

## Аппаратно-программный комплекс моделирования межсхемных соединений высокопроизводительных систем

Колесников М.А.

Чудинов С.М.

### ОСНОВНЫЕ КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАЗРАБОТАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Задача электронного конструирования межсхемных соединений с прогнозированием надежности информационного обмена между логическими элементами является традиционно сложной для любого разработчика электронных систем.

При расчете переходных процессов в линиях связи особенно остро встает проблема **точности математических моделей**, т.к. любая модель основана на ряде физических допущений, а, следовательно «работает» в ограниченном диапазоне геометрических и электрических характеристик линий передачи. Результаты моделирования в различных САПР достигают десятки процентов.

В связи с выше изложенным, предлагается технология моделирования межсхемных соединений в основе, которой лежат три концепции.

#### Концепция 1

Создать глобальную модель системы межсхемных соединений невозможно по причине широкого разнообразия физических процессов, искажающих целостность логических сигналов на различных конструктивных уровнях проектируемого устройства, такие как, отражения, интерференция, резонанс, скин-эффект, диэлектрические потери и др.

Для решения проблемы предлагается использовать ряд простейших микромоделей межсхемных соединений на всех конструктивных уровнях проектируемой электронной системы при дальнейшем синтезе максимальной помехи монтажа на входах логических элементов. В микромоделях наглядно отражается влияние элементов монтажа на общую целостность логических сигналов.

#### Концепция 2

Основная идея разработки программно-аппаратного комплекса моделирования (АПКМ) заключается в объединении программного ядра, содержащего алгоритмы моделирования переходных процессов в межсхемных соединениях с измерительным трактом, позволяющим исследовать реальные осциллограммы переходных процессов в линиях передачи с известными геометрическими и электрическими характеристиками, расположенными на ТЕСТ-ПЛАТЕ. В стандартную процедуру моделирования переходных процессов добавляются две операции: операция контроля точности модели и операция коррекции постоянных коэффициентов математических моделей для контрольных линий передачи.

Такая технология моделирования позволяет оценить точность расчета переходных процессов в межсхемных соединениях путем совмещения с экспериментальными

осциллограммами, настроить параметры моделей, а следовательно повысить надежность прогнозирования информационного обмена.

### **Концепция 3**

Сроки разработки современных систем и комплексов оказывают решающее влияние на целесообразность их использования. Поэтому, комплекс моделирования должен обладать высокой производительностью для оперативного принятия решений о корректности моделей.

**Связка: USB-генератор – ТЕСТ-ПЛАТА – USB-осциллограф – Notebook, а также система мультиплицирования сигналов, позволяет исследовать переходные процессы в тест-линиях, как в автоматическом, так и в автоматизированном режимах с выбором сканируемой линии из графического интерфейса.**

## **НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ АПКМ**

Базовая технология моделирования межсхемных соединений в системе автоматизированного проектирования электронных систем и комплексов предназначена для решения следующих задач:

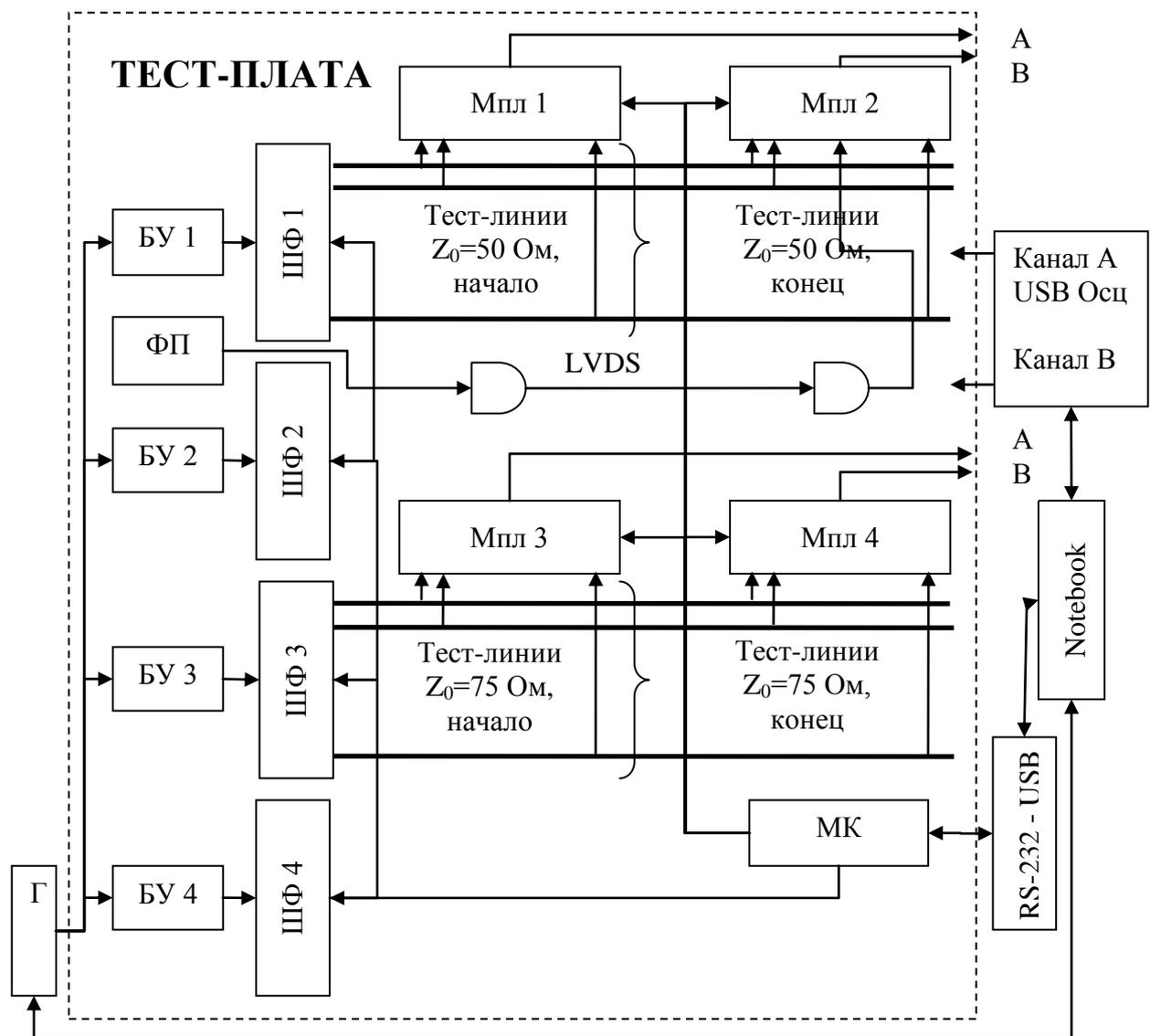
- Моделирования переходных процессов в межсхемных соединениях цифровых систем произвольной геометрии и согласования, включая помехи отражений демпфированных линий, перекрестные помехи соседних линий, помехи в контурах электропитания и амплитудные (временные) потери импульсных сигналов в интерфейсных связях;
- Контроль точности математических моделей путем совмещения экспериментальных и расчетных осциллограмм переходных процессов на одном графике;
- Прогнозирование работоспособности разрабатываемых электронных систем;
- Разработка руководящих технических материалов по проектированию элементов конструкции разрабатываемых систем и комплексов;
- Оптимизация коммутационной среды на всех конструктивных уровнях проектируемых устройств;
- Обоснование рациональных технических решений при выборе элементной базы проектируемых систем.

Основная область применения аппаратно-программного комплекса – исследование целостности логических сигналов в линиях передачи на уровне многослойных печатных плат (МПП) 1-го и 2-го уровня (ячейки и объединительные платы) с волновым импедансом 50 и 75 Ом включая многоконтактные соединители и «развязывающие» конденсаторы.

При необходимости и незначительных доработках комплекс позволяет исследовать кабельные линии связи, включая дифференциальные линии передачи.

## **СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ПОСТРОЕНИЕ КОМПЛЕКСА**

Структурно комплекс спроектирован на базе Тест-платы на которой оттрассированы эталонные линии передачи с различным типом согласования и система коммутации передатчиков и приемников логических сигналов и наведенных помех (Рисунок 1). Вид АПКМ в развернутом положении показан на Рисунке 2.



USB

- |                             |                                   |
|-----------------------------|-----------------------------------|
| Г – Генератор импульсов;    | USB Осц – USB Осциллограф;        |
| БУ – Буферный усилитель;    | МК – Микроконтроллер;             |
| ШФ – Шинный формирователь;  | Notebook – Управляющий компьютер; |
| Мпл – Мультиплексор 8x1;    | RS-232 – USB – Преобразователь;   |
| ФП – Формирователь «пачки». |                                   |

Рисунок 1. Структурная схема аппаратно-программного комплекса моделирования



Рисунок 2. Вид АПКМ в развернутом положении.

Управление режимами контроля осуществляется программно от управляющего компьютера (Рисунок 3.) и поддерживает реализацию следующих функций:

1. Расчет и измерение электрических характеристик прецизионных линий передачи, включая:
  - Волновой импеданс полосковых линий произвольной геометрии;
  - Дифференциальный волновой импеданс парафазных линий;
  - Погонная задержка импульсных сигналов в линии связи;
  - Удельная емкость сигнальных линий;
  - Коэффициент затухания гармонического сигнала печатных линий;
  - Коэффициенты емкостной и индуктивной связи связанных линий;
  - Индуктивность пары контактов питание – «земля».
2. Расчет и измерение помех отражения демпфированных линий – режим «согласования линий», включая:
  - Последовательное согласование линии в начале (50 Ом);
  - Параллельное согласование линии в конце (50 Ом, 75 Ом, 100 Ом, 250 Ом);
  - Параллельное согласование линии в конце делителем 250-250 Ом.
  - Активно-емкостное согласование делителем.
3. Расчет и измерение перекрестных помех соседних линий – режим «наводки».
4. Расчет и измерение обужения (расширения) импульсов «пачки» - режим LVDS.
5. Расчет и измерение переходных процессов в контурах электропитания при импульсном изменении тока потребления – режим «помехи по питанию».

Тип эталонной линии отражается в окне «согласование линии».

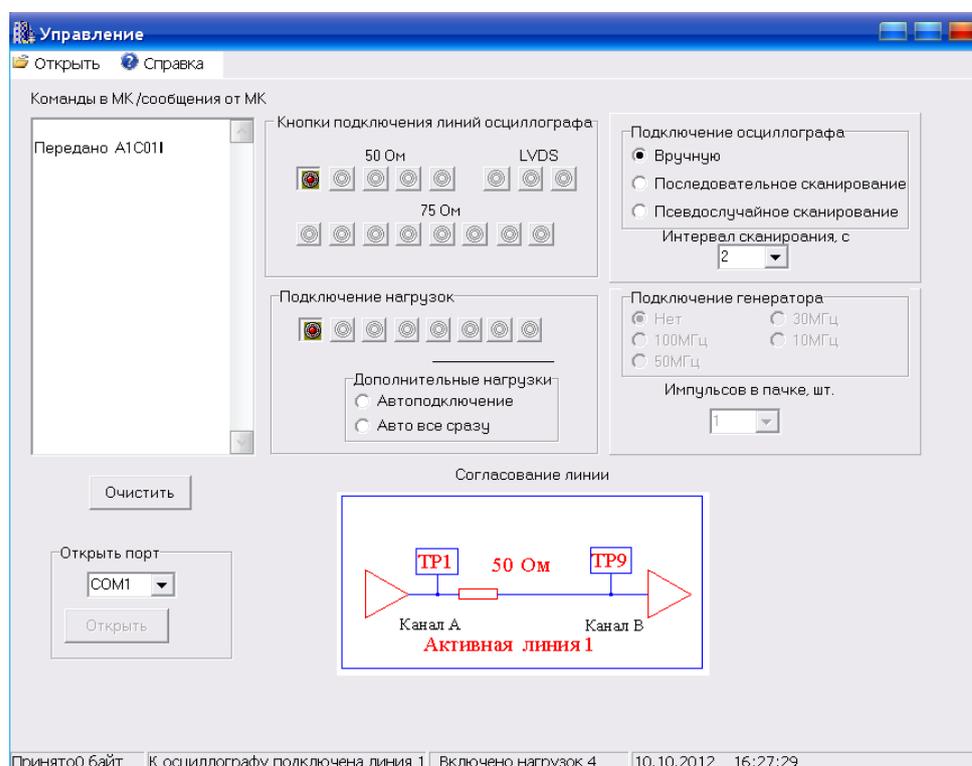


Рис. 3. Окно графического интерфейса

Структурно тестовая МПП выполнена по технологии прецизионных печатных плат с контролируемым импедансом и имеет 10 слоев, 4 слоя из которых являются сигнальными (Рисунок 4.). Длина эталонных линий колеблется от 1 м до 1,6 м.

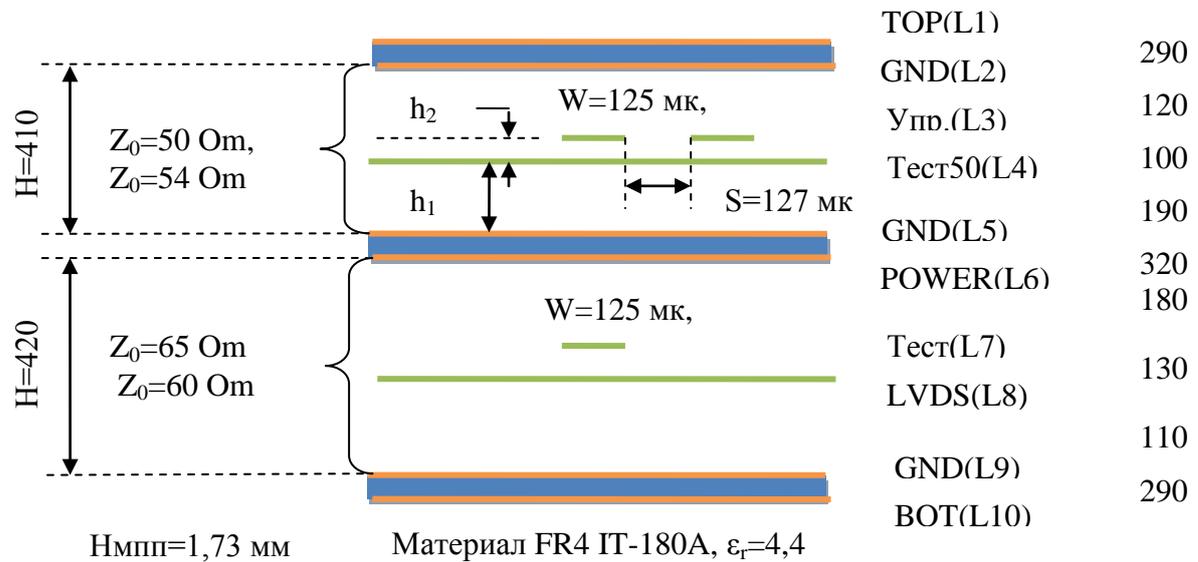


Рисунок 4. Структура Тест-платы

При переходе на иную элементную базу можно заказать новую Тест-плату по известной топологии, что займет не более 2-х недель (Рисунок 5).

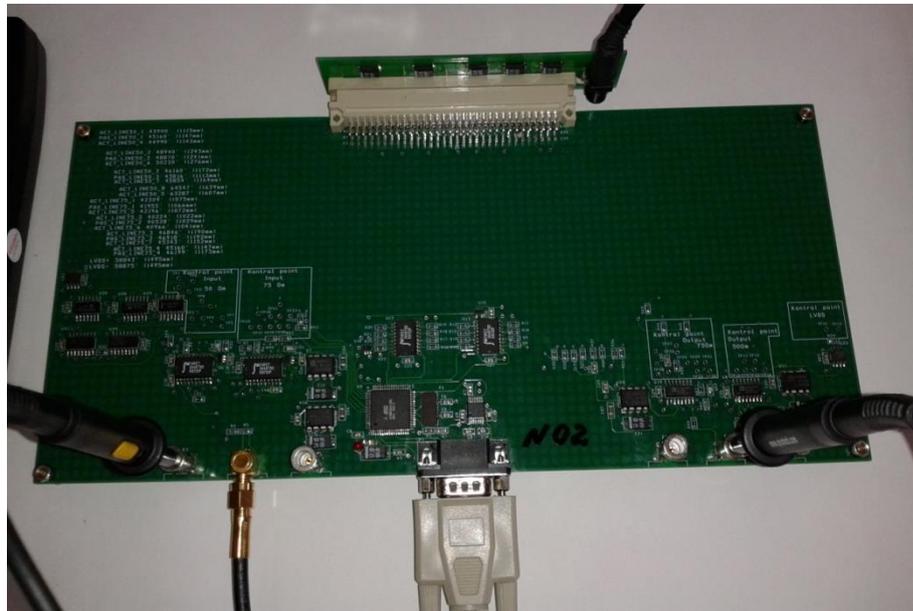


Рис. 5. Общий вид Тест-платы

## ТЕХНОЛОГИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ

1. Для наполнения математических моделей входящими переменными необходимо проверить точность расчетных соотношений для оценки электрических характеристик печатных линий и пассивных комплектующих. Эта операция производится до установки управляющей логики на Тест-плату. Учитывая малые значения некоторых электрических характеристик, в методике измерений использованы нестандартные методы контроля. Например, измерение индуктивности пары контактов питания – «земля» разъемного соединителя проводится косвенным методом по измерению периода колебаний радиоимпульса при ударном возбуждении параллельного контура  $C-L_{\text{нм}}$ . Зная емкость конденсатора (100 нФ) и измерив период  $T_0$  (Рисунок 6) можно рассчитать индуктивность контактов разъема:  $L_p = T_0^2 / 4\pi^2 C$ , что хорошо совпадает индуктивностью, рассчитанной по формуле двухпроводной линии с шагом 2,5 мм.

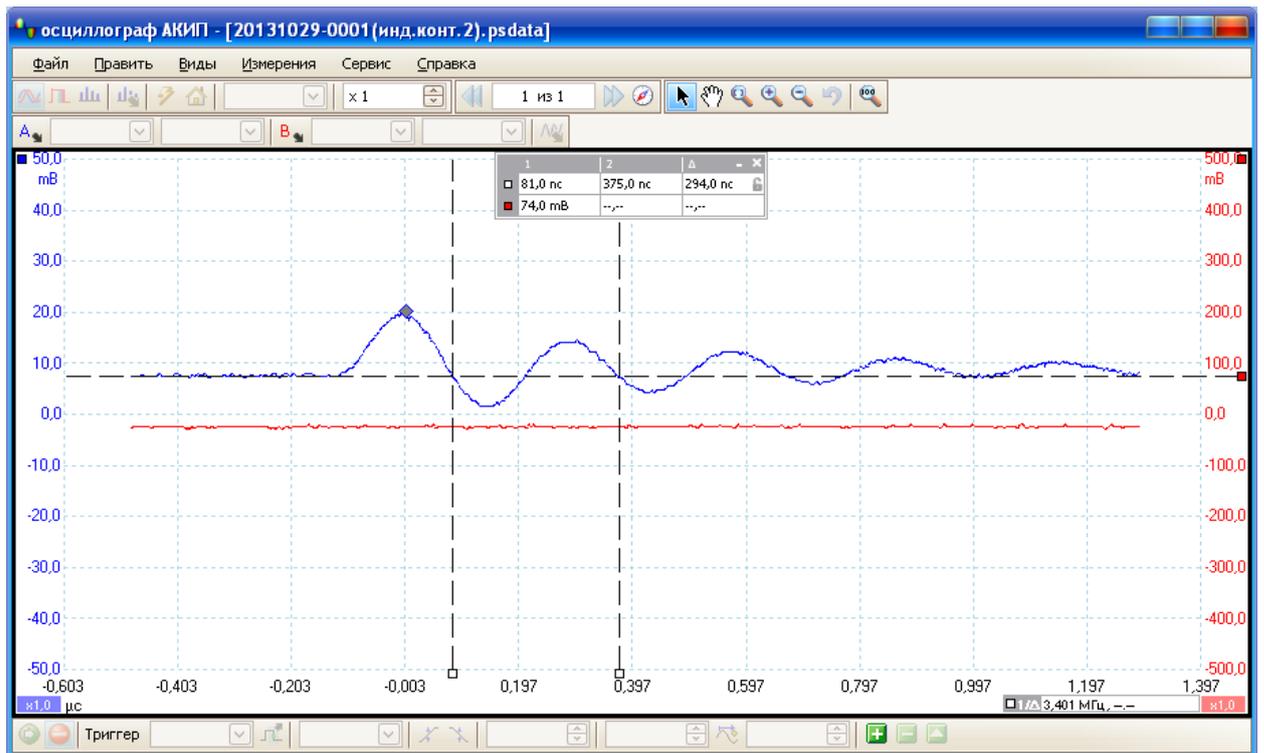


Рисунок 6. Измерение периода колебаний радиоимпульса.

Расчет волнового импеданса линий передачи различной топологии проводится в программе «Калькулятор Импеданса».

2. Выбор эталонной линии и типа согласования осуществляется через окно «Управление» (Рисунок 3). Возбуждение активных линий осуществляется четверками. Топология трассировки в 50 Ом слое показана на Рисунке 7.

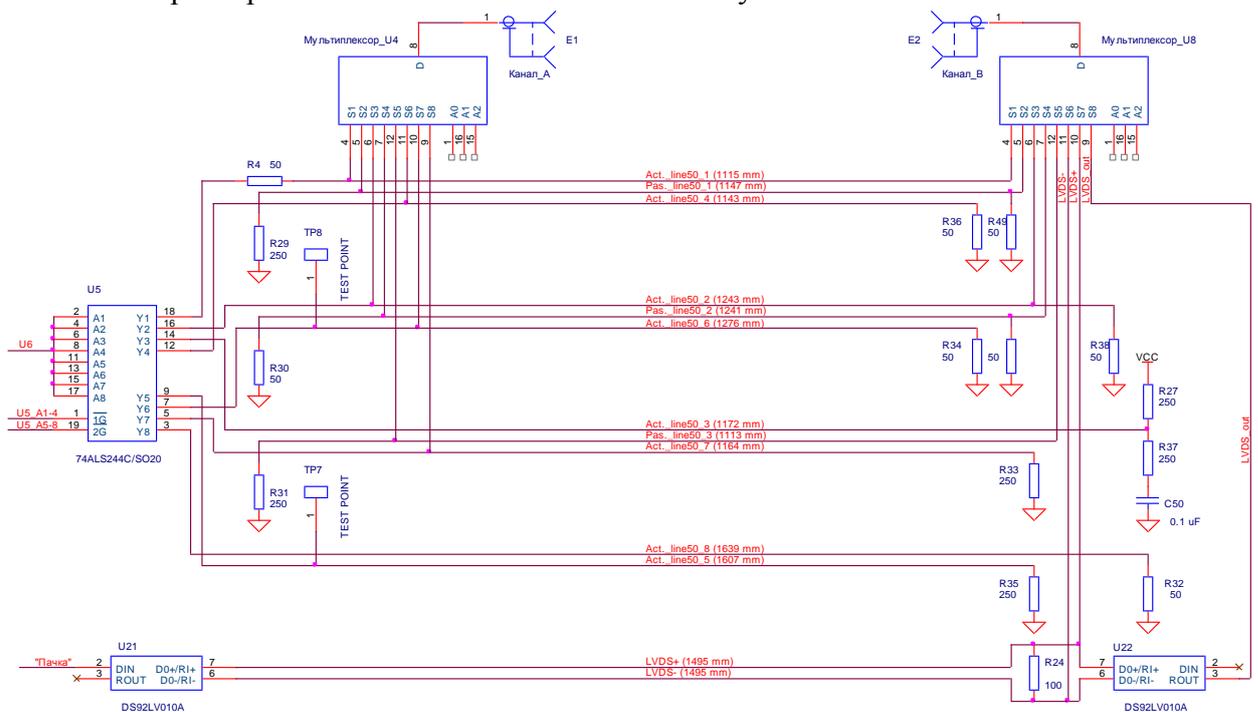


Рисунок 7. Топология трассировки в 50 Ом слое.

Совмещение расчетных и экспериментальных осциллограмм на одном графике осуществляется в программе «Моделирование». При этом, автоматически производится расчет среднего отклонения и дисперсии расчетных и экспериментальных осциллограмм по амплитуде (Рисунок 8).

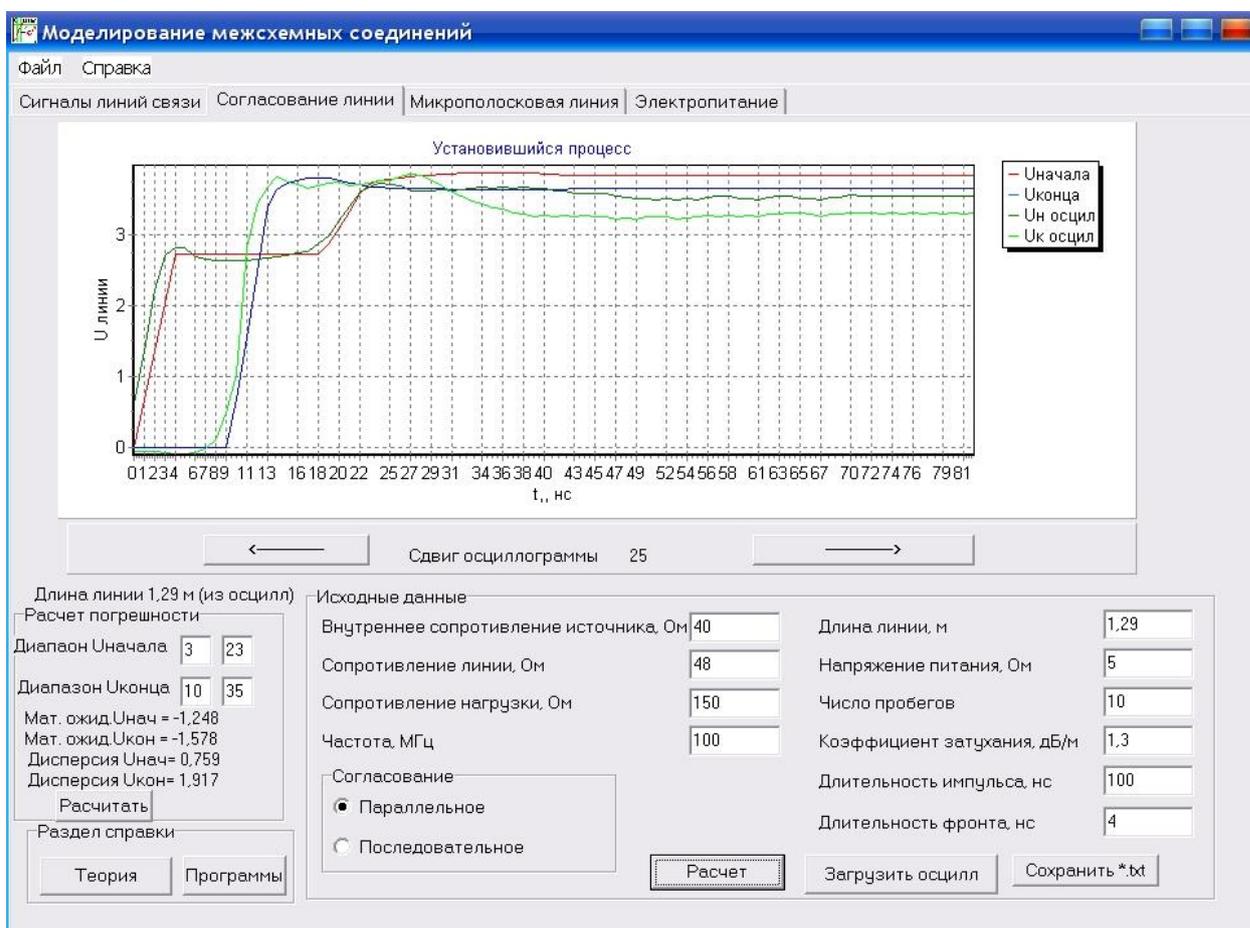


Рис. 8. Моделирование искажений импульса в линии передачи, демпфированной в конце..

### ТОЧНОСТЬ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЛИНИЯХ ПЕРЕДАЧИ

Таблица 1

№	Наименование параметра	Значение
1	Точность измерения (расчета) первичных, электрических характеристик элементов конструкции включая выводы ИС, разъемы, пассивные компоненты и др., %, не хуже	1-2
2	Точность прогнозирования параметров помех отражения и перекрестных помех, %, не хуже	1
3	Точность прогнозирования параметров помех по питанию, %, не хуже	3
4	Точность прогнозирования амплитудных и временных потерь в интерфейсных линиях связи, %, не хуже	5

## ВЫВОДЫ

1. Использование результатов работы является эффективным программно-инструментальным средством электронного проектирования межсхемных соединений, выбора и обоснования рациональных технических решений для быстродействующих систем и комплексов.

2. Развитие, как активной, так и пассивной элементной базы происходит быстрыми темпами, а следовательно, базы данных должны постоянно обновляться. Например, базы данных пакета **HyperLynx** фирмы **Mentor Graphics** обновляются от полугода до года. В связи с этим, целесообразно пролонгировать данную работу в ближайшем будущем.

## Литература:

1. А.Л. Стемповский. Развитие отечественных САПР – задача национальной безопасности. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2008, №8, с.14-19;
2. И. Кочкиков. Система **HyperLynx** компании **Mentor Graphics** пропуск в мир высокоскоростных печатных плат. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2005, с.62-66;
3. М.А. Колесников, С.М. Чудинов, А.А. Черепнев. Формализация задач электронного проектирования межсхемных соединений при разработке САПР высокопроизводительных ЭВМ. – Научные ведомости, Белгород, 2010. № 1 (72). Выпуск 13/1.
4. М.А. Колесников, А.А. Черепнев, С.М. Чудинов. Методика проектирования шин электропитания высокопроизводительных ЭВМ. - Научные ведомости, Белгород, 2010. № 7. Выпуск 14/1.