



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ИФВЭ 2004–48
ОЭА

А.Н. Исаев, А.П. Леонов, А.В. Савельев,
В.А. Сенько, Н.А. Шаланда

**СРАВНЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ И РЕАЛЬНЫХ СИГНАЛОВ,
ПЕРЕДАВАЕМЫХ В МНОГОКАНАЛЬНОЙ
ИНФОРМАЦИОННОЙ СКОРОСТНОЙ СИСТЕМЕ (МИСС)**

Протвино 2004

Аннотация

Исаев А.Н., Леонов А.П., Савельев А.В. и др. Сравнение расчетных и реальных сигналов, передаваемых в многоканальной информационной скоростной системе (МИСС): Препринт ИФВЭ 2004-48. – Протвино, 2004. – 9 с., 6 рис., библиогр.: 6.

Исследуются характеристики сигналов, передаваемых в многоканальной информационной системе (МИСС). Моделирование выполняется при различных конфигурациях системы с учетом конструктивных особенностей модулей. Проводится сравнение расчетных и экспериментальных данных.

Abstract

Isaev A.N., Leonov A.P., Saveljev A.V. et al. Comparison of Simulated and Practical Signals Passed in Data Bus (MISS): IHEP Preprint 2004–48. – Protvino, 2004. – p. 9, fig. 6, refs.: 6.

Characteristics of passed in data bus signals are investigated. Simulation is realized for various system configurations taking into account constructional features of modules. Comparison of simulated and practical signals is performed.

Для создания систем сбора и предварительной обработки экспериментальной информации используются магистрально-модульные системы (ММС), представляющие собой неоднородную среду для передаваемых в них сигналов [1]. Точками возникновения неоднородностей являются места подключения модулей ММС к объединительной панели (ОП). Характер неоднородностей и их величина зависят от:

- числа подключаемых модулей ММС;
- типов применяемых приемо–передатчиков;
- конструкции печатных плат (ПП) объединительной панели и модулей ММС;
- топологии ПП объединительной панели и модулей ММС;
- типов соединительных разъемов.

Исследование импульсных сигналов в данной среде возможно посредством предложенных в работе [1] методики моделирования и эквивалентной схемы ММС. Данная работа посвящена исследованию сигналов, передаваемых в многоканальной информационной скоростной системе (МИСС) [2], широко используемой в экспериментах ГНЦ ИФВЭ на ускорителе 70 ГэВ, а также проверке эквивалентности расчетных и экспериментальных результатов, т.е. корректности предлагаемой эквивалентной схемы ММС и методики ее системного анализа.

1. Настройка конфигурации программы Signal Integrity пакета P-CAD для исследования импульсных сигналов МИСС в режиме отражения

Поскольку передаваемые в ММС сигналы распространяются в неоднородной среде, актуальной является задача их моделирования в режиме отражения, т.е. с учетом отражений от нагрузок и временных задержек.

При настройке конфигурации программы Signal Integrity пакета P-CAD [3, 4] заносится следующая информация.

1.1. Информация о стеке слоев ПП объединительной панели

Печатная плата объединительной панели состоит из шести проводящих слоев, расположенных снизу вверх в следующем порядке: Bottom – Int5 – Int4 – Int3 – Int2 – Top [5]. Указанные слои располагаются на несущем неэластичном диэлектрике (Core) толщиной (Height) 0,25 мм с диэлектрической постоянной ϵ , равной 4,8. На внешних слоях Bottom и Top располагаются сигнальные проводники, внутренние слои являются экранными (Int2, Int4, Int5 – слои «земли» (GND), Int3 – слой источников питания (–5,2 и –2 В). Толщина металлизации (Copper Height) на слоях Bottom, Int5, Int2, Top составляет 35 мкм, а на слоях Int3 и Int4 – 18 мкм. Зазоры между проводящими слоями заполняет эластичный диэлектрик (Prepreg) толщиной 0,372 мм, у которого ϵ равняется 4,8.

1.2. Определение типов цепей

Цепям «Земли» и питания –5,2 и –2 В присваивается тип Supply, а всем остальным – тип Data.

1.3. Указание типов компонентов, их номинальных значений и IBIS-моделей

При работе в программе Signal Integrity всем используемым компонентам должны быть присвоены соответствующие типы CONNECTOR, IC, RESISTOR и т.д. Вызываемый по команде меню Library/Macromodel Editor список моделей должен содержать:

- в разделе Connector (TL) – модель разъема СНП59-64 с параметрами для колонки контактов А: impedance $Z_L = 71 \text{ Ohm}$, delaytime $t_d = 85 \text{ ps}$, linelength $l = 18 \text{ mm}$, capacitances $C_1 = C_2 = 1 \text{ pF}$; модель разъема СНП59-64 с параметрами для колонки контактов С: impedance $Z_L = 83 \text{ Ohm}$, delaytime $t_d = 124 \text{ ps}$, linelength $l = 18 \text{ mm}$, capacitances $C_1 = C_2 = 1 \text{ pF}$;
- в разделе IC (In) – IBIS-модели входов для приемников используемой серии эмиттерно-связанной логики F10K (F10101); используются модели входов трех типов: типовая (tp) с номинальными значениями параметров, минимальная (wk) с наименьшими значениями параметров, максимальная (st) с наибольшими значениями параметров [6];
- в разделе IC (Out) – IBIS-модели выходов для передатчиков используемой серии эмиттерно-связанной логики F10K (F10101); как и для IBIS-моделей входов используются модели трех типов (tp, wk, st);
- в разделе RESISTOR – резисторы с используемыми при моделировании номиналами;
- в разделе CAPACITOR – конденсаторы с используемыми при моделировании номиналами.

2. Моделирование импульсных сигналов в режиме отражения при различных конфигурациях системы

Поскольку к ОП исследуемой системы могут быть подключены от двух до двенадцати модулей, большой практический интерес представляет исследование рабочих сигналов в системе при включении различного числа модулей. Исследования проводятся для режима «чтения», когда передатчик сигнала подключается к разъему 1 (X1) ОП, а приемники – к разъемам 2÷12 (X2÷X12), и сигнала, распространяющегося по шине магистрали ОП. Для подключаемых модулей фиксируется конструкция печатной платы: толщина слоев, расположение экранных слоев, величины диэлектрической проницаемости используемых материалов, параметры печатного проводника, соединяющего контакт разъема со входом приемника (длина, ширина, толщина слоя металлизации). При анализе графической информации используются следующие предельные величины:

- $V_{Hmin} = -1.105 \text{ В}$ – наименьшая величина напряжения логической “1” на входе приемника;
- $V_{bb} = -1.29 \text{ В}$ – порог переключения логической схемы;
- $V_{Lmax} = -1.475 \text{ В}$ – наибольшая величина напряжения логического “0” на входе приемника;
- $V_{Hтип} = -0.9 \text{ В}$ – типовое значение логической “1”;
- $V_{Lтип} = -1.75 \text{ В}$ – типовое значение логического “0”;
- $V_{Hтип-10\%} = -0.99 \text{ В}$, $V_{Lтип+10\%} = -1.575 \text{ В}$ – величины напряжений, используемые при определении длительностей переднего и заднего фронтов импульсов.

2.1. Моделирование сигналов при подключении к ОП различного числа модулей

При моделировании сигнала с использованием программы Signal Integrity имеется возможность его анализа практически в любой точке физической среды распространения. В данной работе исследуется импульсный сигнал непосредственно на входном контакте интегральной схемы приемника (входной импульс). При этом принимается, что на ПП модуля-приемника длина печатного проводника между контактом разъема и входом приемника равна 100 мм, его ширина 0.4 мм, толщина медного слоя 35 мкм. Этот проводник расположен на внешнем слое

ПП, толщина диэлектрика между печатным проводником и экранным слоем 0.25 мм, диэлектрическая постоянная ϵ стеклотекстолита и межслойного материала (препрега) равна 4,8.

На рис. 1а, б представлен расчетный входной импульс при подключении модулей к разъемам 2, 3 и 11, 12 соответственно (входной импульс обозначается ХК, где К = 2÷12 и соответствует номеру разъема, через который модуль присоединяется к ОП).

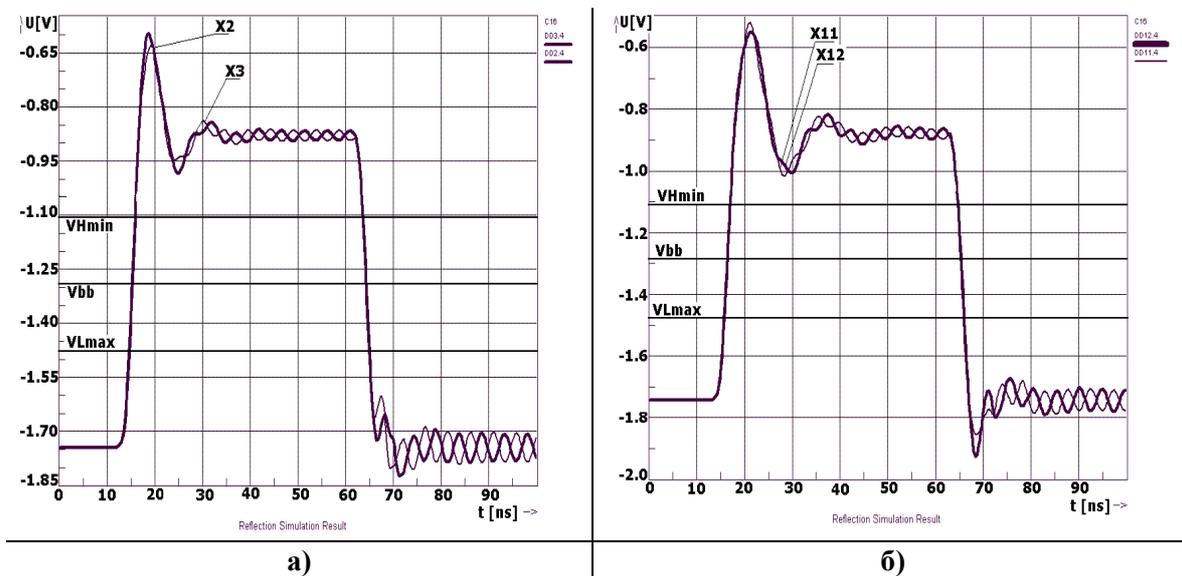


Рис. 1. Моделируемый сигнал на входе интегральной схемы приемника при различных конфигурациях МИСС. Модули-приемники подключены: а) к разъемам 2 (X2) и 3 (X3); б) к разъемам 11 (X11) и 12 (X12); в модулях-приемниках длина печатного проводника от контакта разъема до входа интегральной схемы равна 100 мм при ширине 0,4 мм.

Поскольку положительные и отрицательные выбросы на переднем и заднем фронтах импульса в первом случае меньше, целесообразно при неполной загрузке ОП модули включать ближе к передатчику.

Дальнейшие исследования проводились при увеличении числа подключаемых модулей и расположении их на наибольшем расстоянии от передатчика (для наихудшего случая). При увеличении числа подключаемых модулей (рис. 1б и рис. 2а, б) увеличивается положительный выброс на переднем фронте более чем до -0.5 В, отрицательный выброс на вершине импульса увеличивается почти до V_{Hmin} , появляется колебательный процесс на заднем фронте импульса. При числе подключенных модулей более 6 (рис. 2а, б) входной импульс искажается столь сильно, что появляется необходимость включения элементов коррекции (демпфирования) в цепь передаваемого сигнала.

На рис. 2в, г приведены расчетные передний и задний фронты входных импульсов при полной загрузке магистрали. Длительность фронтов определена по времени их нарастания (убывания) между уровнями напряжения $V_{Hтип-10\%} = -0.99$ В и $V_{Lтип+10\%} = -1.575$ В (80% разности между уровнями напряжения $V_{Hтип}$ и $V_{Lтип}$). На переднем фронте импульса на уровне ~ -1.15 В для ближних к передатчику модулей (X2–X4) имеется характерное горизонтальное плато, определяемое отраженными от дальнего конца системы сигналами. На заднем фронте импульса имеются колебания сигнала на уровне переключения V_{bb} и на ограничивающих уровнях V_{Hmin} и V_{Lmax} .

Существенно, что наибольшие длительности фронтов импульса наблюдаются на входе приемника самого ближнего к передатчику модуля X2. Эти длительности уменьшаются по мере

приближения к X12. Такой эффект объясняется наличием отраженных от дальнего конца системы сигналов.

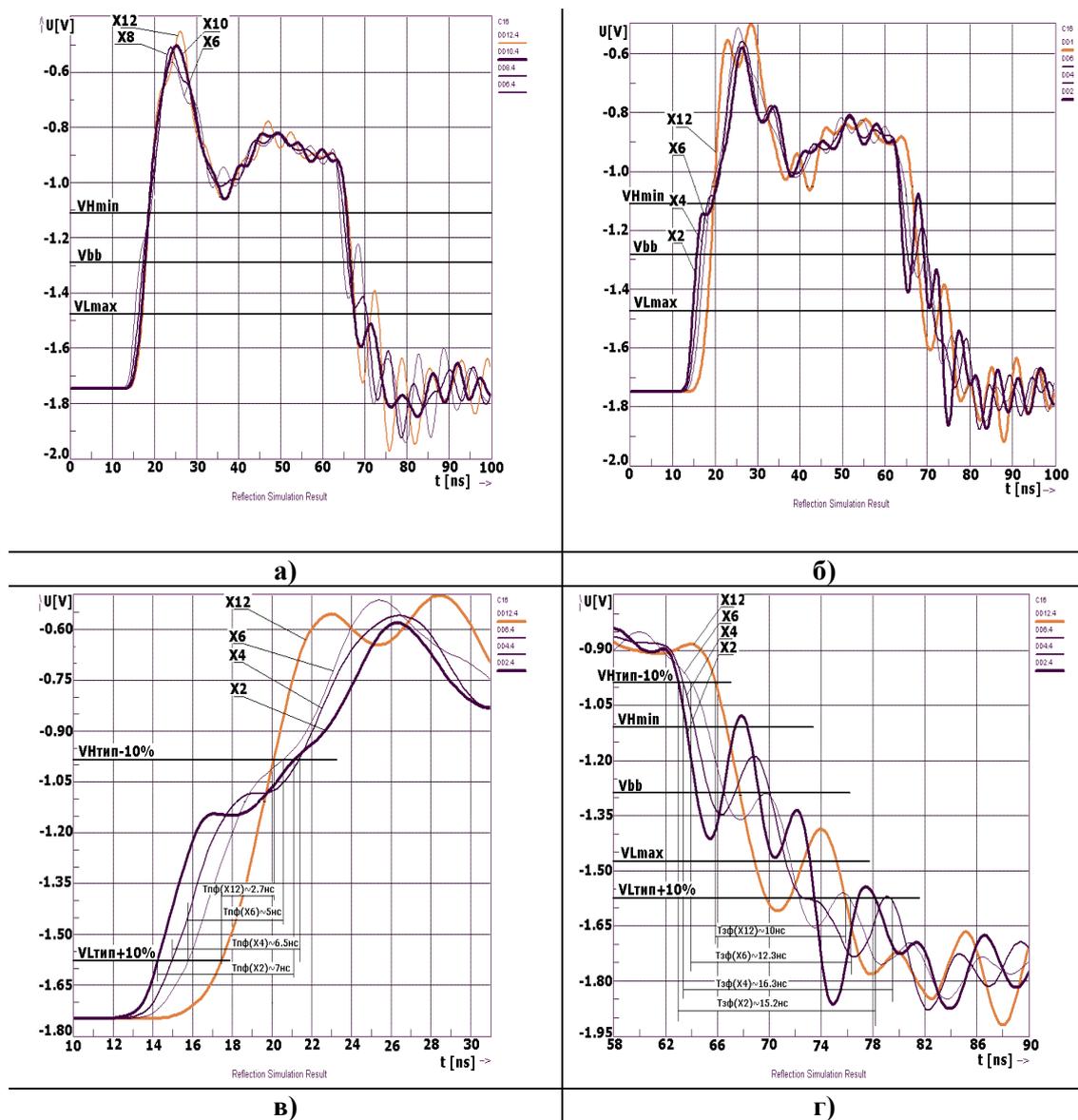


Рис. 2. Моделируемый сигнал на входе интегральной схемы приемника при различных конфигурациях МИСС. Модули-приемники подключены: а) к разъемам 6 (X6) – 12 (X12); б) к разъемам 2 (X2) – 12; в) и г) передний и задний фронты импульсов соответственно при подключении модулей к разъемам 2 – 12; в модулях-приемниках длина печатного проводника от контакта разъема до входа интегральной схемы равна 100 мм при ширине 0,4 мм.

Таким образом, наихудшим с точки зрения искажения формы импульса является режим, когда модули присоединены ко всем разъемам ОП. При использовании в МИСС модулей данной конструкции с приемо-передатчиками типа F10K и заданными параметрами печатного проводника между контактом разъема и входом приемника (длина 100 мм, ширина 0,4 мм, толщина слоя металлизации 35 мкм) в сигнальные цепи должны вводиться демпфирующие элементы для коррекции формы импульсов.

2.2. Исследование зависимости характеристик импульса от длины печатного проводника между контактом разъема и входом приемника

В общем случае форма импульса зависит от длины, ширины и толщины металлизации печатного проводника между контактом разъема и входом приемника. В данной работе исследуется зависимость характеристик импульса только от длины указанного проводника, ширина полагается равной 0.4 мм и толщина слоя металлизации – 35 мкм. Определим “критическую” длину проводника, при которой будут отсутствовать ложные срабатывания приемников при включении модулей во все разъемы ОП. С уменьшением длины данного печатного проводника характеристики импульсов улучшаются. Анализ расчетных характеристик импульсов показывает, что при сокращении длины проводника со 100 до 40 мм уменьшаются длительности фронтов импульсов (рис. 2б, г и **рис. 3а, в**), а также амплитуды колебаний на вершинах импульсов и их задних фронтах. Однако на уровне переключения V_{bb} присутствуют колебания меньшей амплитуды, но способные привести к ложному срабатыванию приемника.

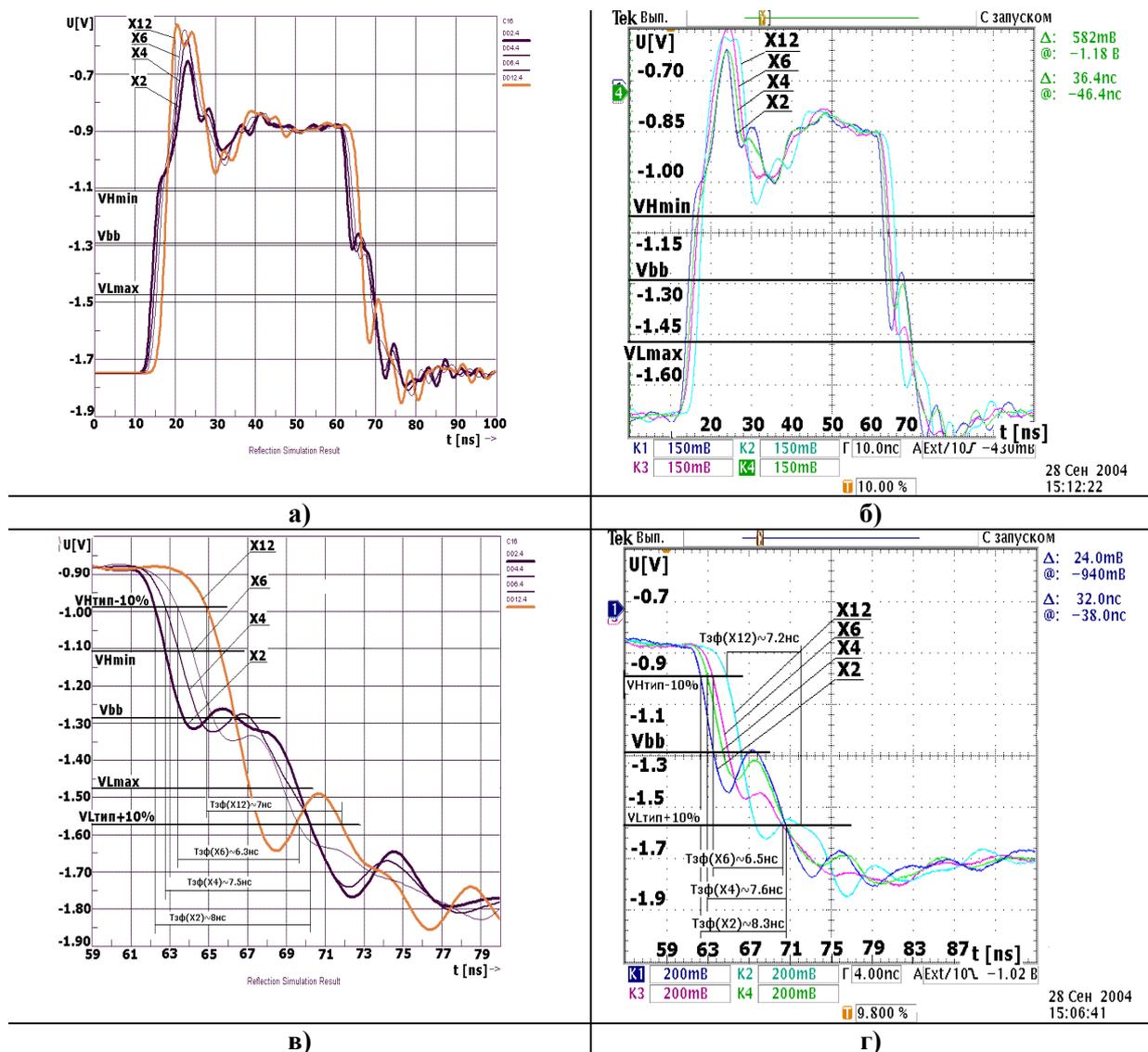


Рис. 3. Расчетный и реальный сигналы на входах интегральных схем приемников при подключении модулей ко всем разъемам ОП (X1 – X12) и длине печатного проводника от контакта разъема до входа интегральной схемы -40 мм; а) и в) расчетный импульс и его задний фронт соответственно; б) и г) реальный импульс и его задний фронт соответственно.

Дальнейшее ограничение длины проводника в сторону уменьшения нецелесообразно, так как в этом случае значительно усложняется процедура проектирования ПП, особенно для модулей, использующих многоразрядные шины данных.

Поэтому, для данной конфигурации цепи не существует практически приемлемой “критической” длины проводника, и соответственно необходимо введение корректирующих (демпфирующих) элементов в сигнальные цепи ММС. Но прежде чем заняться расчетом этих элементов, необходимо выяснить, насколько полученные расчетные данные эквивалентны экспериментальным.

3. Сравнение экспериментальных и расчетных данных

Для получения экспериментальных характеристик входных импульсов был создан специальный стенд, включающий: крейт питания МИСС; рабочий крейт МИСС с ОП на 12 мест; модуль генератора сигналов с интегральной схемой передатчика F10K, подключенный к разъему 1 (X1) ОП; модули ЛЭ-39 с интегральными схемами приемников F10K, подключенные к разъемам 2÷12 (X2÷X12); 4-лучевой осциллограф TEKTRONIX (TDS3054B). В модулях ЛЭ-39 длина печатного проводника между контактом разъема и входом приемника равна 40 мм, его ширина 0.4 мм, толщина медного слоя 35 мкм.

На рис. 3б, г представлены реальный входной сигнал и его задний фронт соответственно. Сравнение расчетного сигнала с реальным на рис. 3а и б, 3в и г показывает высокую степень совпадения расчетных и экспериментальных результатов. Формы расчетного и реального сигналов совпадают. Расчетная длительность переднего фронта импульса уменьшается от ~5.5 нс для модуля X2 до ~2 нс для модуля X12, а заднего фронта – от ~8 нс для X2 до ~7 нс для X12. Измеренная экспериментально длительность переднего фронта импульса изменяется от ~6 нс для X2 до ~2.5 нс для X12, а заднего фронта – от ~8.3 нс для X2 до 7.2 нс для X12. Некоторое отличие в значениях длительностей фронтов объясняется двумя факторами: наличием паразитной емкости 8 пФ измерительного шнура осциллографа, что сказывается при измерении интервалов времени в несколько наносекунд, и случайными ошибками определения длительностей, когда при измерении переднего фронта верхний уровень напряжения $V_{Нтип-10\%}$ находится вблизи горизонтального плато (рис. 2в), а при определении длительности заднего фронта импульса нижний уровень напряжения $V_{Лтип+10\%}$ находится на колебательном участке фронта (рис. 3в, г).

Дальнейшую проверку эквивалентности расчетных и экспериментальных данных проведем при определении величин демпфирующих элементов.

4. Определение величин демпфирующих резисторов

Для коррекции цепи с эмиттерно-связанными приемо-передатчиками рекомендуется использовать последовательный демпфирующий резистор [3], включаемый между контактом разъема и входом интегральной схемы приемника. Рассматриваем наихудший случай, когда модули подключены ко всем разъемам ОП.

Расчетные и экспериментальные результаты для разных величин сопротивления демпфирующего резистора приведены на рис. 4 и 5.

Анализ графиков, приведенных на указанных рисунках, показывает:

- высокую степень совпадения расчетных и экспериментальных данных;
- при использовании $R_K = 100$ Ом на заднем фронте импульса модуля X2 на уровне переключения V_{bb} возможно изменение напряжения, которое может привести к искажению информации (рис. 4в, г);

- при использовании $R_K = 200$ Ом длительности переднего и заднего фронтов импульса увеличиваются незначительно (в пределах 1.5 нс), но сигнал имеет гладкие фронты и меньшую амплитуду выброса на переднем фронте;
- в ММС МИСС при полном заполнении ОП рекомендуется использовать последовательный демпфирующий резистор $R_K = 200$ Ом.

Кроме того, была определена предельная рабочая частота МИСС при использовании приемопередатчиков F10K. Она составляет ≈ 17 МГц (рис. 6).

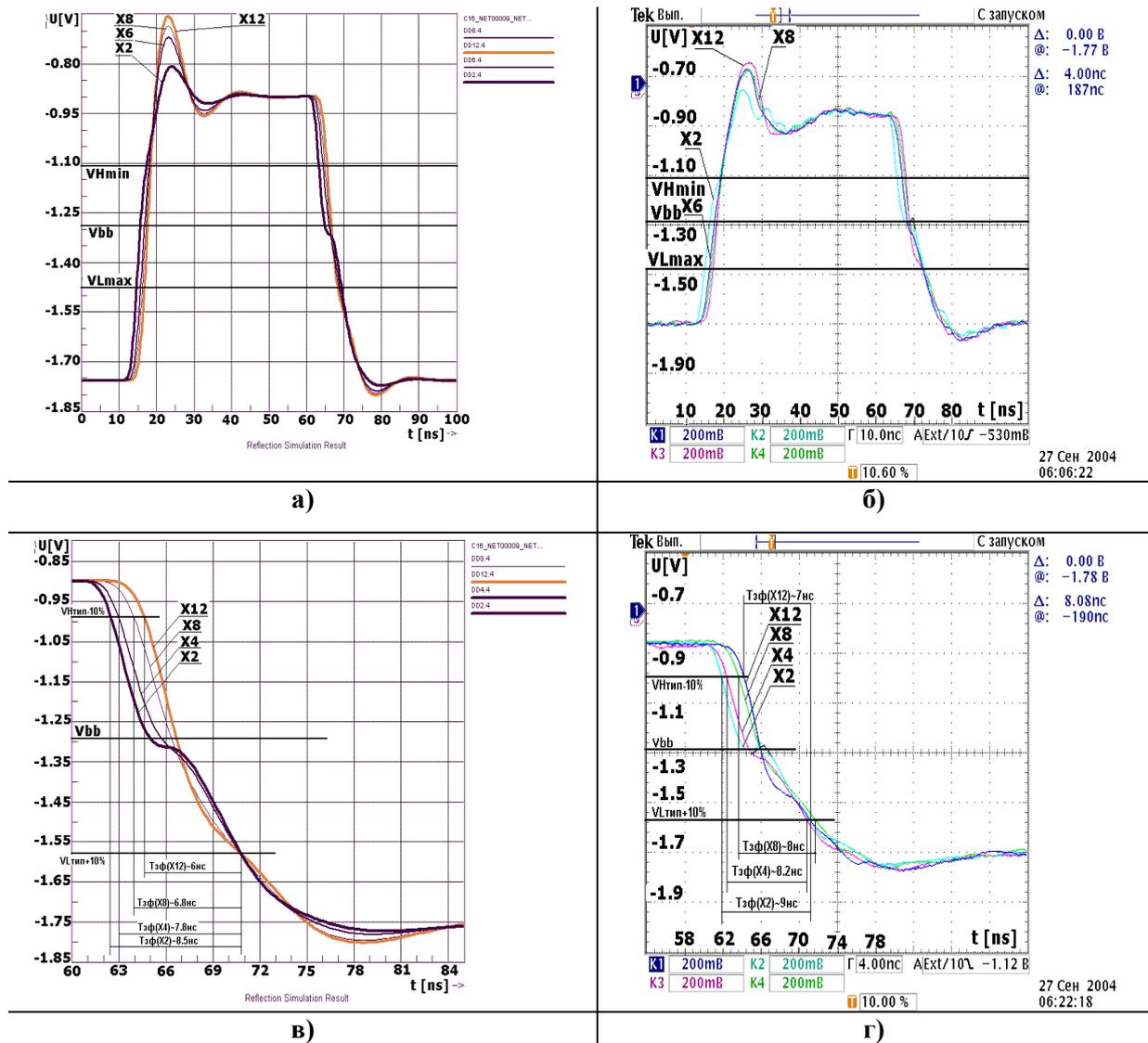


Рис. 4. Сигнал на входе интегральной схемы приемника при подключении модулей ко всем разъемам ОП (X1 – X12) и наличии демпфирующего резистора $R_K = 100$ Ом; а) и в) расчетный импульс и его задний фронт соответственно; б) и г) реальный импульс и его задний фронт соответственно.

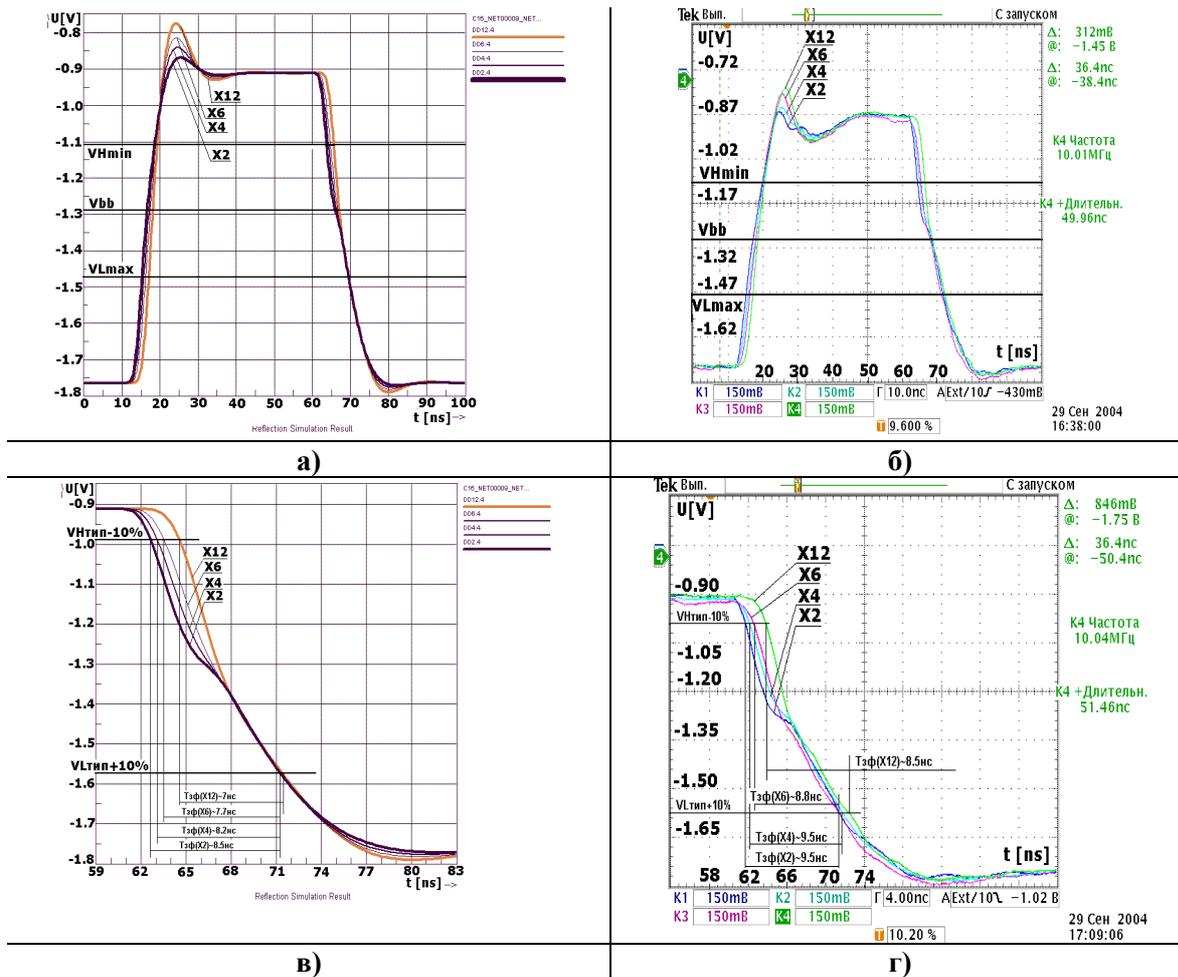


Рис. 5. Сигнал на входе интегральной схемы приемника при подключении модулей ко всем разъемам ОП (X1 – X12) и наличии демпфирующего резистора $R_k = 200 \text{ Ом}$; а) и в) расчетный импульс и его задний фронт соответственно; б) и г) реальный импульс и его задний фронт соответственно.

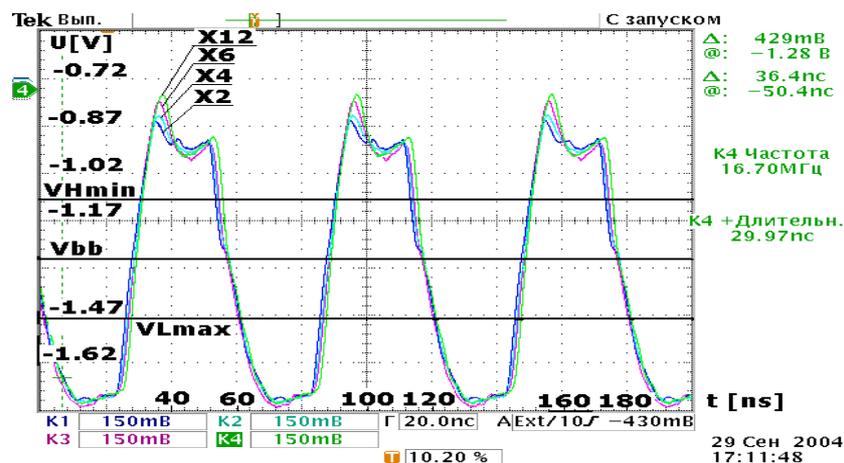


Рис. 6. Реальный сигнал на входе интегральной схемы приемника при подключении модулей ко всем разъемам ОП (X1 – X12), частоте $f=16,7 \text{ МГц}$ и наличии корректирующего резистора $R_k=200 \text{ Ом}$.

Заключение

Проведенные в данной работе исследования показали корректность предлагаемой эквивалентной схемы ММС и методики ее системного анализа. Авторы считают необходимым продолжение работ по внедрению данной системы моделирования в практику создания электронной аппаратуры для физических исследований, а именно, создание доступных по локальной сети ИФВЭ библиотек IBIS и SPICE – моделей используемых компонентов, разработку и внедрение методики моделирования в среду САПР ИФВЭ и т.д. Указанные мероприятия приведут к сокращению сроков создания и улучшению качества аппаратуры, разрабатываемой в ГНЦ ИФВЭ.

Список литературы

- [1] Исаев А.Н., Леонов А.П., Савельев А.В. и др. – Препринт ИФВЭ 2004-47, Протвино, 2004.
- [2] Бушнин Ю.Б., Ваньев В.С., Гончаров П.И. и др. – Препринт ИФВЭ 88-47, Серпухов, 1988.
- [3] P-CAD Signal Integrity™. User's Guide. – Copyright © 2002 Altium Limited.
- [4] Потапов Ю.В., Разевиг В. Анализ целостности сигналов в системе Protel 99 SE. // EDA Express, 2001, №4.
- [5] <http://deneb.ihep.su/~oea2000/db.shtml/Конструктивы> электроники/МИСС.
- [6] Исаев А.Н., Леонов А.П., Савельев А.В. – Препринт ИФВЭ 2003-25, Протвино, 2003.

Рукопись поступила 30 ноября 2004 г.

А.Н. Исаев, А.П. Леонов, А.В. Савельев, В.А. Сенько, Н.А. Шаланда.
Сравнение расчетных и реальных сигналов, передаваемых в многоканальной информационной скоростной системе (МИСС).

Оригинал-макет подготовлен с помощью системы Word.
Редактор Н.В. Ежела.

Подписано к печати 4.12.2004. Формат 60 × 84/8. Офсетная печать.
Печ.л. 1,12. Уч.- изд.л. 0,9. Тираж 130. Заказ 3. Индекс 3649.

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий,
142281, Протвино Московской обл.

Индекс 3649

ПРЕПРИНТ 2004-48, ИФВЭ, 2004
