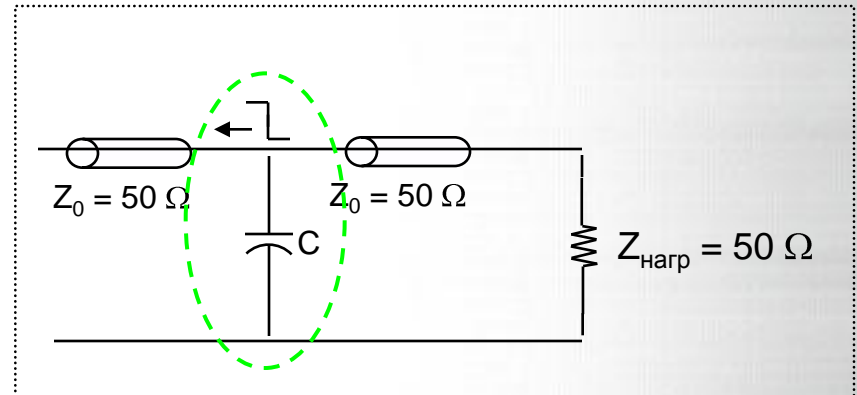


Индуктивная (L) и Емкостная (C) нагрузки

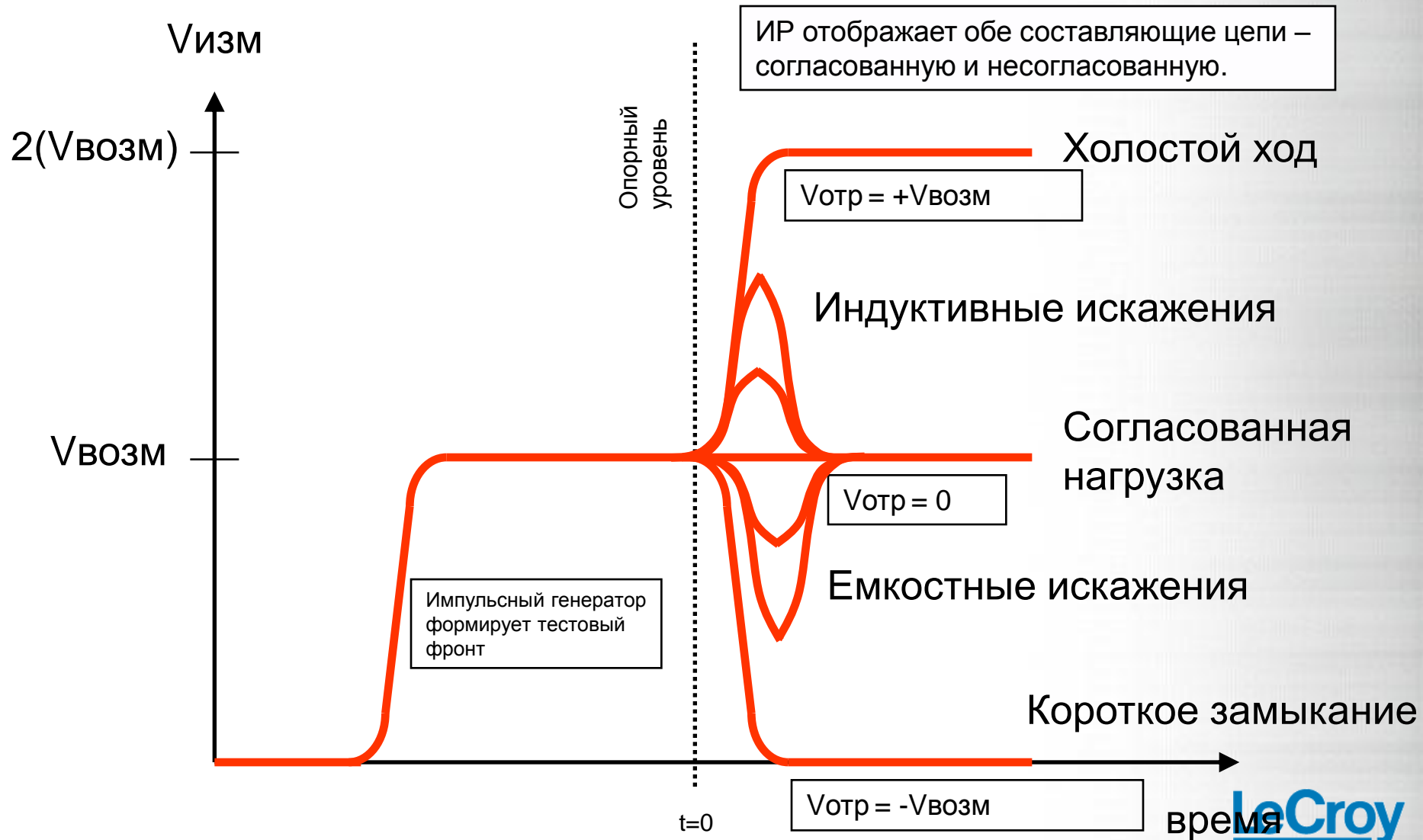
Тестируемое устройство



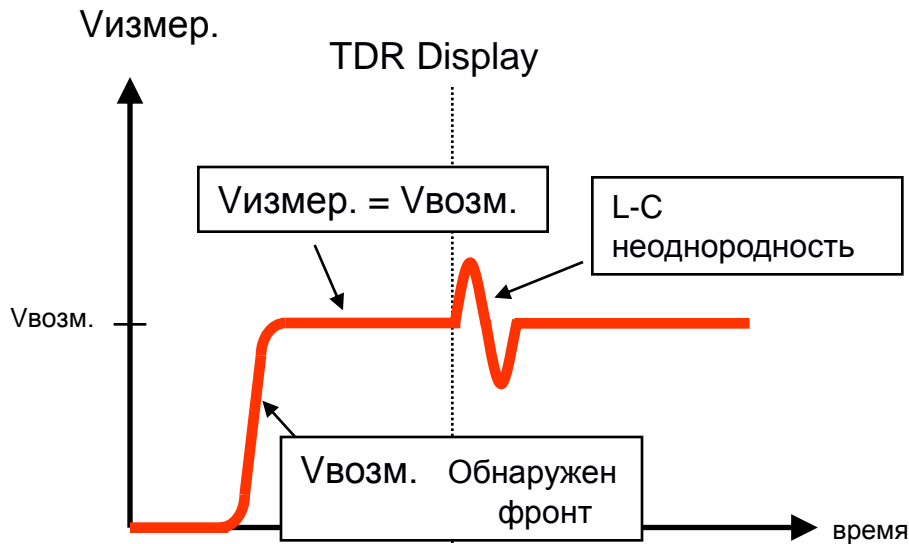
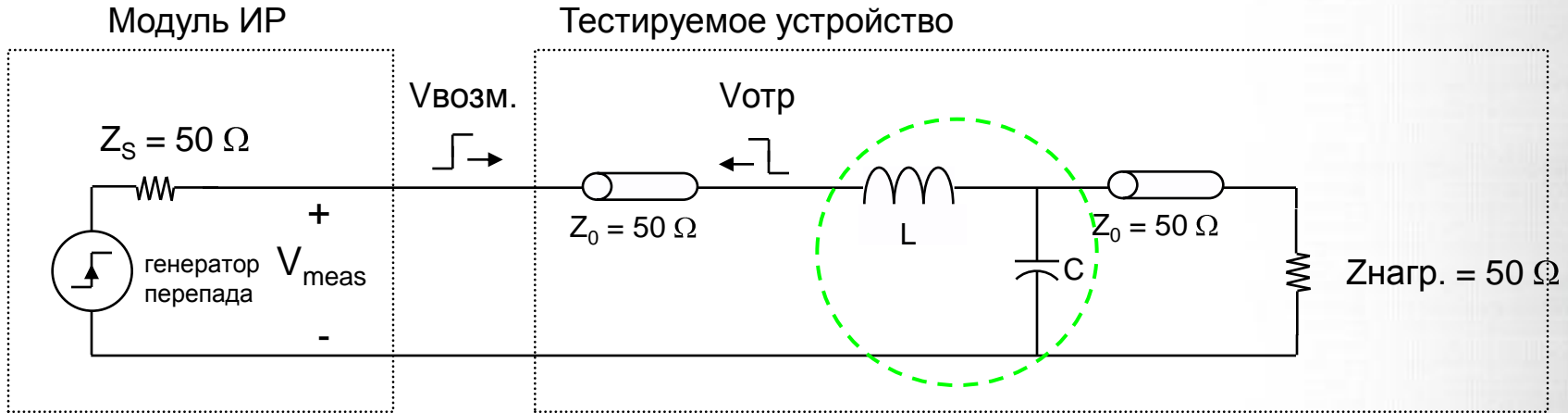
Тестируемое устройство



Понимание отображения ИР



Индуктивные (L) и Емкостные (C) неоднородности



The graph shows a red curve representing impedance $Z(t)$ over time. The curve starts at a low value at t_1 , rises to a peak at t_2 , and then falls back to the initial level. This shape is characteristic of an inductive discontinuity.

Индуктивность может быть рассчитана непосредственно по форму сигнала

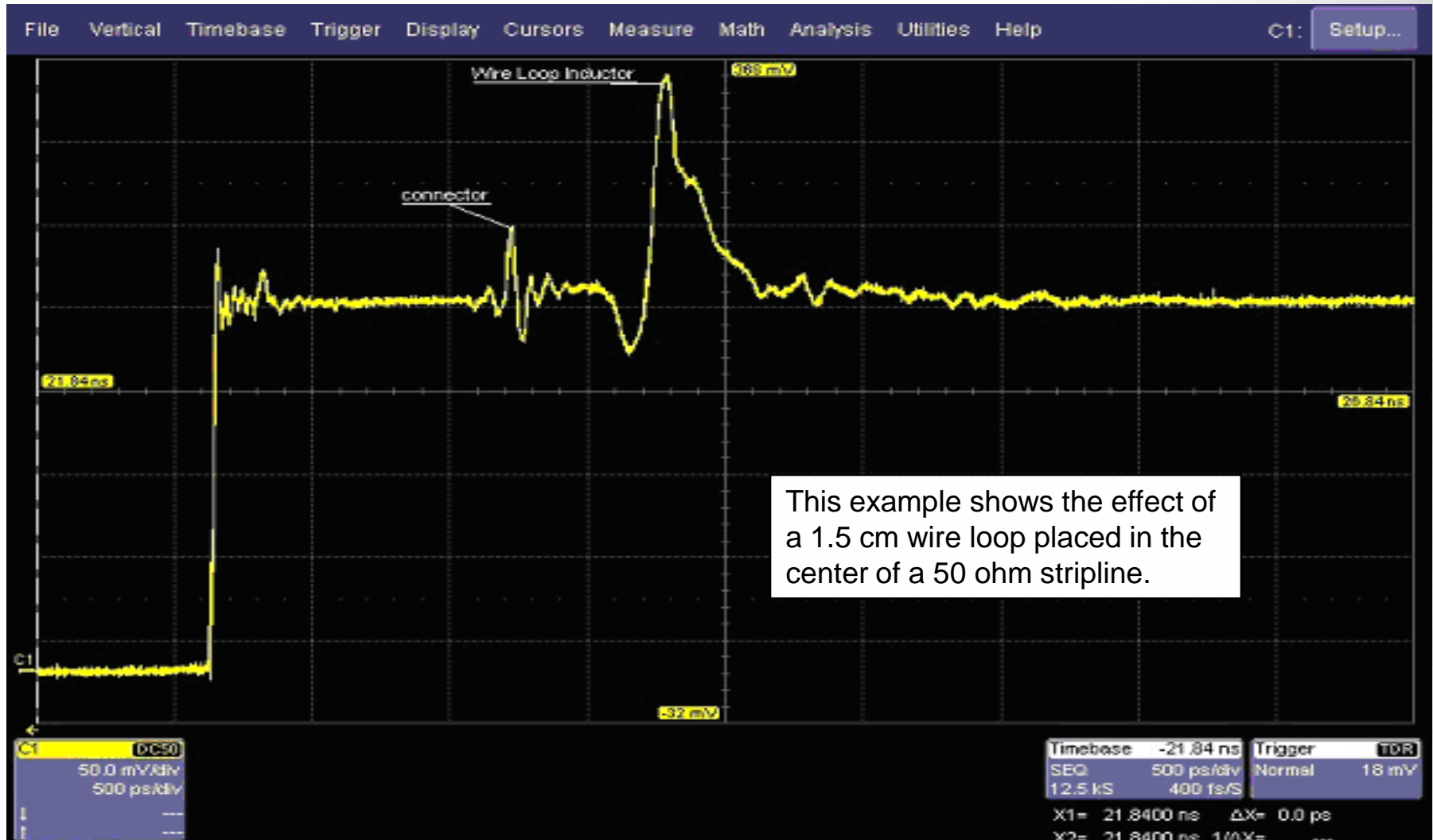
$$L = \frac{1}{2} \int_{t_1}^{t_2} Z(t) dt$$

The graph shows a red curve representing impedance $Z(t)$ over time. The curve starts at a high value at t_1 , falls to a minimum at t_2 , and then rises back to the initial level. This shape is characteristic of a capacitive discontinuity.

Емкость может быть рассчитана непосредственно по форму сигнала

$$C = \frac{1}{2} \int_{t_1}^{t_2} \frac{1}{Z(t)} dt$$

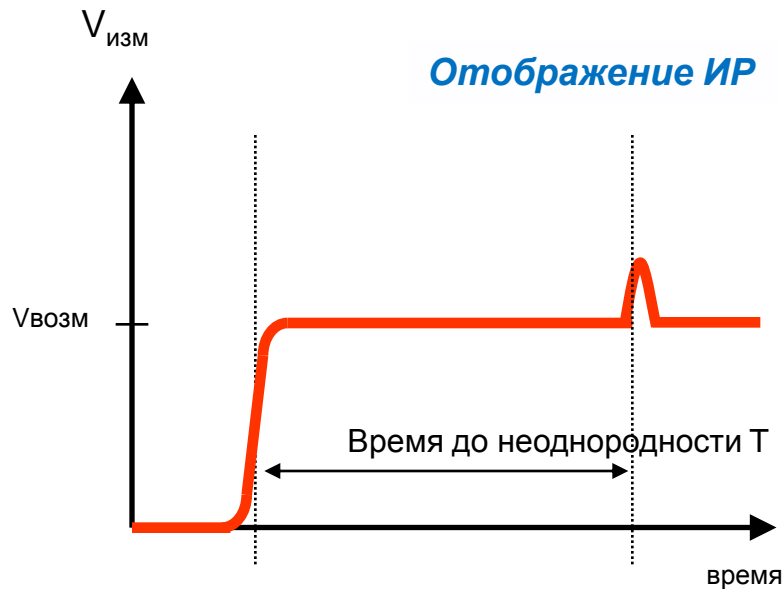
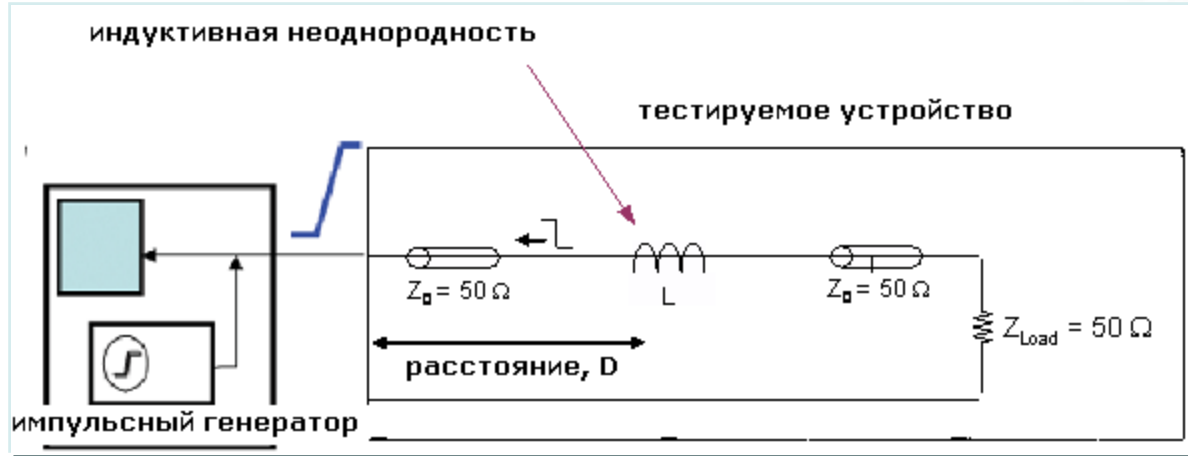
Последовательная индуктивность (L)



Шунтирующая емкость (С)



Определение места нахождения



Физически расстояние до неоднородности может быть определено как:

$$D = 0.5 \cdot (T) \cdot (v_p)$$

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)

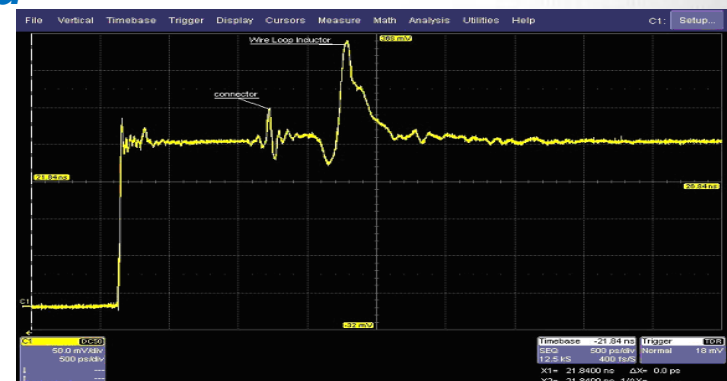
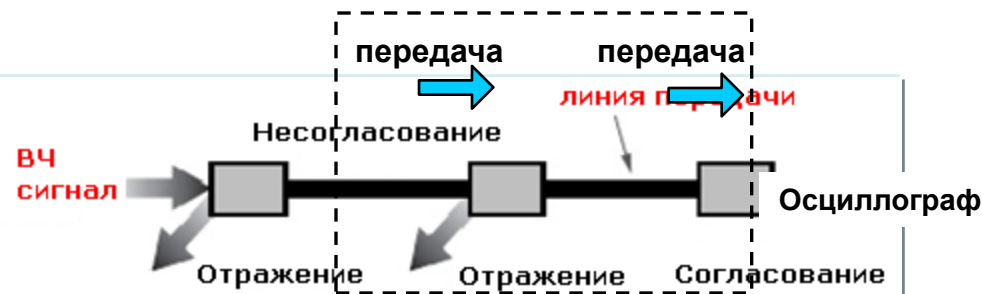
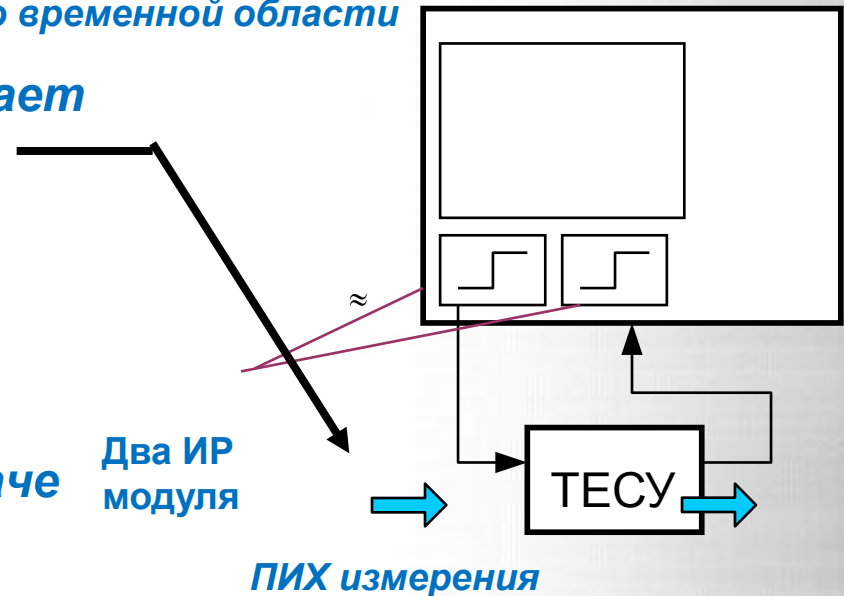
Многоступенчатое сопротивление



Что такое передаточная импульсная характеристика

❖ это измерения передаточной характеристики во временной области

- ✓ Импульсный генератора 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 :

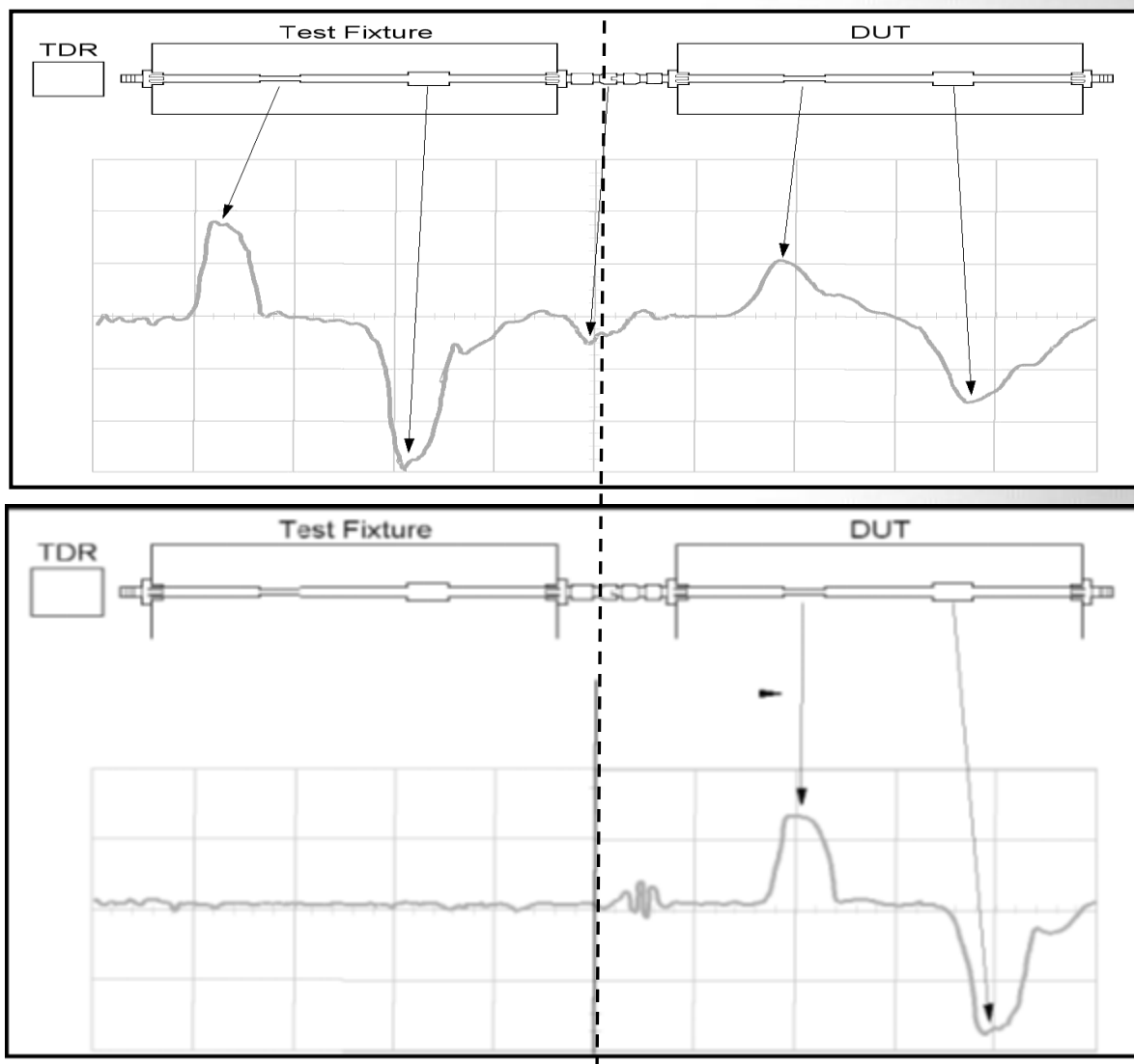
❖ КЗ

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

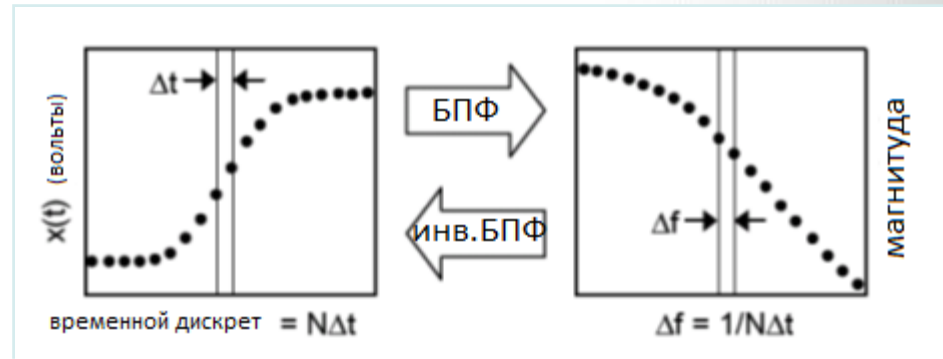


TDR/TDT, векторные анализаторы и измерение S-параметров

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

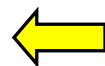
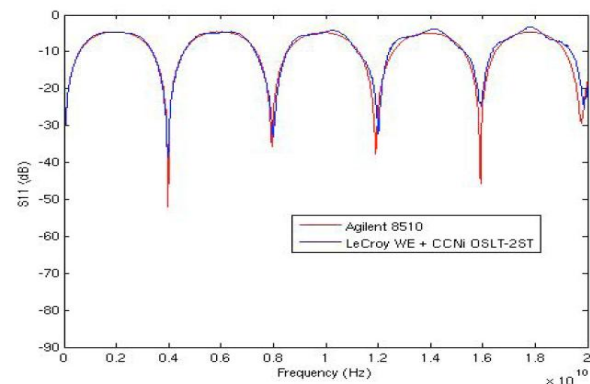
✓ TDR/ TDT измерения могут быть преобразованы в частотный домен для анализа S-параметров.

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



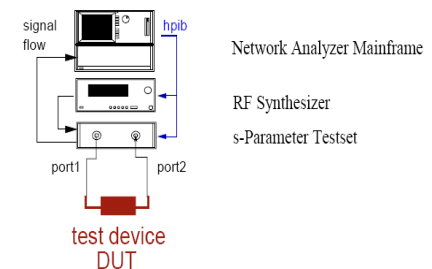
TDR/TDT

S-параметры

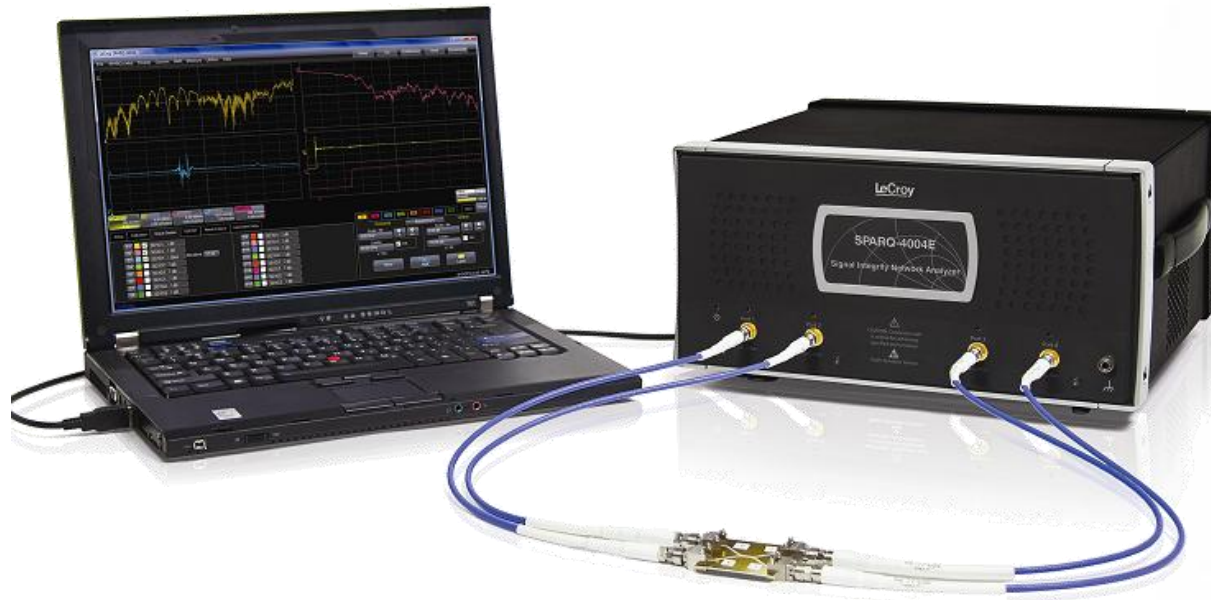


Отражение— корреляция в S_{11}

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



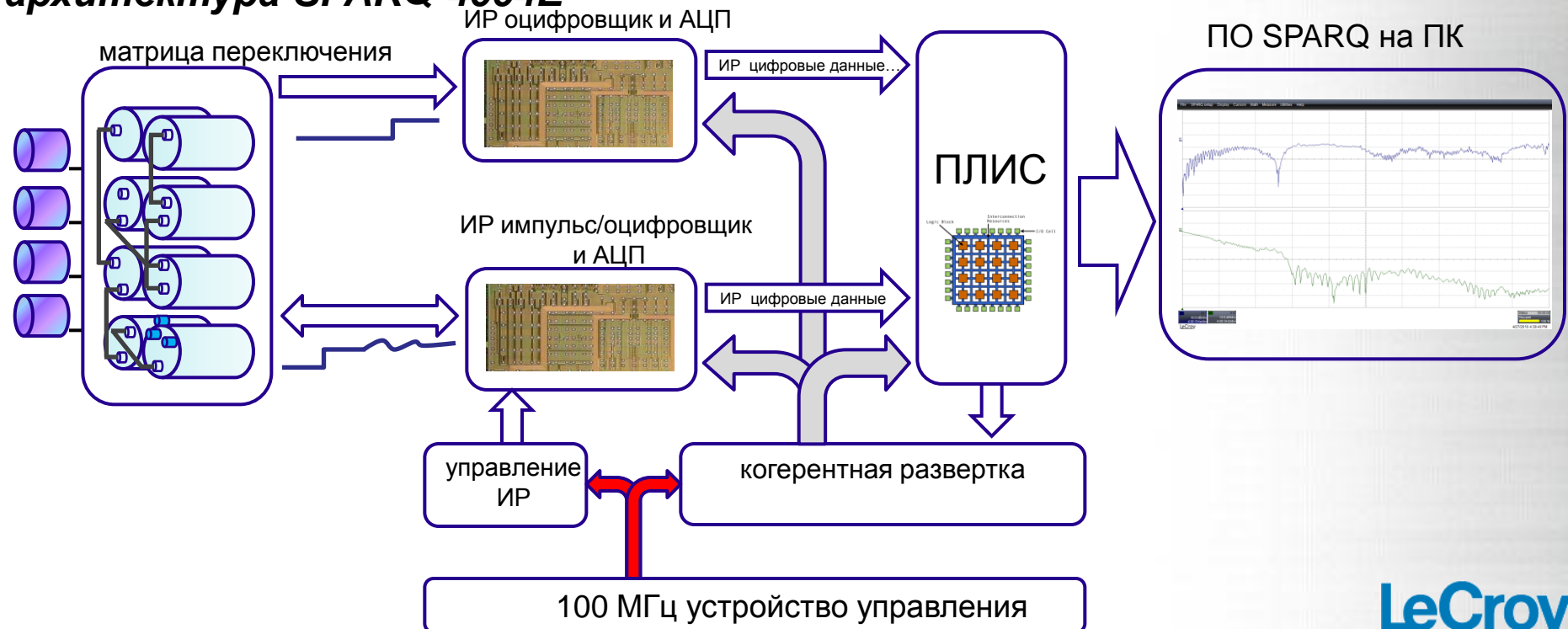
Архитектура SPARQ

LeCroy

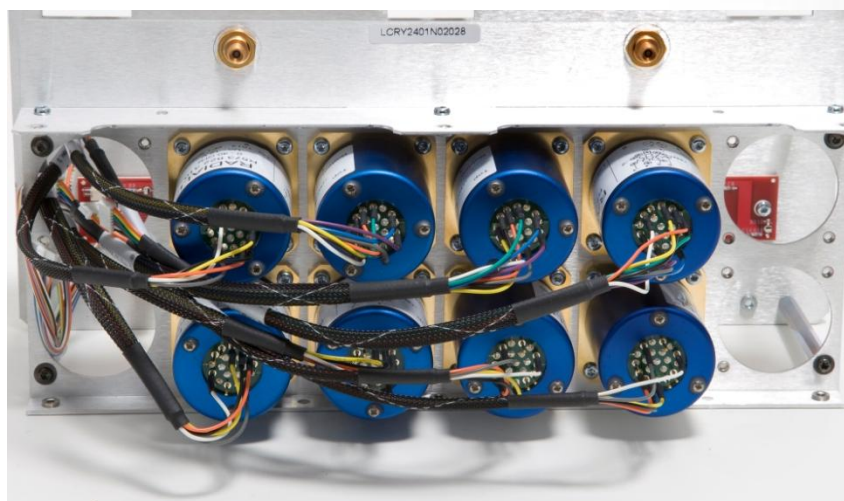
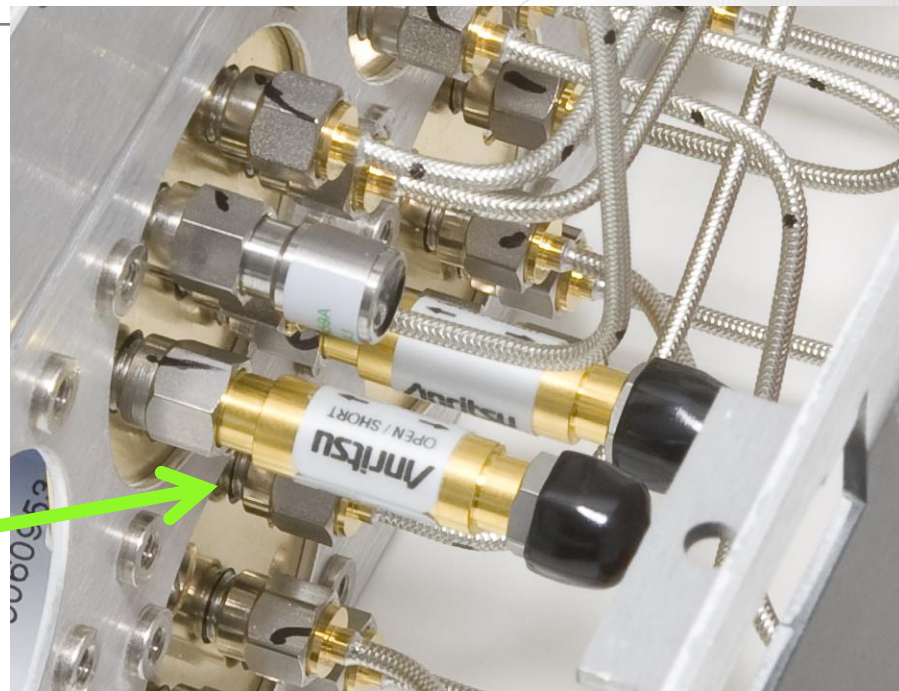
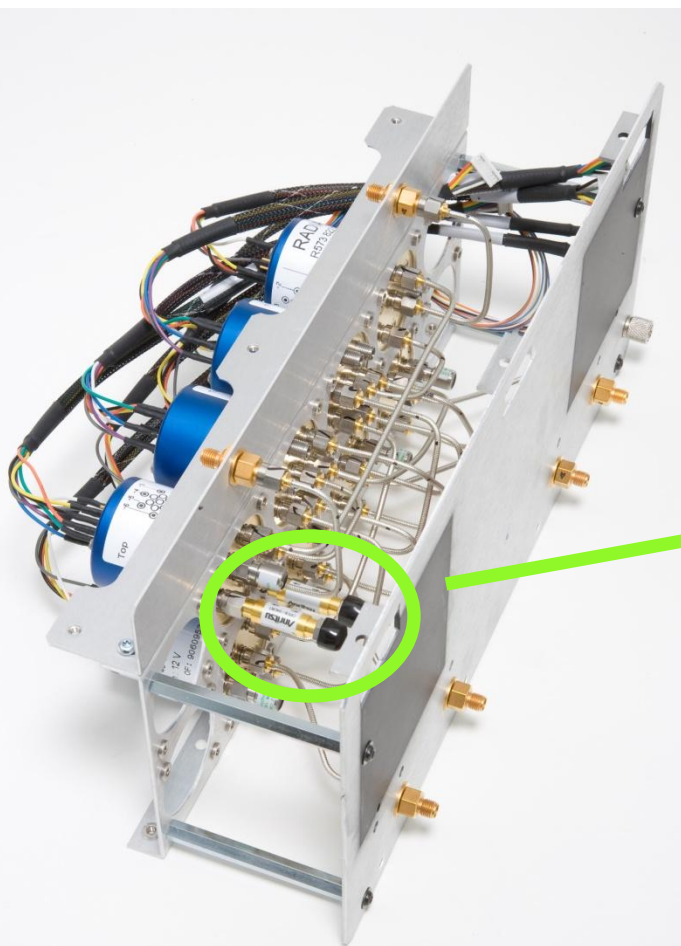
Основан на принципе импульсной рефлектометрии

- 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

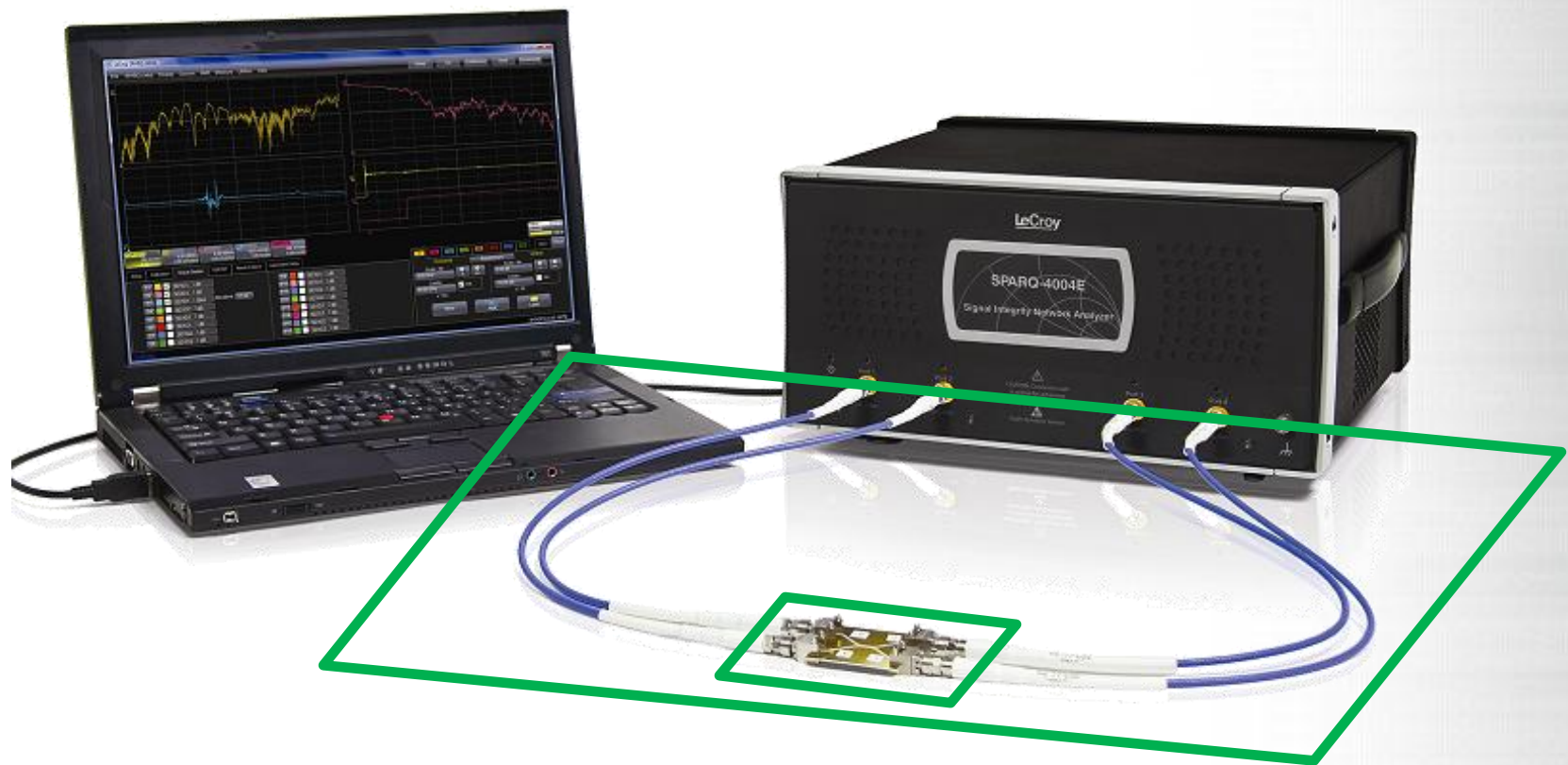


Так это выглядит изнутри 😊



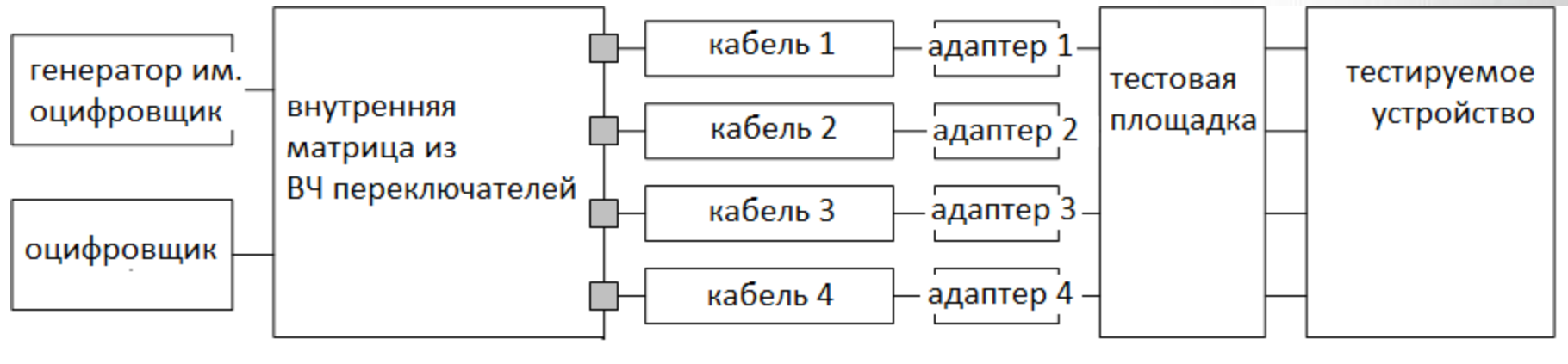
Где образцовые площадки для подключения?

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



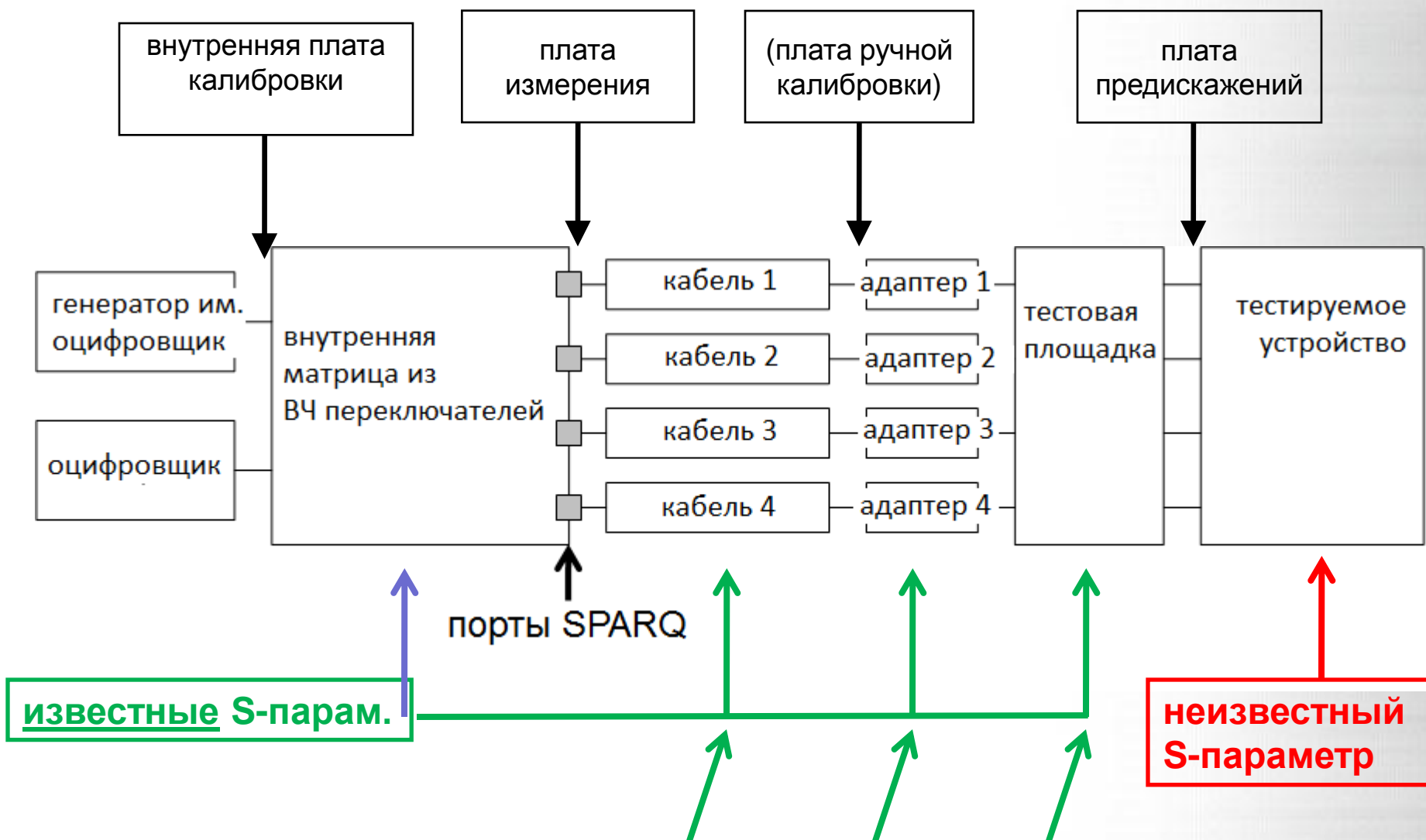
возможности SPARQ по самокалибровке

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.

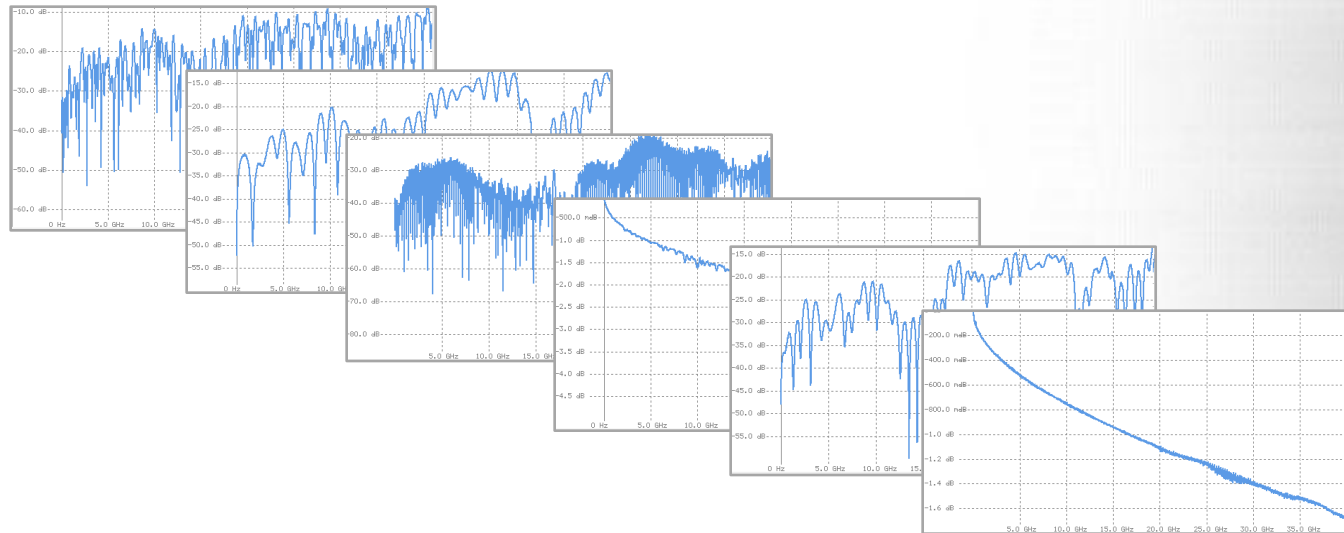
План-Карта SPARQ



пользователь контролирует файлы S-параметров через интерфейс

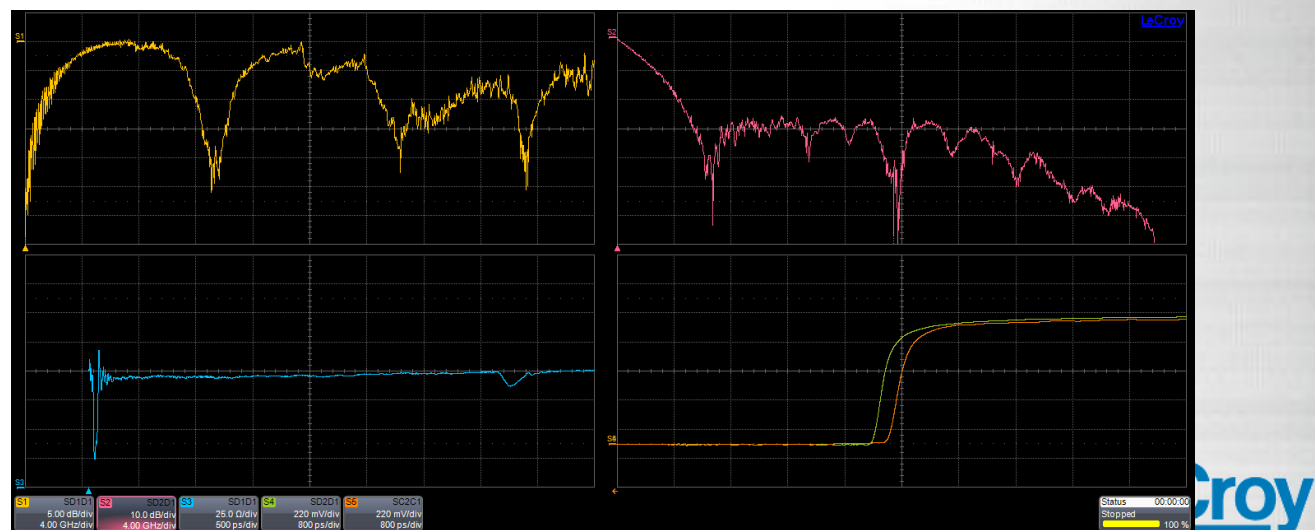
процесс компенсации в SPARQ

Заданные
S-параметры
компонентов
системы...

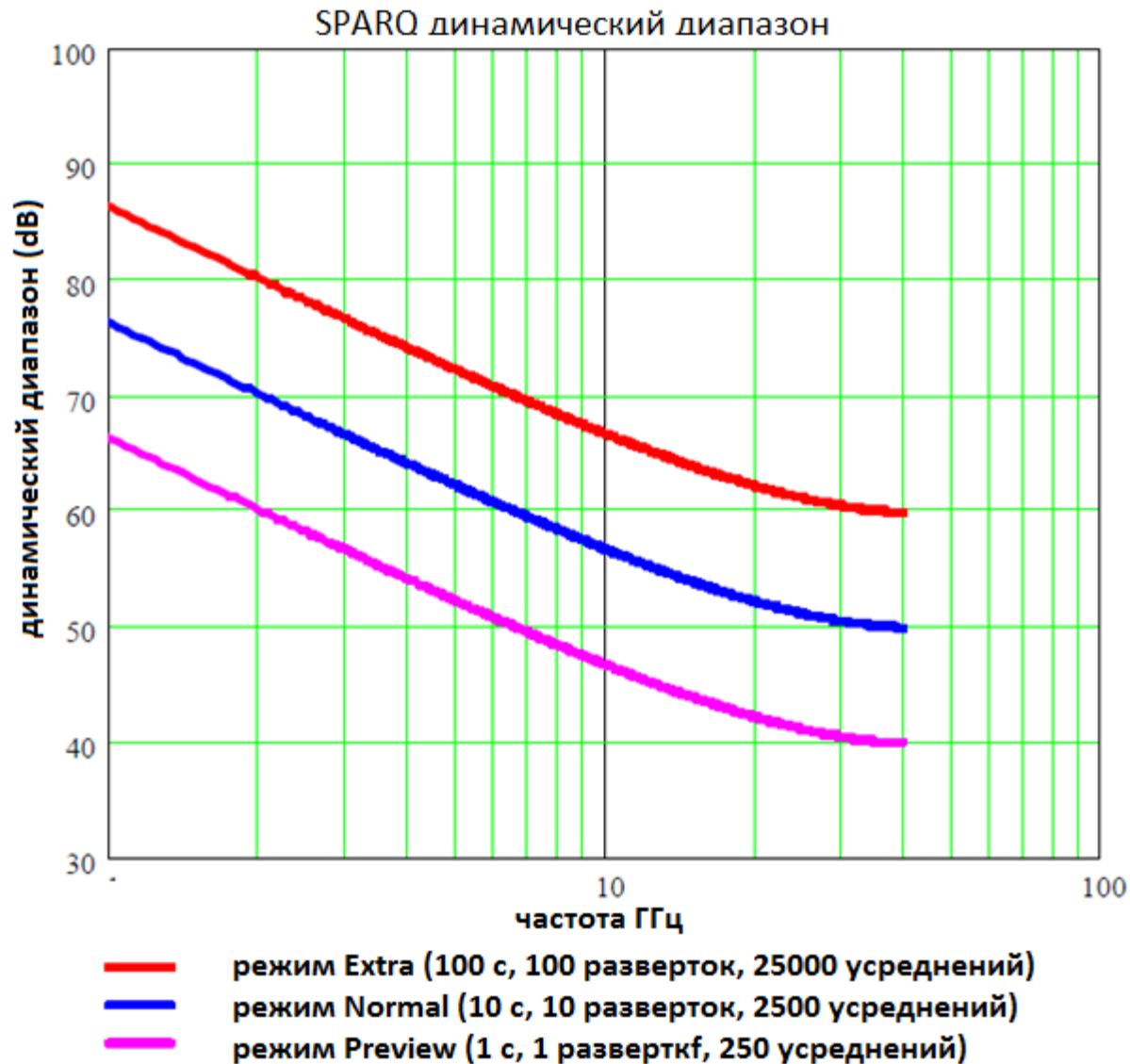


...и использование OSLT калибровки...

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

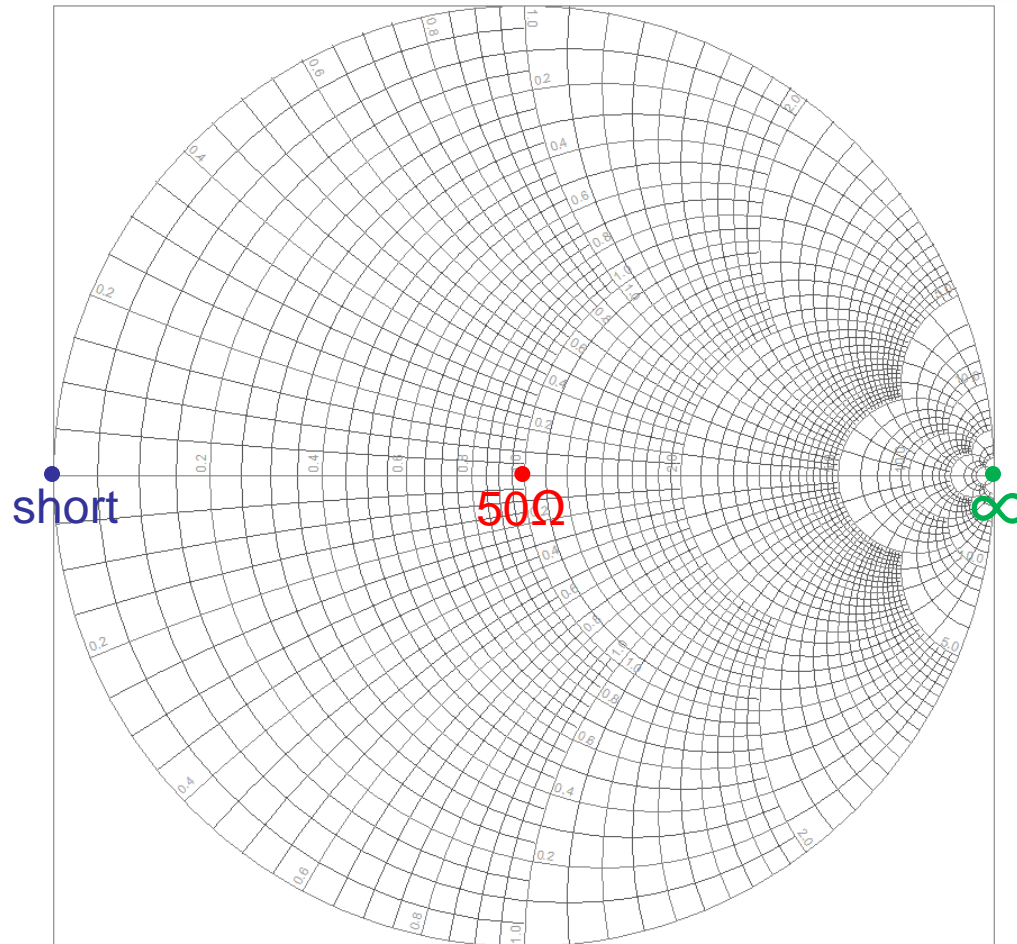


Результаты измерения SPARQ

Экран отображения SPARQ



Диаграмма Смита



LeCroy

S1 Invalid result S11 Invalid result S12 Invalid result S13 Invalid result S14 Invalid result TDR1T1 No data available TDR1T2 No data available

Status 00:00:00
Idle 0 %

Инструмент для оценки целостности сигнала, который вы оживали

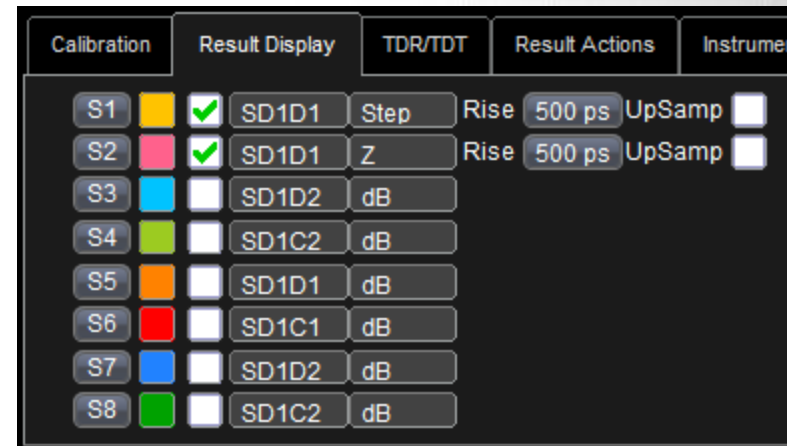
1. измерение АЧХ в дифференциальном и несимметричном режимах до 40 ГГц
2. Смешанный режим измерения ослабления до 40 ГГц
3. ИР осциллограмма во время измерения
4. измерение ослабления в дифференциальном и несимметричном режимах до 40 ГГц
5. Режим отображения АЧХ
6. измерение сопротивления в дифф. и несимметричном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



8. до 16 одновременно индицируемых измерений

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.

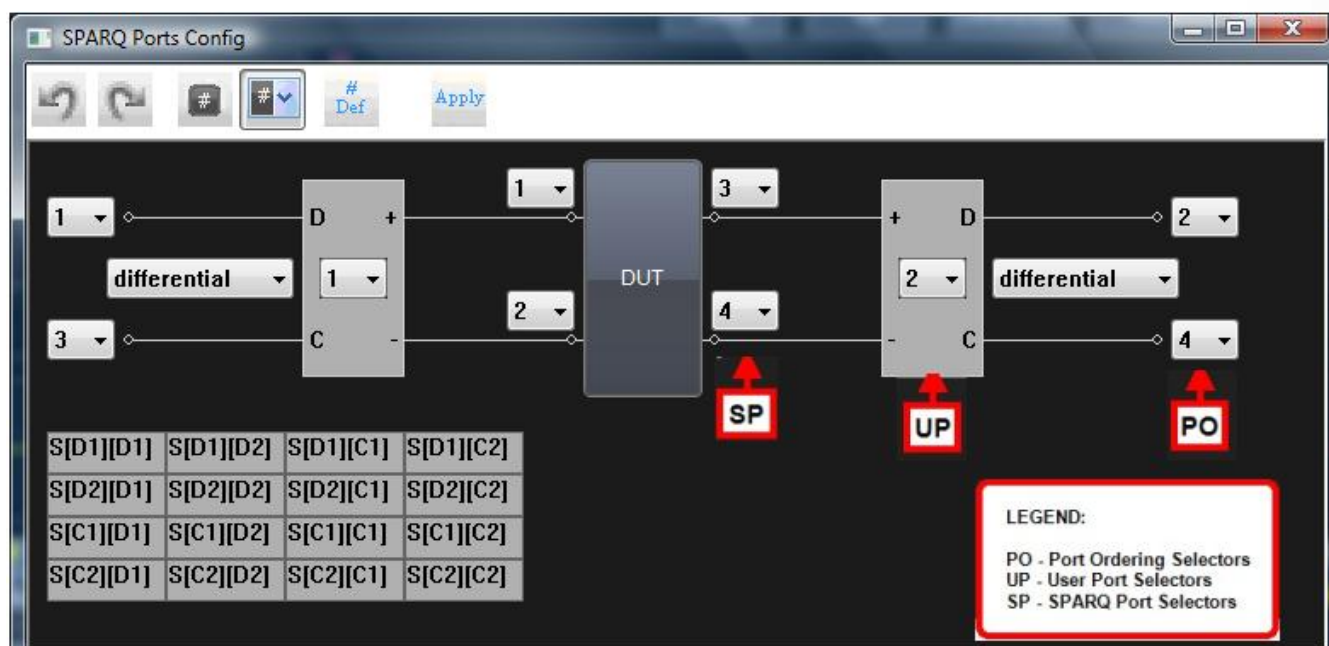


- **селектор результата:**
 - результат в частотной области
 - результат во временной области (Rho и Z только для S11, S22)



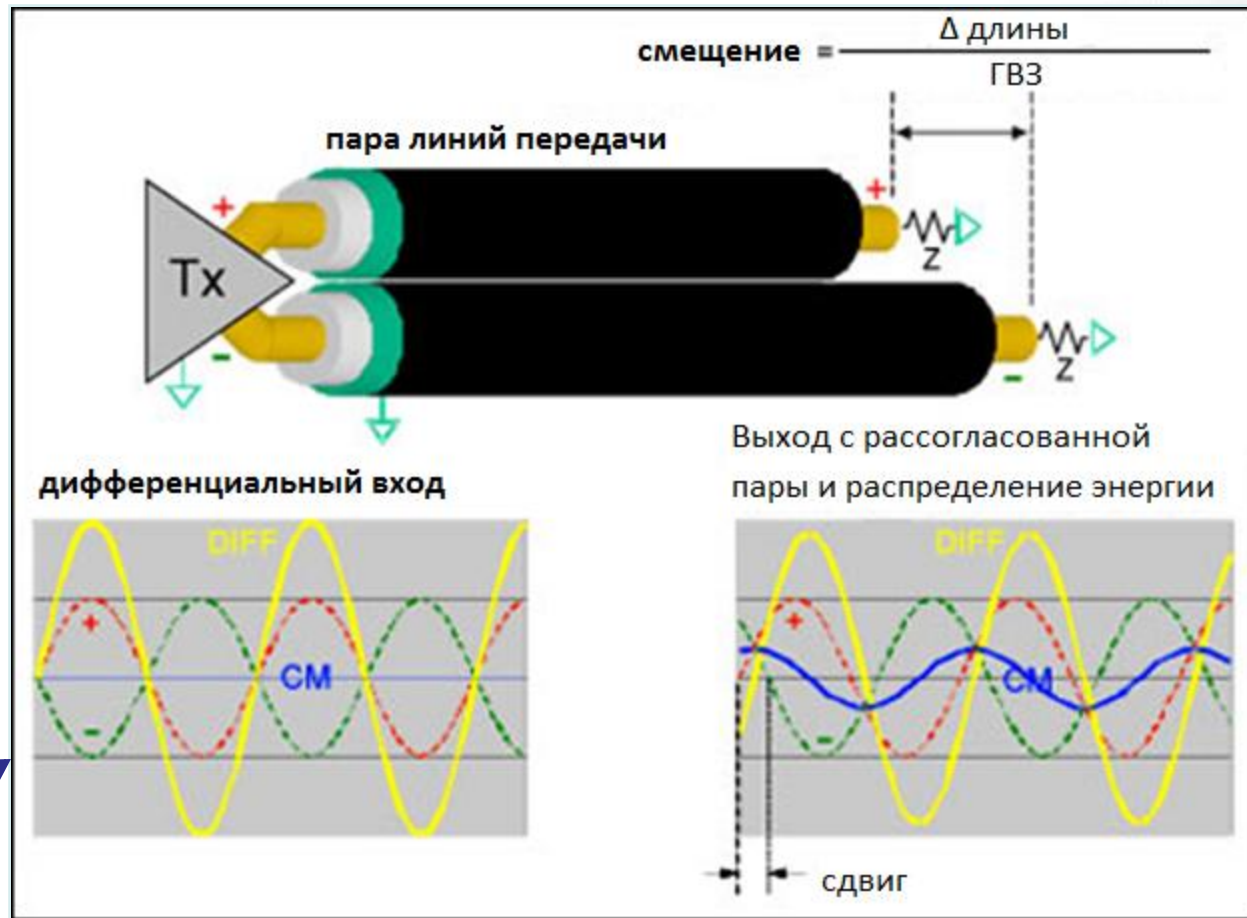
Несимметричный режим <-> смешанный режим

- 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

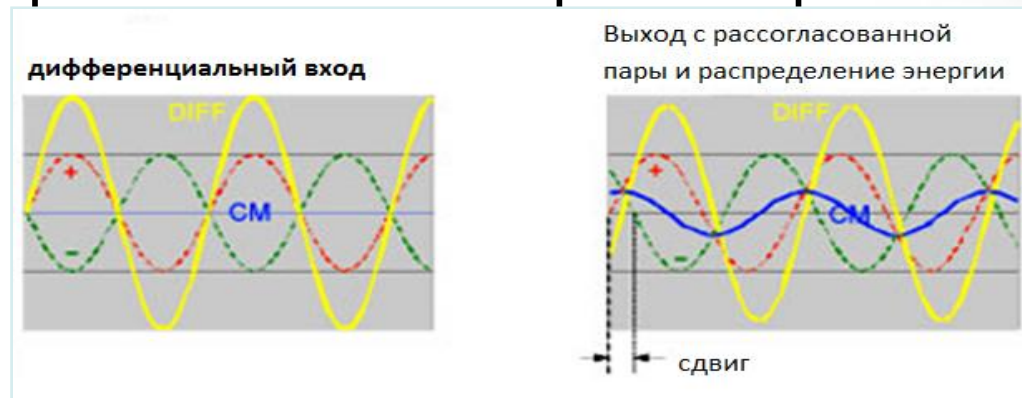
Это может быть использовано для определения дифференциальных свойств цепи, преобразованием в режим смешанных S-параметров

Режим смешанных S-параметров

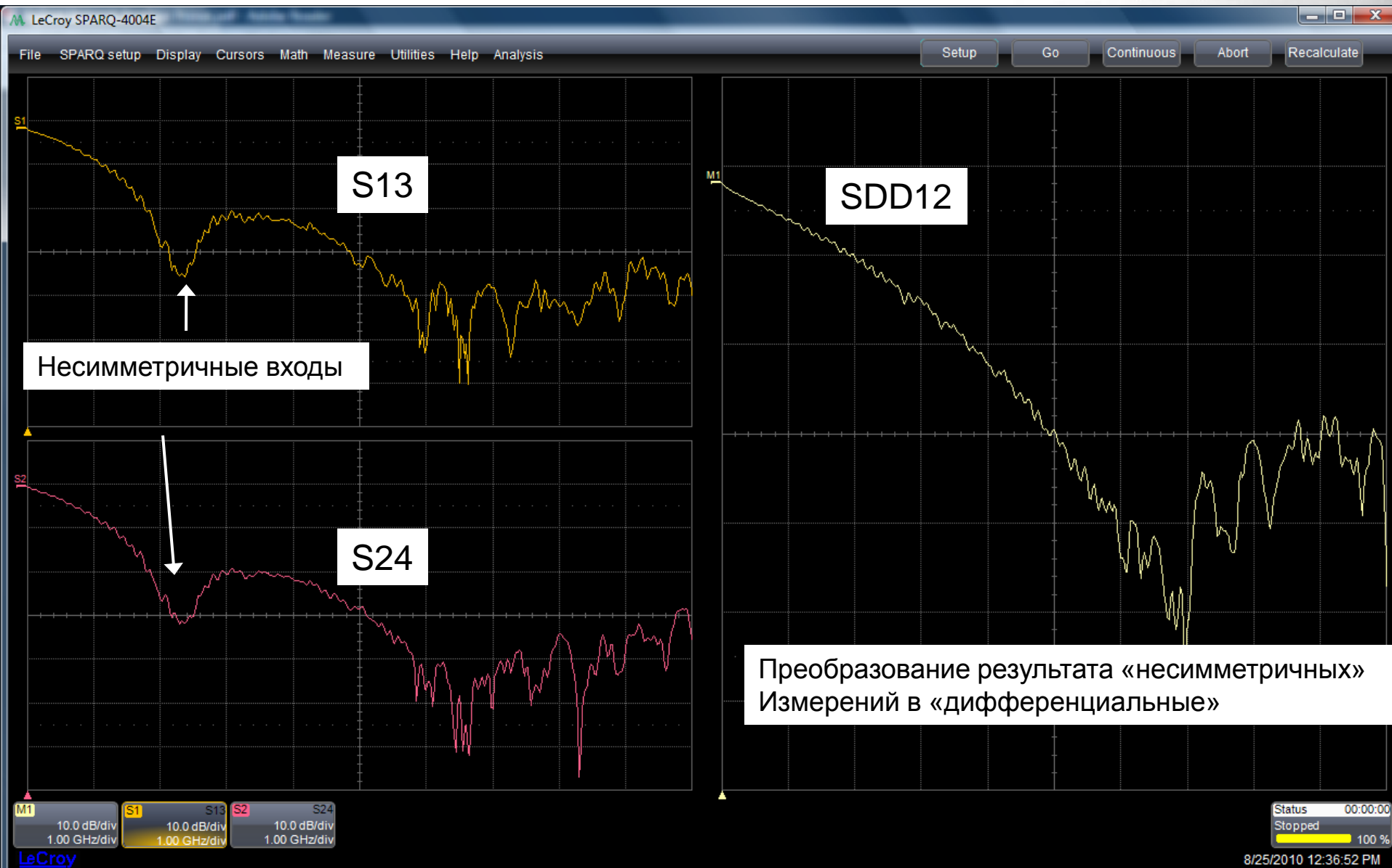


$$\begin{bmatrix} sdd_{11} & sdd_{12} & sdc_{11} & sdc_{12} \\ sdd_{21} & sdd_{22} & sdc_{21} & sdc_{22} \\ scd_{11} & scd_{12} & scc_{11} & scc_{12} \\ scd_{21} & scd_{22} & scc_{21} & scc_{22} \end{bmatrix}$$

- 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

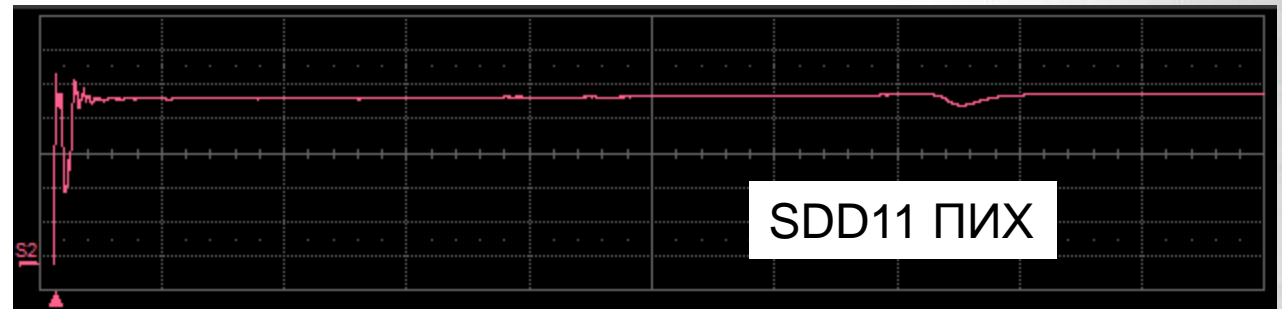
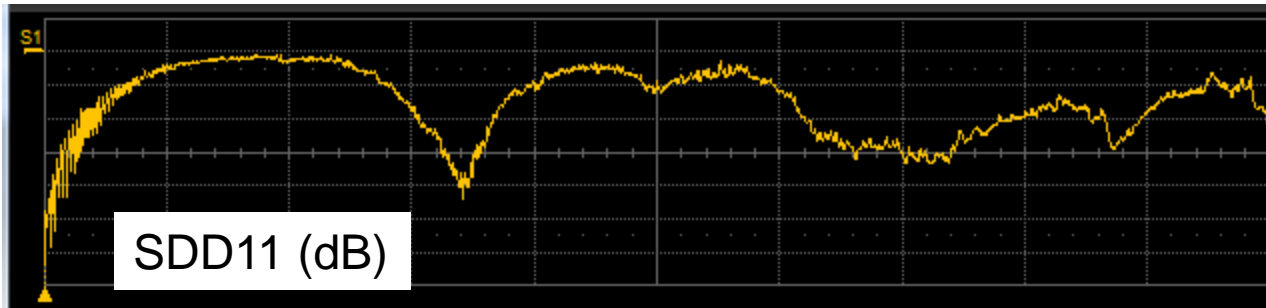




Результаты SPARQ во временной области

Переходная импульсная характеристика

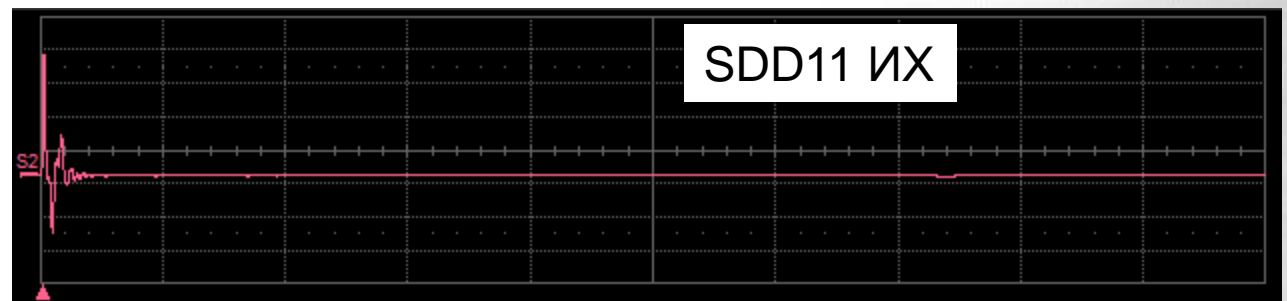
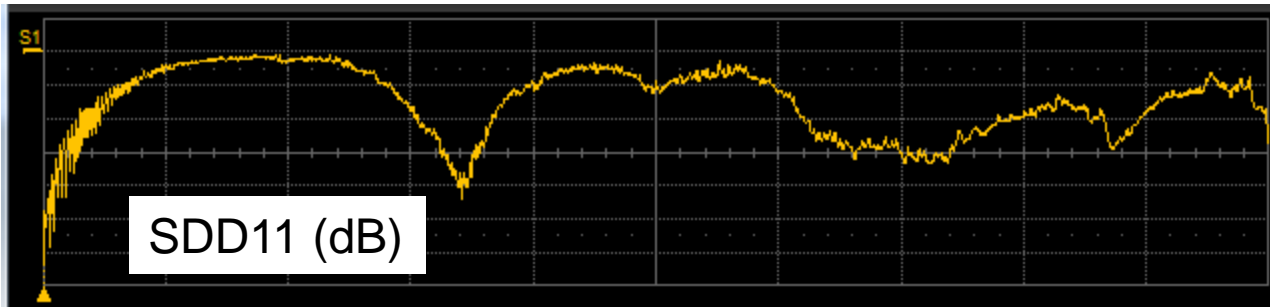
- Отображение переходной характеристики для заданного пользователем времени нарастания
- Форма ПИХ близка к синусоиде.



Импульсная характеристика

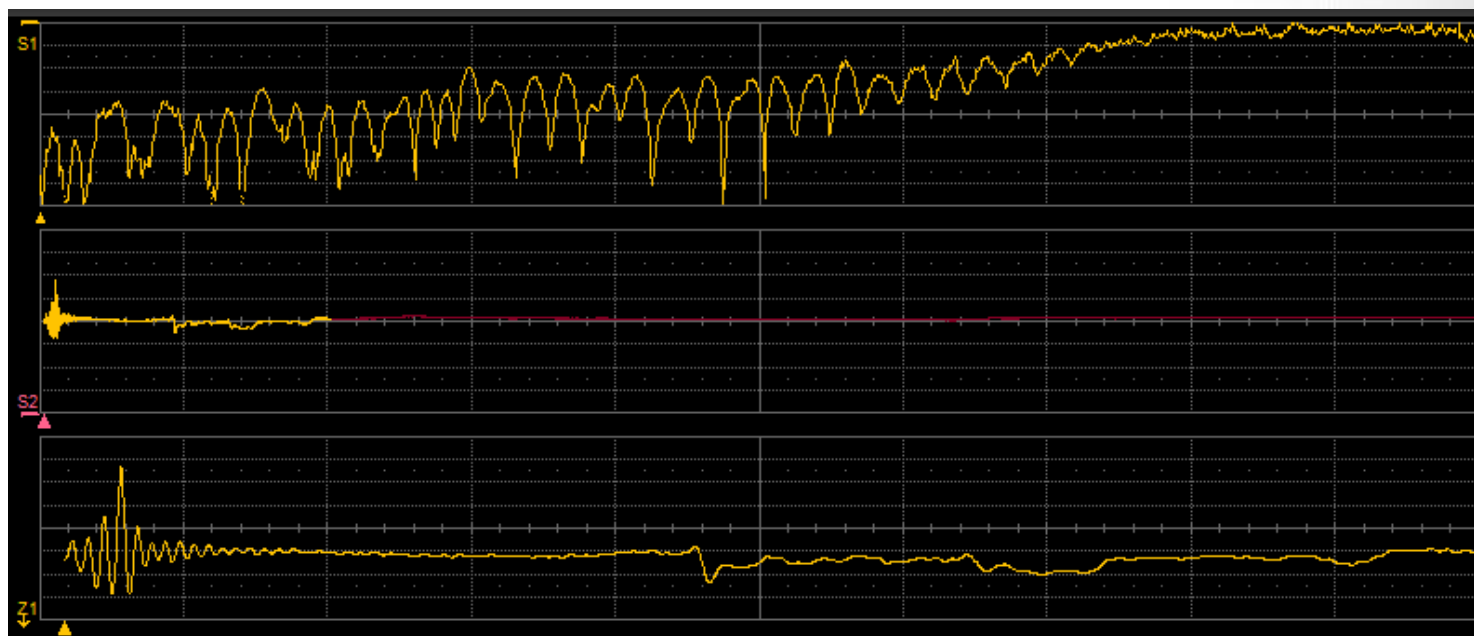
- Производная от переходной импульсной характеристики - импульсная характеристика

Пример: SD11 и SD22 ИХ:



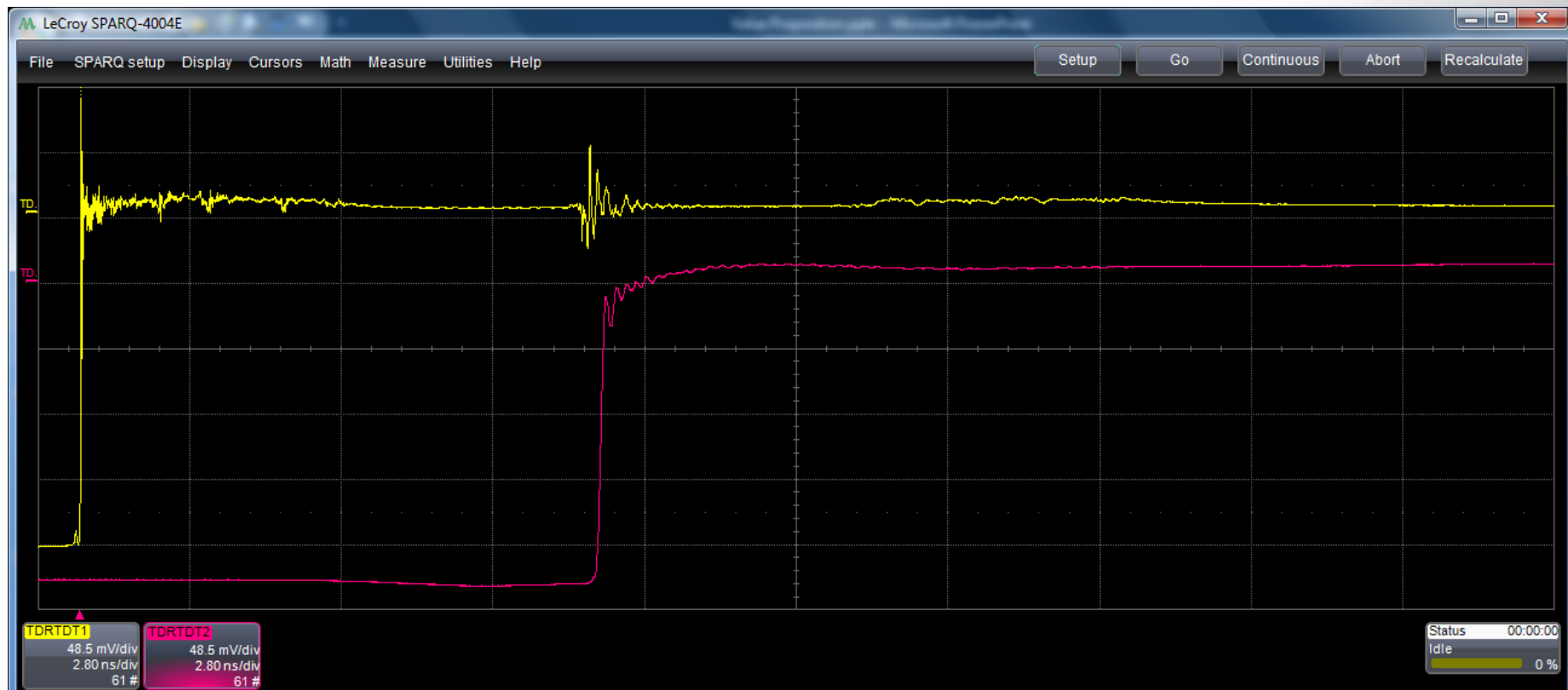
Измерение Z и R

- 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

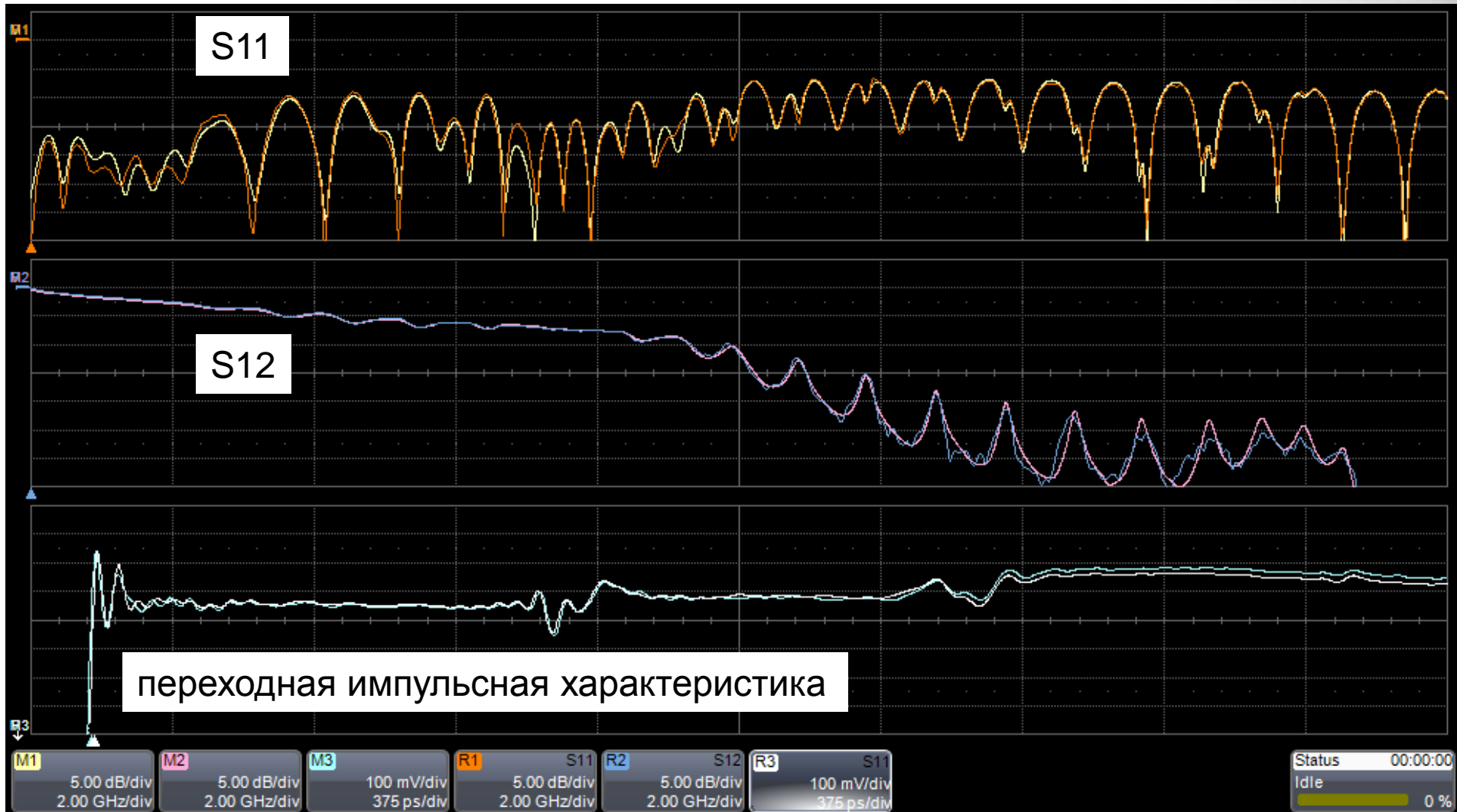
измерения SPARQ 4004E

полосовой
фильтр

НЧ фильтр

LeCroy

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