

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна  
Должность: проректор по учебной работе  
Дата подписания: 28.01.2021 17:57:10  
Уникальный программный ключ:  
0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf73e943df4a4851fda56d089

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
Юго-Западный государственный университет  
(ЮЗГУ)  
Кафедра вычислительной техники

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной работе  
О.Г. Локтионова  
«» 2017 г.

Комплексы бортового оборудования

Методические рекомендации по выполнению лабораторных работ  
№1-2 по курсу  
«Технические и программные средства комплексного моделирования и  
стендовой отладки бортовых систем»  
для студентов направления подготовки 09.03.01

Курск 2017

УДК 621.(076.1)

Составители: С.А. Дюбрюкс

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент Ю.А. Халин

Технические и программные средства комплексного моделирования и стендовой отладки бортовых систем: методические рекомендации по выполнению лабораторных работ №1-2 по дисциплине «Технические и программные средства комплексного моделирования и стендовой отладки бортовых систем» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: С.А. Дюбрюкс.- Курск, 2017. 35 с.: ил. 7.

Методические рекомендации содержат основные указания по работе в среде BoardSim, примеры её использования для визуального автоматизированного анализа составляющих топологии печатных плат. Использование данных рекомендаций и предложенных способов излучения способствует ускорению проектирования узлов и комплексов стендового оборудования с минимальным влиянием на обрабатываемые изделия.

Предназначены для студентов направления подготовки 09.03.01 очной и заочной форм обучения «Информатика и вычислительная техника».

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 10.11.17. Формат 60x84 1/16.

Усл. печ. л. Уч. – изд.л. Тираж 30 экз. Заказ № 55 Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет

305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

## Содержание

Введение	4
Цель работы	5
Основные теоретические сведения.	6
Лабораторная работа №1	13
Лабораторная работа №2	21
Оформление отчёта	34
Литература	35

## Введение

В настоящее время перед постановкой комплексов бортового оборудования на лётные испытания оборудование проходит стендовую отработку. При этом наиболее близки к реальным объектам полунатурные стенды. При жестких требованиях по ЭМС к комплексам бортового оборудования для наиболее полной имитации стендовые комплексы также должны быть спроектированы с учётом данных норм.

Данные методические рекомендации содержат основные указания по посттопологическому проектированию узлов стендовой аппаратуры с помощью среды BoardSim. Данная среда позволяет автоматически осуществлять поиск возможных проблем ЭМС, предлагая ряд автоматизированных средств для их минимизации.

В методических указаниях рассмотрены вопросы уменьшения уровня электромагнитного излучения. Представлен автоматизированный способ его анализа, исходным данным для которого является топология печатной платы. Данный способ позволяет управлять параметрами используемого антенного зонда и расстоянием до объекта моделирования.

**Цель работы:** приобретение навыков проектирования узлов стендовой аппаратуры с пониженным излучением на моделируемый объект в автоматизированной среде проектирования BoardSim.

Выполнению работы предшествует опрос по теории работы и устное собеседование по методике ее выполнения.

Каждая работа оформляется студентом в виде отчета, который обязательно включает раздел, где анализируется и объясняется вся полученная информация.

Итогом работы является ее защита. Защита проводится устно, но обязательно индивидуально.

### **Основные теоретические сведения.**

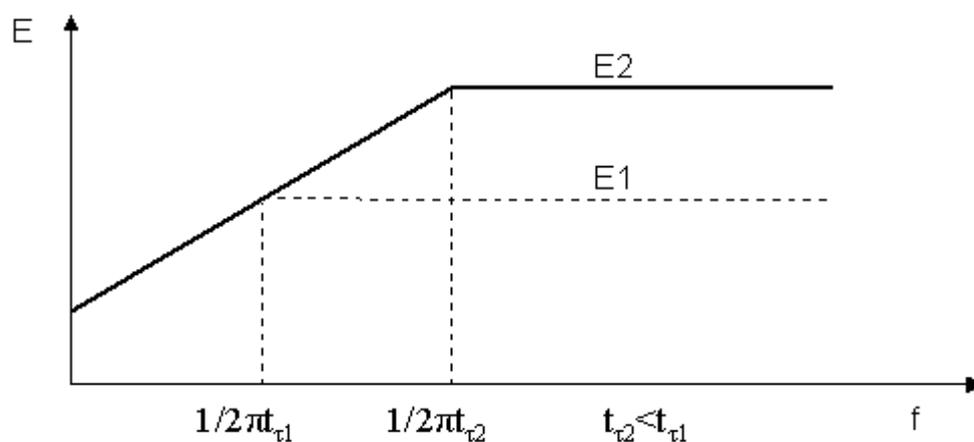
#### **Виды излучений от печатных плат.**

Радиочастотное излучение от цифровой электроники можно разделить на две группы: излучение с линейчатым и со сплошным спектром. В первом случае

источником излучения является ток дифференциального, а во втором – ток синфазного режима.

Излучение с линейчатым спектром происходит при протекании тока по петлям, образующимся проводниками схемы. Эти петли играют роль маленьких антенн, излучающих магнитное поле. Хотя такие токовые петли необходимы для передачи сигнала в схеме, **нужно уменьшать их размер и площадь** при проектировании с целью уменьшения паразитного излучения.

На рис. 1 представлен график для зависимости огибающей излучения линейчатого спектра от частоты. Из него ясно видно, какое влияние имеет время нарастания импульса на излучение поля. Именно оно определяет точку, в которой прекращается рост амплитуды излучения с частотой. Для уменьшения излучения желательно провести минимизацию, как по частоте следования импульсов, так и по времени нарастания.



**Рисунок 1 - Излучение в линейчатом спектре как функция частоты**

Для контуров с током дифференциального типа для внешних линий связи характерно, что площадь контура зависит только от параметров кабеля: его длины и расстояния между проводниками. Площадь контура не зависит от расположения кабеля относительно заземленного корпуса объекта. **Снизить излучение можно сокращением площади контура и использованием экранированного кабеля, витой пары, феррита/фильтров и оптических устройств связи.**

Излучение со сплошным спектром является результатом нежелательного падения напряжения в контуре заземления, что приводит к тому, что отдельные части схемы находятся под некоторым потенциалом относительно "истинной" земли. Измерения показали, что падение напряжения может достигать 1В и более. При подсоединении внешних кабелей к системе они оказываются под этим потенциалом и начинают работать как излучающие электрическое поле антенны.

## Меры по снижению излучения со сплошным спектром

Для уменьшения излучения с непрерывным спектром (как и в случае линейчатого спектра), желательно, на сколько это возможно, ограничить время нарастания/спада и частоту следования импульсного сигнала.

Единственный параметр, которым может управлять разработчик печатных плат, способный уменьшить излучение с непрерывным спектром, это ток возбуждения сплошного спектра. Генерируемый ток можно уменьшить, минимизировав напряжение источника, возбуждающего антенну (обычно это потенциал на заземлении), или шунтированием тока на землю или созданием большого сопротивления на пути тока с помощью дросселя, включенного последовательно с кабелем. Другим способом уменьшения паразитного излучения является экранирование кабелей. Шунтирование тока возбуждения является единственным способом, не требующим использования заземления, и по своей природе не влияет на токи линейчатого спектра. Это и обуславливает популярность дросселей в качестве ограничителей излучения от кабелей. Эффективность дросселей обычно не превышает 20 дБ (обычно от 10 до 15 дБ), из-за эффекта паразитной проходной емкости в дросселе.

## Заземление электронных схем и элементов конструкции

Для военного оборудования максимальное расстояние между точками заземления не должно превышать  $0,057\lambda$ , где  $\lambda$  – длина волны наиболее высокочастотного сигнала. Длина волны рассчитывается по следующей формуле:  $\lambda=C/f$ , где  $C$  – скорость света  $\sim 3*10^8$  м/с,  $f$  – частота сигнала.

Можно изолировать друг от друга цепи возврата сигнальных токов, цепи возврата постоянных токов питания и цепи возврата переменных токов питания и построить систему заземления из трех независимых контуров, сходящихся в одной точке.

Такой подход позволяет оптимизировать каждую заземляющую цепь в отдельности.

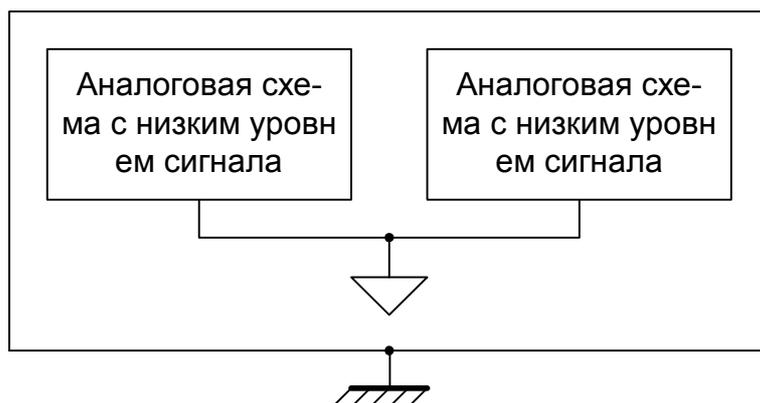
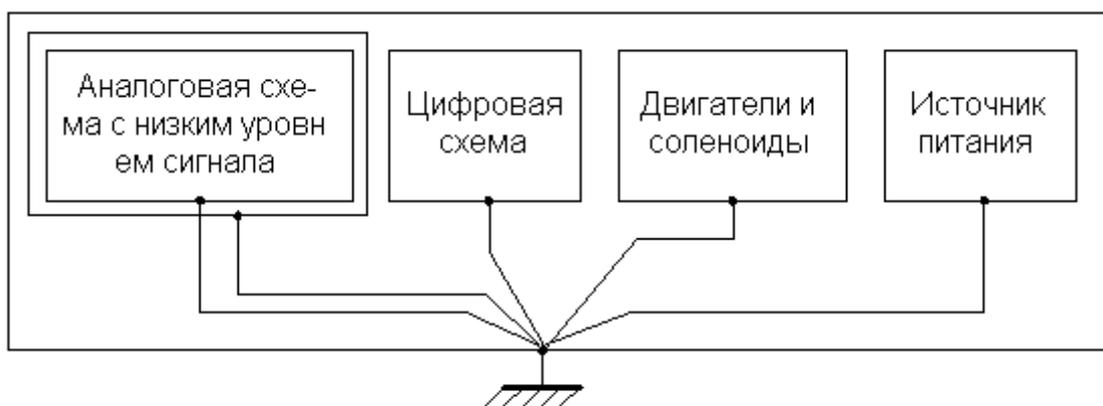


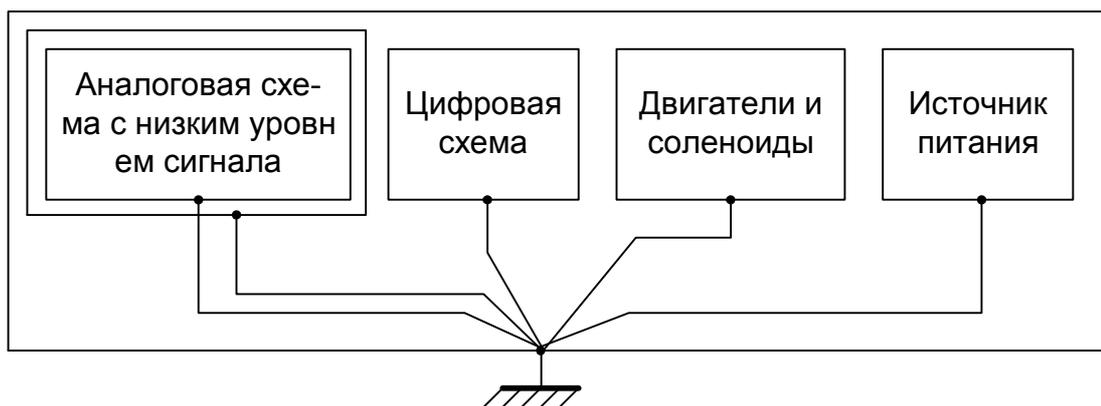
Рисунок 2 - Схема с плавающим заземлением

На рис. 2 показана схема с плавающим заземлением, применяемая для чрезвычайно чувствительных устройств.

На рис. 3 показана схема заземления, в которой реализован принцип заземления в одной (общей) точке. Каждая отдельная схема и каждый экран имеют свой отвод к общей точке. Каждое основание или стойка соединяются с монтажной панелью с помощью одного проводника. При таком подходе исключается паразитная связь через общий импеданс и уменьшается вероятность образования низкочастотного паразитного контура с замыканием на землю. Заземление в общей точке очень эффективно до частот 1 МГц, а если система заземления имеет малый размер, частотный предел может достичь 10 МГц.



**Рисунок 3 - Одноточечная система заземления**



**Рисунок 4 - Одноточечная система заземления**

**При проектировании корпуса стендового оборудования рекомендуется выполнять следующие указания:**

- принципиально следует стремиться создать внутри корпуса, по крайней мере, две зоны: одну с невозмущенным пространством, хорошо экранированную, поглощающую высокочастотные колебания металлическим экраном, в которой размещаются быстродействующая логика, память и другие, особенно чувствительные к помехам блоки, и вторую, полуспокойную зону, в которой располагаются устройства коммутации, сетевые и другие вспомогательные элементы. В зоне с невозмущенным пространством не должны находиться сигнальные провода и провода управления, связанные с оборудованием внешней зоны. Необходимые связи должны обеспечиваться при помощи фильтров и световодов.

- конструктивно схема устройства должна выполняться так, чтобы объем обмениваемых между блоками сигналов был как можно меньшим;

- должно быть логически последовательное пространственное разделение электронных информационных, электромеханических и силовых средств, а также аналоговых и цифровых функциональных элементов (раздельные корпуса, вставные блоки или предназначенные для разделения ферромагнитные экранирующие пластины);

- необходимо четкое пространственное разделение проводов со слабыми сигналами и проводов питания с мощными сигналами, в которых по условиям эксплуатации могут быть большие  $dU/dt$  или  $di/dt$ . Если же это по каким-то причинам невозможно, то упомянутые провода следует прокладывать внутри ферромагнитных труб, шлангов или металлических кабельных каналов, соединенных с корпусом или нулевым проводом;

- не располагать параллельно входные и выходные провода сетевых блоков, фильтров и разделительных элементов;

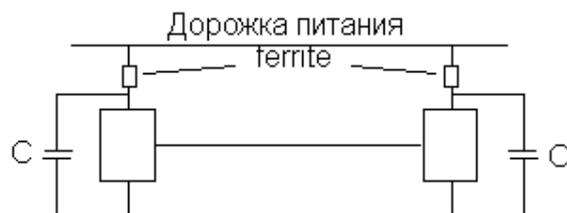
Системы опорных потенциалов сигнальных контуров различных блоков, находящихся внутри прибора, необходимо изолировать друг от друга и соединять звездой с корпусом и защитной системой в одной центральной точке.

Для обеспечения минимального уровня генерации и уменьшения восприимчивости электронного узла можно даже при невысокой плотности монтажа рекомендовать печатную плату на многослойной фольгированной пластине (малоиндуктивное построение, экранирующие покрытия). Сигнальные проводящие дорожки соседних слоев могут прокладываться ортогонально. Благодаря этому уменьшается емкостная и индуктивная связь различных путей сигнала.

При проектировании электронных устройств необходимо предусматривать фильтрующие конденсаторы по одному на каждый вывод питания микросхемы и располагать их на минимальном расстоянии от вывода (емкостью  $\sim 1-10$  нФ) или пользоваться рекомендациями производителей ИМС. Конденсаторы емкостью  $\sim 10$  мкФ нужно размещать на выходах регуляторов напряжения на плате блока питания, емкостью  $\sim 1$  мкФ вблизи входа питания печатной платы. Можно использовать распределенные конденсаторы емкостью порядка  $0,1$  мкФ на расстояниях приблизительно  $5$  см друг от друга. Для этих целей наиболее полно подходят безвыводные конденсаторы для поверхностного монтажа, благодаря чему достигается малоиндуктивное соединение. На частотах выше собственного резонанса шунтирующий конденсатор теряет свои помехоподавляющие свойства. В цепях источника питания целесообразно применить фильтры. Первым элементом фильтра при большом сопротивлении источника должен быть конденсатор, при малом сопротивлении первым элементом должна быть индуктивность это делается для достижения максимального рассогласования сопротивления на входе и на выходе.

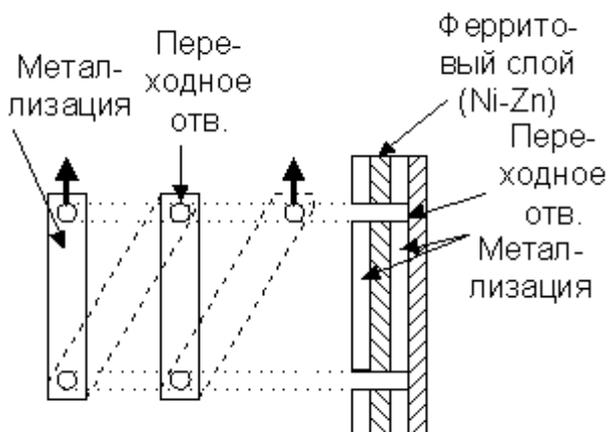
В разъемах узлов для систем опорного потенциала и напряжения питания должны, по мере возможности, отводиться несколько соседних штырьков.

Как показали измерения на испытательных печатных платах, уровень излучения многослойных печатных плат можно уменьшать, если исключить отдельный слой питающего напряжения. Вместо этого источник питания к компонентам должен быть подключен дорожками. Локальная развязка источника питания сделана цепочкой ферритовых ячеек или катушкой индуктивности и конденсатором. Практически эта технология используется в нескольких сложных проектах с очень хорошими результатами (рис. 5).



**Рисунок 5- Локальная развязка источника питания, используя ферритовую цепочку ячеек и конденсатор**

Единственный недостаток приведенной выше структуры многослойной платы – невысокая технологичность сборки из-за наличия ферритовых бусин. На рис. 6 приведен пример замены микродресселя из ферритовой бусины объемным печатным дросселем.



**Рисунок 6- Новая схема цепи развязки микросхем**

Иногда платы могут использовать больше чем одно логическое семейство ИМС. Для этих случаев зависимость местоположения ИМС на плате от быстродействия представлена на рис. 7.

Если на печатных платах две или более сигнальные проводящие дорожки на протяженных участках проводятся параллельно и близко друг к другу, то из-за взаимного влияния на входах «пассивных» цепей могут возникать виртуальные сигнальные напряжения (помехи).

У электрически длинных линий различают параллельный и антипараллельный режим. При параллельном режиме линий на одном конце линий находятся передатчики, а на другом приемники. Поток сигналов в обеих линиях имеет одинаковое направление. При антипараллельном режиме приемник одной линии располагается напротив передатчика другой. В этом случае потоки сигналов направлены навстречу друг другу. Кроме того, возникающие из-за взаимного влияния помехи могут быть разделены на односторонние и двусторонние. Влияние

называется односторонним, если линия, подверженная помехе, находится в стационарном состоянии низкого или высокого уровня, т.е. пассивна. При двустороннем влиянии обе линии активны. Параллельное влияние, как при одностороннем, так и при двустороннем влиянии является оптимальным с точки зрения уменьшения уровня помех.



**Рисунок 7- Области размещения микросхем с различным быстродействием  
Взаимное влияние параллельных проводящих дорожек**

Для того, чтобы избежать лишних расчётов и увеличить скорость и наглядность проектирования, служит среда **BoadrSim**. Она позволяет автоматически:

- выявлять необходимость согласования цепей;
- анализировать правильность выбора согласующих элементов с учётом топологии для внесения изменений в КД;
- выявлять потенциальные цепи агрессоры
- выполнять имитационное моделирование электромагнитного излучения от печатных плат.

## **Лабораторная работа №1**

### **Ознакомление с основами моделирования в среде BoardSim.**

**Цель работы:** ознакомление с интерфейсом BoardSim, с возможностями по посттопологическому анализу сигналов в цепях узлов бортового оборудования.

### **Задание на лабораторную работу.**

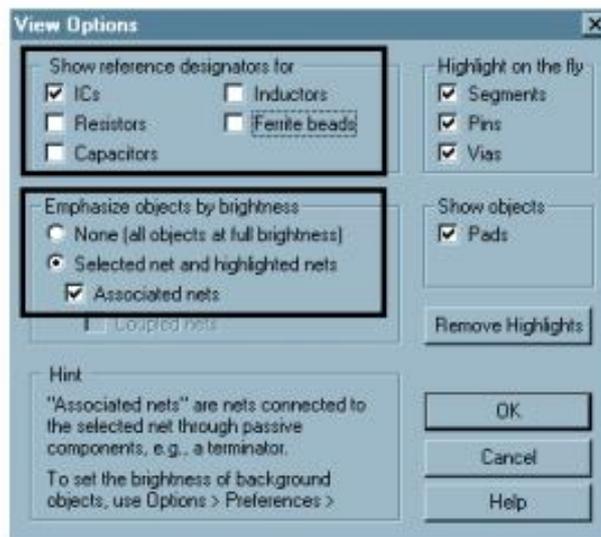
Освоить операции:

- изменения опций отображения BoardSim.
- выбора и выделения цепей.
- назначения моделей.

### **Порядок выполнения работы.**

#### **Опции Отображения BoardSim**

1. Щелкните кнопку **Open BoardSim Board**  и переместитесь в папку *C:\HyperLynx\_trng\postlayout*, выберите файл *HYPERLYNX\_CLASS\_FINAL\_BLZ.HYP* и щелкните **Open**.
2. Щелкните **Yes** на подсказку сохранения ранее открытого файла.  
Вы увидите что в окно HyperLynx загрузилась плата и теперь активны иконки и меню BoardSim.
3. Выберите **Setup > Options > General** и выберите закладку **Appearance** из диалога Preferences.
4. В секции отображения платы BoardSim, измените background color в "black" и установите слайдер Background nets на третью отметку слева. Затем выберите **OK**.
5. Выберите **View > Options** и настройте диалог как показано ниже, затем выберите **OK**.



Видны только порядковые номера ICs, а трассы тускнеют согласно вашим настройкам слайдера. Поскольку цепь еще не выбрана, нет цепей отображенных в полной яркости.

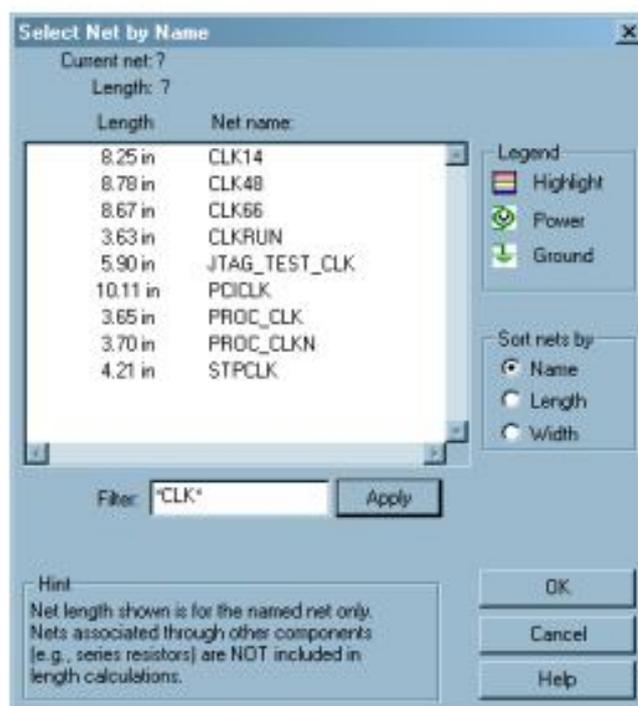


Заметка

В меню ПКМ доступны большинство таких же опций как в диалоге View Options.

6. Масштабируйте плату используя команду **ПКМ > Zoom Area**.
7. Переместите курсор на площадку пина любого компонента.  
Появится подсказка, отображающая порядковый номер компонента и номер пина.
8. Поперемещайте курсор над переходом, пином или сегментом трассы и заметьте что они моментально выделяются.

## Выбор и Выделение Цепей



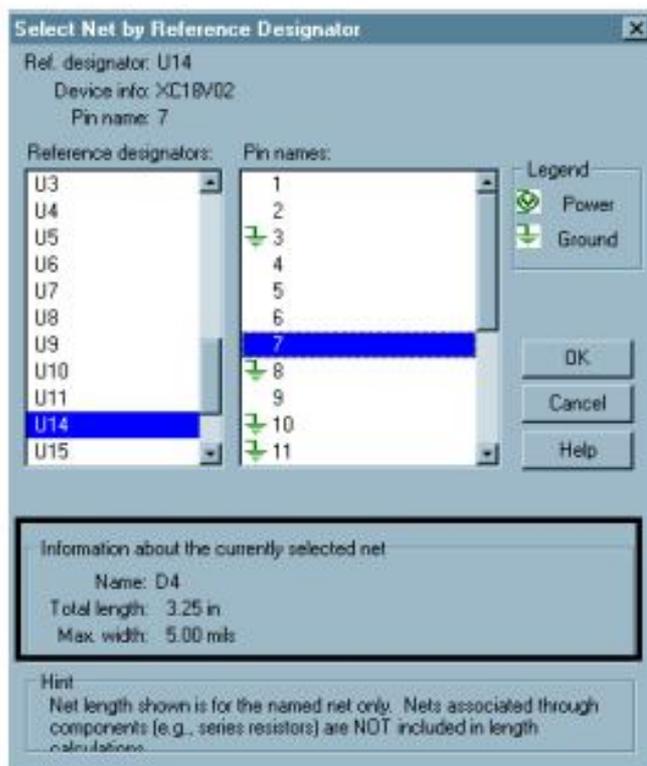
- Щелкните по разным цепям синхросигнала, что увидеть отображение выбранной цепи в Board Viewer и наконец выберите цепь CLK66, затем щелкните кнопку **OK**.

Вы заметите что только выбранная цепь отображается в BoardSim с полной яркостью, а фоновые цепи притушены. Выбранная цепь отображается сплошными трассами, и цвета сегментов определяются цветом слоев в Stackup Editor.

Далее, выберем цепь по номеру пина компонента с конкретным порядковым номером.

- Выберите **Select > Net by Reference Designator for SI Analysis**.
- В диалоге **Select Net by Reference Designator**, пролистайте список порядковых номеров вниз и выбирайте разные комбинации компонент-пин.

Для каждого выбранного вами пина, внизу диалога отобразится информация о принадлежащей цепи, как показано ниже:



- Щелкните **Cancel** в диалоге, после экспериментов.
- Для отображения цепей ассоциированных через связанность, включите анализ наводок выбрав кнопку **Enable Crosstalk Simulations** .

В Board Viewer выбранная цепь видна сплошными трассами, а связанные цепи отображаются штрихованными трассами.

- Выберите **Setup > Crosstalk Thresholds**.
- Измените стандартное значение из 150 mV в 900 mV и выберите **OK**.  
Больше не видно каких-либо связанных цепей, т.к. нет соседних цепей, производящих по крайней мере 900 mV наводки.
- Установите crosstalk threshold обратно в 150 mV.

11. Выберите **View > Options**.

Пока анализ Наводок активен. Заметьте что можно контролировать отображение ассоциированных и связанных цепей. Стандартные настройки для Опций отображают электрически и связанные ассоциированные цепи.

12. Закройте диалог View Options.

13. Отключите анализ наводок щелкнув снова кнопку **Enable Crosstalk Simulations**.

Далее, выделим цепи, так чтобы можно было видеть множество цепей относительно друг друга.

14. Выберите **View > Highlight Net**.

Откроется диалог Highlight Net. Формат диалога очень похож на диалог Select Net.

15. В поле Filter введите "\*" для отображения всех цепей проекта снова, и затем щелкните кнопку **Apply**.

16. Выберите любые две цепи отличные от CLK66 в списке.

 Подсказка	Используйте Ctrl-ЛКМ или Shift-ЛКМ для выбора более одной цепи.
--	---

17. Выберите в диалоге цвет и щелкните кнопку **Highlight**.

18. Щелкните кнопку **Close**.

Масштабируйте и заметьте, что выделенные цепи отображаются штрихованными трассами двух разных цветов: белым и выбранным вами цветом. Это демонстрирует, что в отличии от выбора цепи, можно выделить более одной цепи в единицу времени .

19. Выберите **View > Highlight Net** и щелкните кнопку **Remove All** для удаления всего выделения.

20. Закройте диалог.

У вас должна остаться ранее выбранная цепь CLK66.

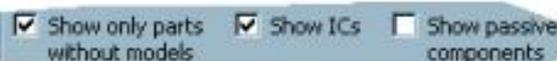
## Назначение Моделей Используя Файлы .REF и .QPL

Этот пример сосредоточен на назначении моделей. Самый простой путь назначить модели это файл *design\_name.ref*.

В отличие от ручного назначения моделей, как в LineSim, модели можно назначить только после выбора цепи. Однако сам диалог идентичен. Как только цепь выбрана, можно также интерактивно выполнить “что-если” в ручную изменяя информацию файла .REF.

В этом примере, изменим файл .REF назначив модели нескольким компонентам IC, используя ГИП внутри HyperLynx. Затем, создадим новый файл .QPL из ГИП и настроим назначение моделей нескольким компонентам проекта используя этот файл.

1. Выберите **Models > Assign Model/Values by Reference Designator (.REF File)**.
2. Настройте опции как показано выше:



Поскольку вы выбрали опцию “Show only parts without model”, список отображает все ИМС проекта без назначенной модели. Далее, назначим модели в U15 и U16 используя этот интерфейс.

3. В панели списка компонентов проекта, выберите строку U15.
4. Справа щелкните кнопку **Find Model**.

5. Введите “my\_fpga” в поле Search и щелкните кнопку **Search**.

6. Дважды щелкните на найденной модели, вверху списка.

7. Затем щелкните кнопку **Assign Model**.

Строка с информацией о назначенной модели добавится вниз панели.

8. Повторите шаги 3 - 7 для назначения *MEM\_CTRL.ibs* в U16.

В панели списка компонентов проекта, U15 и U16 теперь должны иметь знак  **R** в первой колонке, сигнализирующий, что этим компонентам назначена модель используя файл .REF.

9. После выполнения выберите **File > Save** в REF-File Editor и закройте его.

Далее, назначим модели компонентам U2 - U9 и значения резисторов, используя файл .QPL.

10. Выберите **Models > Assign Model/Values by Part Name (.QPL File)**.

11. Установите поле Part type как **IC** и введите поле Part name как “MC100EL11”, это имя компонента для компонентов U2 - U9.



Подсказка

Имя компонента можно увидеть из REF-File Editor.

12. Выберите кнопку **Find Model**.

13. В поле Search введите “MC100EL11D” и щелкните кнопку **Search**.

14. Дважды щелкните на верхней строчке для выбора модели.

15. Щелкните кнопку **Assign Model**.

16. Установите поле Part type как **Resistor** и а поле Part name как “RES”.

17. Справа с включенной опцией Discrete введите "115" в поле Value.

18. Затем щелкните кнопку **Assign Model**.

19. В QPL-Editor, выберите **File > Save As**, назовите файл как *training.qpl*, и сохраните файл в папке *C:\HyperLynx\_Trng\postlayout*.

20. Закройте QPL-File Editor.

Далее нужно указать HyperLynx что вы хотите использовать этот файл *.QPL* для назначения моделей.

21. Выберите **Setup > Options > Directories**.

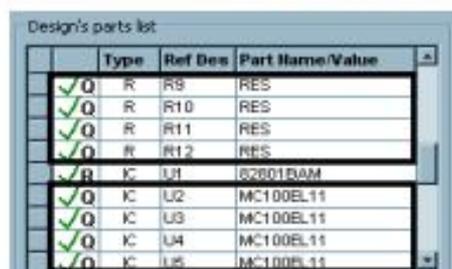
22. Добавьте файл *training.qpl* используя кнопку **Add File**.  
Результат показан ниже:



23. Выберите кнопку **OK**.

24. Чтобы убедиться что назначение моделей активно, выберите **Models > Assign Model/Values by Reference Designator (.REF File)**.

25. В панели списка компонентов проекта, пролистайте вниз, чтобы увидеть что первая колонка компонентов MC100EL11 и резистор имеет знак **✓Q** (показан в следующей диаграмме), означающий что компонентам назначены модели используя файл *.QPL*.



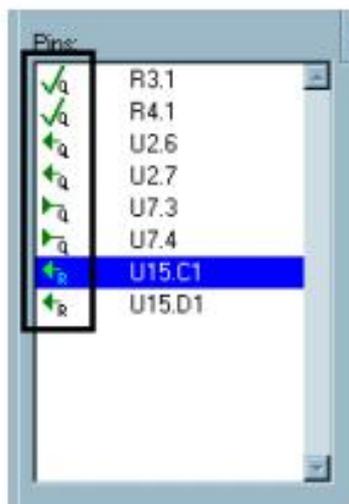
	Type	Ref Des	Part Name/Value
✓Q	R	R9	RES
✓Q	R	R10	RES
✓Q	R	R11	RES
✓Q	R	R12	RES
✓Q	K	U1	IC2001RAM
✓Q	K	U2	MC100EL11
✓Q	K	U3	MC100EL11
✓Q	K	U4	MC100EL11
✓Q	K	U5	MC100EL11

26. Закройте REF-File Editor.

27. Выберите цепь DSTBP3\_B.

28. Щелкните кнопку 

29. В панели Pins заметьте разные символы перед каждым именем пина, как показано ниже:



30. Выберите R3.1 и измените значение в “33”; нажмите клавишу Enter.

Заметьте что символ изменился в  , означающий что значение пассивных компонентов назначено интерактивно. Если сохранить сессию BoardSim, измененные значения моделей сохранятся в файле .BUD. Если сессию не сохранить, то при загрузке проекта в следующий раз, значения резисторов будет снова назначены из файла .QPL .

31. В этом примере выйдите из BoardSim без сохранения.

## Лабораторная работа №2

### Анализ электромагнитной совместимости в среде BoardSim.

**Цель работы:** ознакомление с интерфейсом BoardSim, с возможностями по анализу электромагнитной совместимости бортового и стендового оборудования.

### Задание на лабораторную работу.

Освоить операции:

- настройки и запуска моделирования в Quick Analysys;

- настройки и моделирования в Detailed Batch;
- анализа текстовых отчётов, сгенерированных в Quick Analysis.

## Порядок выполнения работы.

### Запуск Quick Analysis

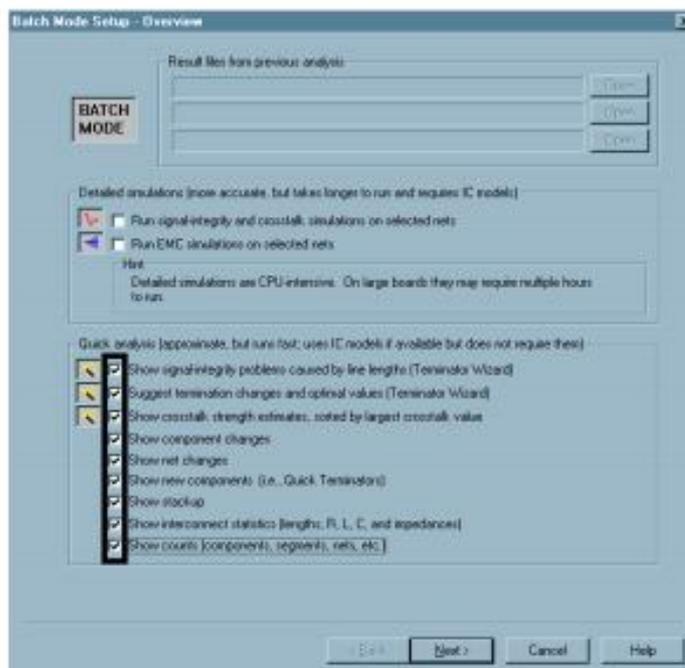
В этом примере, запустим пакетный Quick Analysis на цепи синхросигнала, для отображения каких-либо существующих проблем ЦС, наводки и ЭМИ.



Заметка

Благодаря временным ограничениям, в этом примере вы будете анализировать только одну цепь синхросигнала. В реальной ситуации нужно будет анализировать намного больше цепей.

1. Используйте меню **File > Open Board** для открытия проекта BoardSim с именем *HYPERLYNX\_CLASS\_FINAL\_BLZ.HYP* из папки *C:\HyperLynx\_Trng\postlayout*.
2. Щелкните **ОК** если появится диалог Restore Session Edits.
3. Щелкните кнопку **Run Generic Batch Simulation**. 
4. Включите все опции Quick Analysis как показано ниже:



5. Щелкните кнопку **Next**.
6. Щелкните кнопку **Quick Analysis Nets Spreadsheet**.
7. Щелкните кнопку **Disable All**.
8. В поле Filter введите “\*CLK\*”, и щелкните кнопку **Apply**.
9. В колонке QA Enable включите цепь CLK66.
10. Щелкните кнопку **OK** вверху диалога.
11. Щелкните кнопку **Next**.
12. Измените настройки, чтобы включить цепи со связанным напряжением выше 825mV. Щелкните кнопку **Next**.
13. Не изменяйте стандартные настройки модели ИМС. Щелкните кнопку **Next**.

Стандартная модель ИМС используется если не назначена модель или передатчик не установлен для каждой цепи интерактивно.

Отобразится страница Set Options for Crosstalk Analysis.

14. Примите стандартные настройки, чтобы выдать в отчет только цепи, с наводкой больше электрического порога. Затем щелкните **Next**.

Теперь вы должны увидеть страницу Interconnect Statistic. Эта страница позволяет контролировать количество информации о параметрах трасс в отчете.

15. Оставьте стандартные значения для типа информации включаемого в отчет.

В процессе работы вы сами решите какая информация важна вам.

16. Щелкните кнопку **Next** для отображения страницы Terminator Wizard.

Верхняя секция диалога позволяет исключить некоторую информацию о параметрах из отчета (уменьшается длина файла). Нижняя секция позволяет контролировать алгоритм Terminator wizard, который не рассматривает резисторы со значением больше или равно 350 Ohms как согласование по постоянному току.

Если есть pull-up/down резисторы у которых значения выше 350 Ohms (например 1K pull-up) и включен переключатель Do not report length violations if any resistors found on net, Terminator Wizard будет рассматривать эти резисторы как параллельное согласование по постоянному току и пробовать рассчитать их оптимальное значение (по всей вероятности это не то что вы хотите).

17.Щелкните кнопку **Next** со стандартными настройками,, чтобы отобразить страницу Select Audit and Reporting Options.

18.Измените имя файл в *Quick\_analysis.rpt* и выберите **Next**.

19.В завершение щелкните кнопку **Finish** для запуска моделирования Quick Analysis.

20.Пролистайте вниз, чтобы увидеть секцию Crosstalk Report.

21.Запишите значение Total estimated crosstalk и цепи агрессоры для цепи CLK66:

Цепи агрессоры CLK66: \_\_\_\_\_

Наводка на CLK66: \_\_\_\_\_

22.Пролистайте ниже к секции Net Information чтобы записать Warnings для двух цепей:

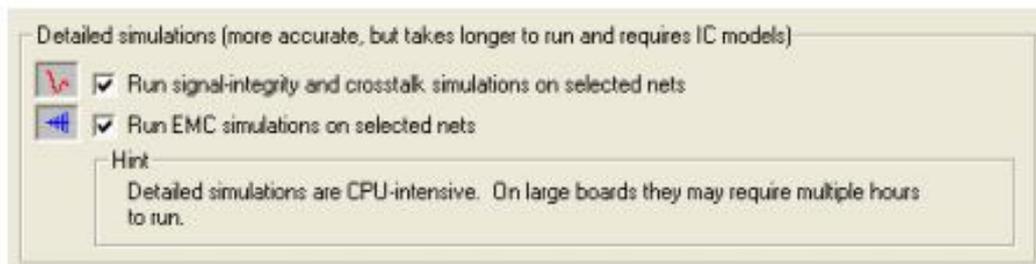
Warning для CLK66: \_\_\_\_\_

Заметьте в секции Signal-Integrity Statistics для CLK66, есть сообщение: "Net has no driver assigned! Using default driver rise/fall time". Поскольку в цепи CLK66 много двунаправленных буферов, и передатчик не установлен интерактивно, анализ использует стандартные характеристики передатчика.

## Запуск Детального Анализа

В предыдущем примере, вы обнаружили в Quick Analysis что цепь CLK66 имеет как вопросы ЦС, так и Наводки. Поэтому нужно исследовать цепь далее, запустив Detailed Analysis.

1. Откройте диалог Batch Mode Setup щелкнув кнопку **Run Generic Batch Simulation**. 
2. Отключите все опции Quick Analysis.
3. Включите обе опции детального анализа как показано ниже: Signal Integrity/Crosstalk и EMC. Щелкните кнопку **Next**.



4. Щелкните кнопку **SI Nets Spreadsheet**.

Далее создадим интересующий нас набор правил, применимых к цепи синхросигнала CLK66.

5. Щелкните кнопку **Net Rules**.
6. В диалоге Manage Rules щелкните кнопку **Add**.
7. Назовите правило как CLK66.
8. Введите правила как показано ниже, и щелкните **OK**.

Rule Name	Max. Rise Rail Overshoot (mV)	Max. Fall Rail Overshoot (mV)	Max. Rise SI Overshoot (mV)	Max. Fall SI Overshoot (mV)	Max. Rise/Fall Delay (ns)	Min. Rise/Fall Delay (ns)	Max. Rise/Fall Crosstalk (mV)	EMC Clk Freq. (MHz)	EMC Clk Duty Cycle(%)
default	300.0	300.0	300.0	300.0	1000.000	-5.000	150	133	50
CLK66	800.0	800.0	800.0	800.0	1.200	0.500	825	66	49



Заметка

Порог наводки умышленно установлен высоким, чтобы упростить анализ, т.к. это значение оставит только двух агрессоров.

9. В поле Filter в Net Selection Spreadsheet, введите “\*CLK\*”, и щелкните **Apply**.
10. Щелкните переключатель в колонка SI Enable для цепи CLK66.
11. Щелкните в колонке Net Rule для цепи CLK66 и выберите правило **CLK66** из выпадающего списка.
12. Щелкните кнопку **Estimate Slews** для отображения времени переключения колонки Approx. Switching Time.
13. Щелкните кнопку **OK** вверху диалога.
14. Щелкните кнопку **Next** в диалоге Batch Mode Setup.
15. Щелкните кнопку **EMC Nets Spreadsheet**.
16. Включите колонку EMC Enable для цепи CLK66 и щелкните **OK**.
17. Оставьте стандартные настройки EMC и щелкните **Next**.

18. Установите следующее:

Driver "round robin"	Вкл.
Fast-Strong	Вкл.
Typical	Выкл.
Slow-Weak	Выкл.
Always use model's internal values	Вкл.
When simulating, vary voltage reference values with IC corners	Выкл.

19. Щелкните **Next**.

20. Включите только опцию Flight-time compensation и щелкните **Next**.

21. Оставьте стандартные значения для IC Characteristics и щелкните **Next**.

22. Включите опции Crosstalk Simulation, затем включите следующие опции:

Selected nets as victims, stuck low	Вкл.
Selected nets as victims, stuck high	Вкл.
Exhaustive round-robin method	Вкл.
Max	50 случаев

23. Щелкните **Next**.

24. Выключите опцию Simulate Loss и включите опцию Include via L and C, затем щелкните **Next**.

25. Настройте следующую страницу как показано в следующей диаграмме, и щелкните **Next**.

**Batch Mode Setup - Select Audit and Reporting Options**

Base name of output files

File name:

Hint  
The filename extension will be added to the base name automatically.  
If no path is specified above, then the output files will be written to the .HYP-file directory.

Audit options

Run batch simulation only (no audit)       Include DC simulation in audit

Run audit only (no batch simulation)

Run both audit and batch simulation

Hint  
An audit checks IC assignments and settings before running (potentially lengthy) batch simulation. Including DC simulation in an audit yields the most robust reports, but can take extra time on boards with many nets.

After completion, automatically open ...

... audit report file

... summary report file

... detailed \*.XLS report file

If opening \*.XLS, auto-format and show errors in red

Hint  
The \*.XLS file is opened in whatever application is associated with the .XLS file extension. For \*.XLS output, select automatic formatting to improve readability.

Saving waveforms

Save waveforms

Save to directory:

< Back    Next >    Cancel    Help

26. В завершении щелкните кнопку **Finish** и подождите окончания детального моделирования.

27. Активизируйте отображение файла отчета *.XLS* из Windows Taskbar.

Поскольку включена опция Round-robin в Batch Simulation, вы заметите что двунаправленные буфера меняют направления передачи по цепи.

28. Глядя на колонку Drivers and Receivers, перечислите три буфера цепи и определите тип (bi-direction или Input):

Буфера

Тип

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

29. Запишите следующие значения когда U18-11 передает U15-B4.

Rise Overshoot SI: \_\_\_\_\_

Fall Overshoot SI: \_\_\_\_\_

Rise/Fall Crosstalk: \_\_\_\_\_

30. Посмотрите секцию Net Information в Summary Report файла *detailed\_analysis.rpt* и запишите связанные цепи (aggressors) ниже.

\_\_\_\_\_

31. Закройте все отчеты.

## Интерактивное Моделирование

В этом примере, вы моделируете цепь интерактивно и сравниваете результаты с результатами пакетного детального анализа. Для совпадения результатов детального и интерактивного моделирования, нужно установить одинаковые настройки.

1. Убедитесь что отключены кнопки **Enable Crosstalk Simulation** и **Enable Lossy Simulation**. 
2. Выберите цепь CLK66 используя диалог Select Net By Name. 
3. Щелкните кнопку  и установите U18-11 как Output, затем щелкните кнопку **Close**.

4. Убедитесь, что кнопка **Enable Via Modeling**  включена.



Заметка

Поскольку выбрали Enable Via Modeling в пакетном моделировании, для совпадения нужно сделать тоже самое в интерактивном процессе.

5. Выберите кнопку **Oscilloscope** и установите следующее:

Stimulus	Rising Edge
IC Modeling	Fast-Strong
Vertical Scale	1 V/div
Horizontal Scale	5 ns/Div

6. Щелкните кнопку **Start Simulation**.

7. Из выпадающего списка Waveform, выберите диаграмму [U15.B4(at pin)].

8. Щелкните кнопку **Positive Overshoot**  в области Measurement.

9. Запишите значение авто-измерений Positive Overshoot:

Positive Overshoot auto-measurement value: \_\_\_\_\_

10. Сравните результат с результатами пакетного моделирования из предыдущего примера в шаге 29.

Результаты похожи? \_\_\_\_\_

11. Повторите шаги 5 - 8 для Negative Overshoot (В этот раз моделируем Falling Edge) и запишите:

Negative Overshoot auto-measurement value: \_\_\_\_\_

12. Сравните результат с результатами пакетного моделирования из предыдущего примера в шаге 29.

Результаты похожи? \_\_\_\_\_

## Использование Terminator Wizard

В этом примере попробуем улучшить качество сигнала цепи CLK66 добавив быстрые согласования. Также анализируем вопросы ЭМИ на цепи.

1. Установите U18.11 как Output.
2. Откройте диалог Spectrum Analyzer. 
3. Установите Frequency в 66 MHz и щелкните кнопку **Start Simulation**.
4. Настройте нужный Vertical Offset и разместите курсор на самой высокой вершине из желтых линий. Запишите следующие параметры:

Максимальное излучение без согласования:

\_\_\_\_\_ @ \_\_\_\_\_ MHz

5. Минимизируйте Spectrum Analyzer.

6. Используя Terminator Wizard  определите проблемы цепи с текущим передатчиком

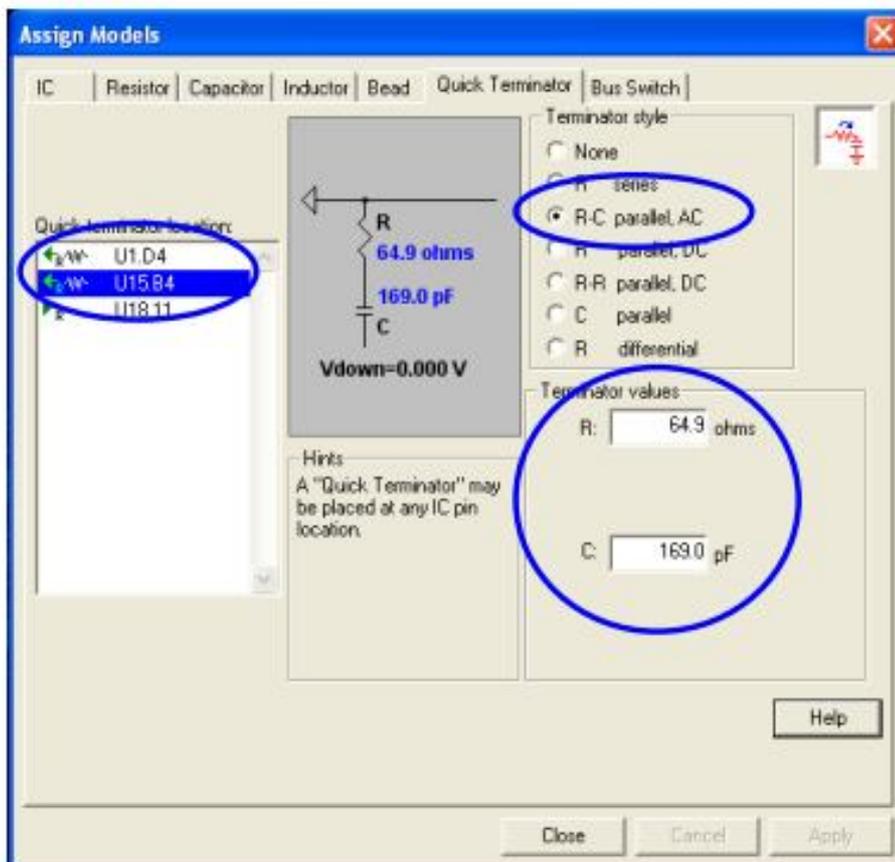
7. Что обнаружил Мастер Согласования?

---

8. Установите tolerance в 2%, и щелкните кнопку **Apply Values** для принятия рекомендаций мастера согласования.

9. Посмотрите Quick Terminators  чтобы увидеть что Terminator Wizard разместил согласование только на одном приемнике.

10. Пока в Quick Terminators, добавьте согласование такого же стиля и значения на другой приемник, как показано ниже:



11. Моделируйте цепь снова на ЦС и ЭМС.

High State SI Overshoot после согласования @ U15.B4: \_\_\_\_\_

Максимальное излучение после согласования

\_\_\_\_\_ @ \_\_\_\_\_ MHz

Как можно видеть, проблемы выброса решены согласованием (сравните значение выброса с шагом 9 предыдущего примера), но еще остались нарушения ЭМС.

## Исследование Разного Импеданса

Далее используем Stackup Editor для перемещения плейн ближе к слою top и посмотрим воздействие на наводку и ЭМИ.

1. Закройте Spectrum Analyzer и Oscilloscope.
2. Выберите **Export > Reports > Net Statistics** чтобы отметить минимальные характеристики импеданса трассы. \_\_\_\_\_

3. Откройте Stackup Editor и выберите закладку **Z0 Planning**. 

4. Введите Target Z0 как "60" Ohms для Component\_side layer, и нажмите клавишу Enter.

Заметьте, что требуемая Width для достижения 60 Ohms слишком большая.

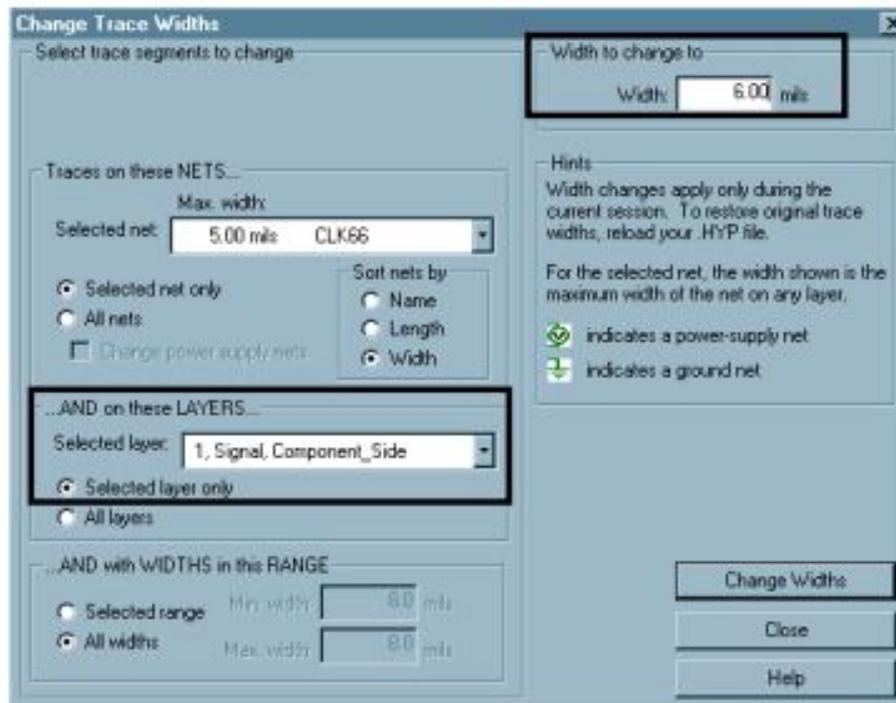
5. Измените thickness для слоя Substrate ниже слоя компонентов в 5 и нажмите Enter.

6. Запишите требуемую ширину для достижения 60 Ohms.  
\_\_\_\_\_

7. Выберите кнопку **OK** в Stackup Editor.

8. Выберите **Edit > Trace Widths**.

9. Введите параметры как показано в следующей диаграмме:



10. Щелкните кнопку **Change Widths** и закройте диалог.

11. Выберите **Export > Reports > Net Statistics** чтобы отметить новое значение Z0. \_\_\_\_\_

12. Моделируйте ЭМС используя Spectrum Analyzer.

13. Результаты лучше и почему

---

Обычно, перемещение плейна ближе к верхнему слою, не только улучшает ЭМС, но и улучшает наводку.

### 3 ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

После выполнения каждой из лабораторных работ студентом оформляется отчет и представляется преподавателю для проверки с последующей защитой (выполнение отчета и защита работы проводится каждым студентом индивидуально).

Работа оформляется в последовательности, приведенной в методических указаниях.

На первой странице пишется заглавие, указывается цель и объем работы в часах, Ф.И.О. студента, группа, дата выполнения.

Текст работы оформляется на ПЭВМ шрифтом Times New Roman с использованием средств текстового процессора и выводится на принтер на листах

формата А4 (210 \* 297 мм) с соблюдением ГОСТ 2.105-95, ГОСТ 8.417-2002 и ГОСТ 7.1-2003.

В отчете по проделанной работе должны быть включены следующие структурные элементы:

а) титульный лист;

б) цель работы;

в) основная часть, содержащая постановку задачи и полученные результаты, а также отражающая процесс выполнения работы;

г) выводы.

Перенос слов на титульном листе и в заголовках текста не разрешается. Точка в конце заголовка не ставится.

Защита лабораторных работ осуществляется по результатам выполненного задания, в процессе защиты выполняется дополнительная проверка (с использованием контрольных вопросов) усвоения студентом материала.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Шивринский, В.Н. Бортовые вычислительные комплексы навигации и самолётовождения: курс лекций / В.Н. Шивринский – Ульяновск: Изд-во УГТУ, 2010. – 148 с.