

СИСТЕМА HyperLynx КОМПАНИИ MENTOR GRAPHICS

ПРОПУСК В МИР ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Когда в 1995 году разработчикам печатных плат компании Intel представили первую версию системы HyperLynx, они отозвались о системе как об "имеющей большой потенциал роста". За прошедшие годы система стала стандартом де-факто в области анализа высокоскоростных печатных плат, и потенциал ее роста вовсе не исчерпан. Версия 7.5, вышедшая в 2005 году, содержит много новинок, облегчающих работу и рядовым разработчикам печатных плат, и специалистам в области целостности сигналов. Работа над усовершенствованиями не прекращается, можно с уверенностью утверждать, что HyperLynx — одна из самых динамично развивающихся систем в своем сегменте рынка.

Сегодня учет аналоговых эффектов в соединениях печатной платы, которые могут приводить к деградации сигналов, необходим не только при разработке высокоскоростных печатных плат, работающих на высоких частотах, но и при разработке, казалось бы, низкочастотной цифровой аппаратуры. Связано это в первую очередь с изменением используемой элементной базы. Время переключения и крутизна фронтов современных цифровых микросхем достигли таких значений, что уже невозможно "отмахнуться" от учета подобного рода эффектов даже при проектировании "обычной" аппаратуры. Соответственно, круг разработчиков, вовлеченных в задачи анализа целостности сигналов, значительно расширяется. Причем многие сталкиваются с проблемой впервые. Для таких разработчиков система HyperLynx — идеальное средство, можно сказать, пропуск в мир анализа целостности сигналов, который ранее всегда рассматривался как сфера деятельности узкого круга "продвинутых" радиоинженеров. Дело в том, что система изначально создавалась разработчиками для разработчиков, ставилась задача получить удобный инструмент, в котором общение с пользователем осуществлялось бы на языке, понятном проектировщику печатной платы, а не в терминологии науки о целостности сигналов. И эта непростая задача была успешно решена. Пользователь работает с традиционной для проектирования печатных плат конструктивной терминологией, а система уже внутри себя обеспечивает адекватное преобразование конструктивных параметров в электрические. Конечно, для специалистов есть и второй уровень общения, где можно уточнить настройки, осуществить выбор моделей и задать специфические характеристики, но главное, благодаря чему система получила широкое распространение, — удобство и простота работы. И что очень важно для подобного рода продуктов, — разработчики доверяют системе HyperLynx. Это, конечно, результат успешного использова-

ния ее уже в течение десяти лет. А начиналась система с решения простой задачи — еще до проведения проектирования топологии оценить, как будут вести себя сигналы на плате. Эта функциональность присутствует и сегодня в модуле LineSim.

Модуль LineSim

Одна из самых насущных задач для разработчика электронных систем — заранее проанализировать, насколько надежно будет сконструированная им электрическая схема работать (и будет ли работать вообще) при реализации ее на печатной плате. В первую очередь возникает вопрос — дойдет ли сигнал от источника к приемнику в нужное время и с нужным качеством (сохранится ли достаточная амплитуда, не случится ли "звона", не помешают ли наводки от соседних цепей и т.п.), т.е. вопрос оценки целостности сигнала на печатной плате. Модуль LineSim позволяет за считанные минуты нарисовать электрическую схему, задать параметры передающих линий, модели устройств и запустить программу моделирования распространения сигнала с помощью "конструктора электрической схемы". Такой электрический конструктор, в котором все возможные элементы схемы уже нарисованы в "клеточках", и нужно только щелкнуть мышью, чтобы элемент превратился из виртуального в реальный (рис.1), полюбился инженерам-разработчикам уже с первой версии продукта.

Модели передающих и приемных буферов можно выбрать из обширных библиотек, поставляемых с продуктом. Предусмотрена возможность задания таких стандартных типов передающих линий, как кабели, полосковые линии с редактируемыми параметрами, а также линии с указанными электрическими свойствами (импеданс, скорость распространения). Можно моделировать и реальные передающие линии, задав послынную структуру платы, указав ширину проводника и слой, на котором планируется реализовать соединение. Технология "что-если" (what-if) позволяет проводить экспе-

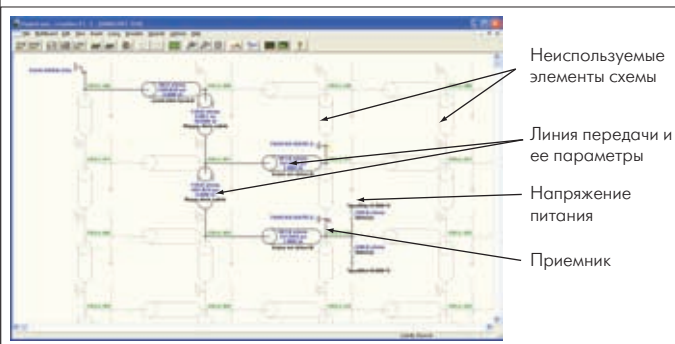


Рис.1. "Конструктор электрических схем" модуля LineSim

И.Кочиков

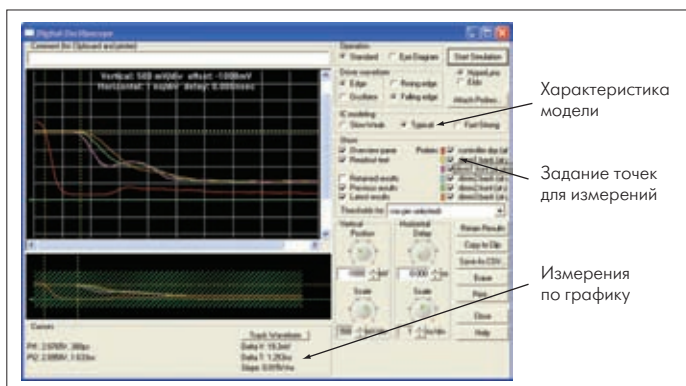


Рис.2. Визуализация результатов моделирования в виде цифрового осциллографа

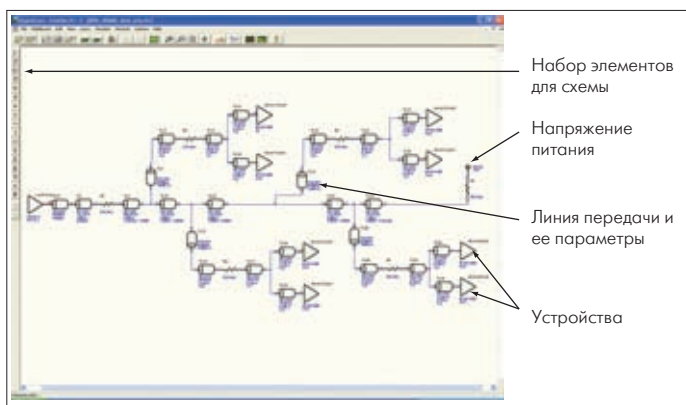


Рис.3. Редактор электрических схем модуля LineSim

рименты с параметрами платы и отдельной цепи для получения нужных характеристик сигналов.

Несмотря на, казалось бы, сугубо "схематический" характер представления цепей, LineSim позволяет делать расчеты, обычно недоступные в рамках такого представления. Например, расчет наводок между цепями требует знания взаимного расположения проводников на плате. LineSim позволяет поместить на схеме несколько цепей и объединить нарисованные на схеме линии передачи в параллельные пучки трасс. Для этих пучков остается указать конфигурацию сечения, и вот уже можно наблюдать данные о рассчитанных наводках на экране. Эта возможность имеет неоценимое значение и при проектировании дифференциальных пар, которые вообще не могут быть правильно рассчитаны без учета взаимного влияния ветвей пары. Визуализация и обработка результатов расчетов организованы в виде привычного радиоинженеру осциллографа

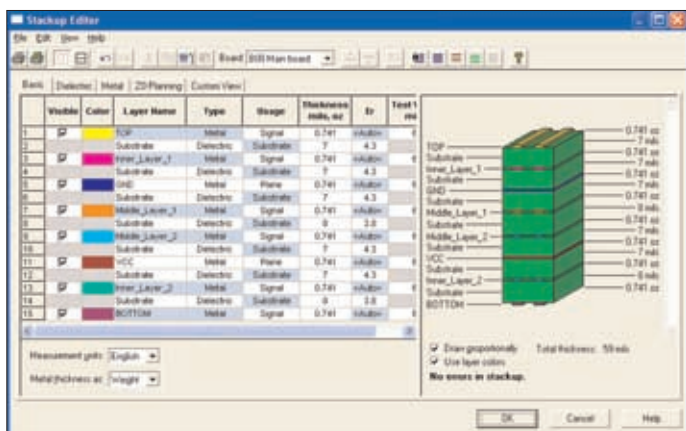


Рис.4. Редактор стека слоев

(рис.2). Результаты можно запоминать, сравнивать или, например, просто вставлять графики в документы через стандартный буфер обмена. Современные веяния, конечно, не оставили в стороне модуль LineSim, и в последних версиях системы у пользователя появилась возможность выбора – либо работать с привычным конструктором схемы, либо перейти к более гибкому (Free-Form) интерфейсу (рис.3), аналогичному интерфейсам схемных редакторов. Новый вариант интерфейса часто оказывается удобнее для относительно больших схем, которые трудно обозреть целиком в традиционном "клеточном" представлении.

Экспериментировать на предтопологической стадии разработки можно не только с электрической схемой соединений, но и с параметрами конструкции печатной платы. Редактор стека слоев (рис.4) позволяет изменять параметры диэлектрических и металлических слоев, добавлять новые слои и анализировать происходящие вследствие этого перемены. Встроенные в редактор средства анализа электрических характеристик предоставляют возможность для заданных характеристик конструкции печатной платы автоматически определять ширину трассы по заданному импедансу (отдельно для каждого слоя) и параметры дифференциальной пары (для заданного дифференциального импеданса). Редактор стека слоев используется как при работе с модулем LineSim, так и в модуле посттопологического анализа BoardSim.

Модуль BoardSim

Модуль BoardSim (вторая составляющая системы HyperLynx) предназначен для посттопологического анализа целостности сигналов. Большинство популярных продуктов для проектирования печатных плат имеют трансляторы в формат HyperLynx, а в системе PADS Layout предусмотрена даже специальная кнопка запуска HyperLynx с автоматической загрузкой всех необходимых данных о результатах проектирования топологии. После загрузки данных о плате в модуле BoardSim необходимо выделить цепь для моделирования. В режиме анализа перекрестных помех (Crosstalk) система автоматически включает в список совместно моделируемых цепей те, что могут создать в выбранной цепи заметные наводки (рис.5). От других продуктов модуль BoardSim выгодно отличается тем, что критерии отбора цепей по уровню взаимных наводок в нем могут быть не только геометрическими (длина параллельно разведенных цепей и расстояние между ними), но и электрическими – пользователь явно задает уровень наводок, которые представляются существенными. Развитая система оценок позволяет еще до выполнения точных расчетов отобразить нужные цепи, учитывая не только их геометрическое

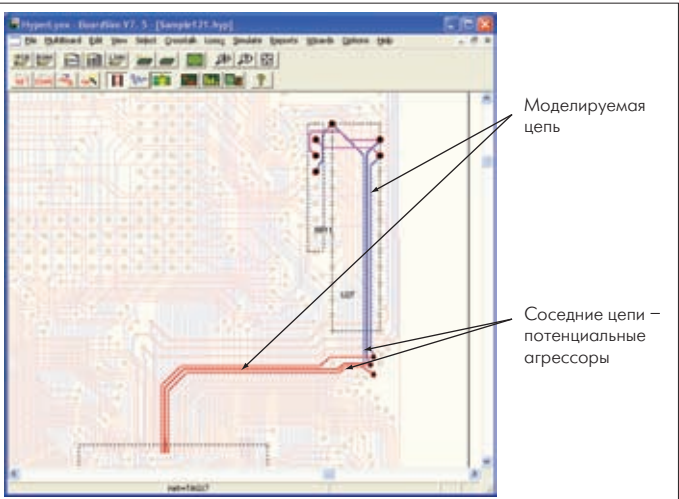


Рис.5. Учет соседних соединений при анализе перекрестных помех

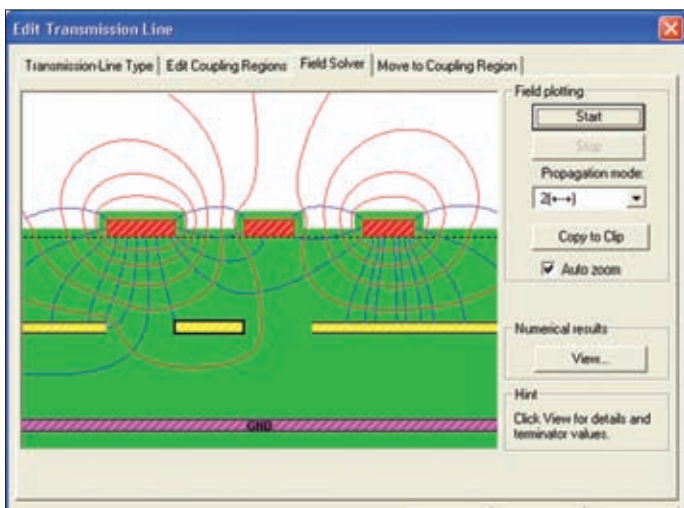


Рис.6. Картина распределения полей в сечении печатной платы

расположение, но и характеристики загруженных моделей, например, время переключения. (Большинство пользователей никогда не используют задание геометрических параметров для отбора цепей, и они сохраняются в основном для сравнения результатов с другими аналогичными системами.) Используемые вычислительные инструменты позволяют не только рассчитать взаимную емкость и индуктивность нескольких цепей, но и визуально представить картину распределения полей в сечении платы (рис.6), что помогает лучше понять природу происходящих процессов.

Дальнейшие действия по моделированию распространения сигналов в выделенной цепи (или, чаще, в наборе выделенных цепей) реализованы аналогично LineSim. Для просмотра графиков напряжений используется то же окно осциллографа. Впрочем, BoardSim имеет некоторые особенности, из которых следует отметить возможность организации пакетного режима моделирования и моделирования одновременно нескольких плат, специальные средства задания моделей и наличие инструмента для подбора согласующих сопротивлений – программы Terminator Wizard. Эта программа анализирует цепь и выдает рекомендации по улучшению качества сигналов. Если в цепи обнаруживаются значительные отражения и другие паразитные эффекты, вызванные несогласованностью сопротивлений, Terminator Wizard посоветует, какой тип согласующего сопротивления поможет преодолеть проблемы, и выдает его параметры. Пользователь может повторить моделирование в присутствии такого виртуального сопротивления и при необходимости добавить соответствующие элементы цепи (с коррекцией топологии платы).

Модуль BoardSim обладает расширенными средствами назначения моделей устройств. Интерактивный метод назначения моделей не очень удобен, когда требуется промоделировать несколько десятков цепей с соответствующим числом источников и приемников (и для каждого из них должна быть определена модель). Средства модуля BoardSim (в случае, если модель устройства явно не была указана пользователем) позволяют на основании типа микросхемы и ее имени в схеме автоматически выбрать наиболее подходящую модель.

Пакетный режим используется, как правило, для поиска проблемных областей. Пользователь выбирает набор цепей для моделирования (можно выбрать и все цепи на плате), задает критерии качества сигналов, подлежащие проверке, и запускает процедуру моделирования. Для больших плат она может продолжаться долго (многие часы) без вмешательства пользователя, а ее результатом является подробный отчет, в котором отмечены все случаи несоответствия указанным критериям.

Наконец, модуль BoardSim позволяет одновременно моделировать несколько плат. Для реализации таких вычислений предусмотрен режим MultiBoard, в котором мы видим все платы на экране одновременно (рис.7). Пользователь определяет конфигурацию проекта, в которой задает участвующие платы и специфицирует разъемы, соединяющие эти платы и их характеристики. Все дальнейшие действия (с точки зрения интерфейса) производятся так, как если бы пользователь работал с одной платой. Например, для любой точки выделенной на рис.7 цепи, проходящей через материнскую и две дочерние платы, можно просмотреть результаты моделирования.

HyperLynx GHz

Пакет HyperLynx GHz – это версия системы HyperLynx, ориентированная на работу со схемами, рабочие частоты которых превышают 300 МГц. На таких частотах возникает потребность в моделировании явлений, которые ранее могли быть опущены без особого ущерба для проектирования. Здесь уже обязателен учет потерь в линиях передачи, причем омические потери в проводниках (с учетом скин-эффекта) и поляризационные потери в диэлектриках существенно зависят от частоты, что приводит не только к уменьшению амплитуды, но и к искажению формы сигналов. Заметное воздействие на распространение сигналов начинают оказывать емкости и индуктивности межслойных переходов, а потому в исследуемую цепь включаются их модели. Особый интерес к высокочастотному моделированию обусловлен переходом от синхронной параллельной передачи данных к последовательной асинхронной, в том числе с помощью технологии соединения SERDES, предусматривающей возможность передачи многогигабитных объемов данных в секунду. Одна из особенностей пакета HyperLynx GHz – возможность работы с так называемыми "глазковыми диаграммами" (eye diagram).

Обычно осциллограф HyperLynx используется для просмотра одной (максимум, нескольких) кривых напряжения. Как правило, от-

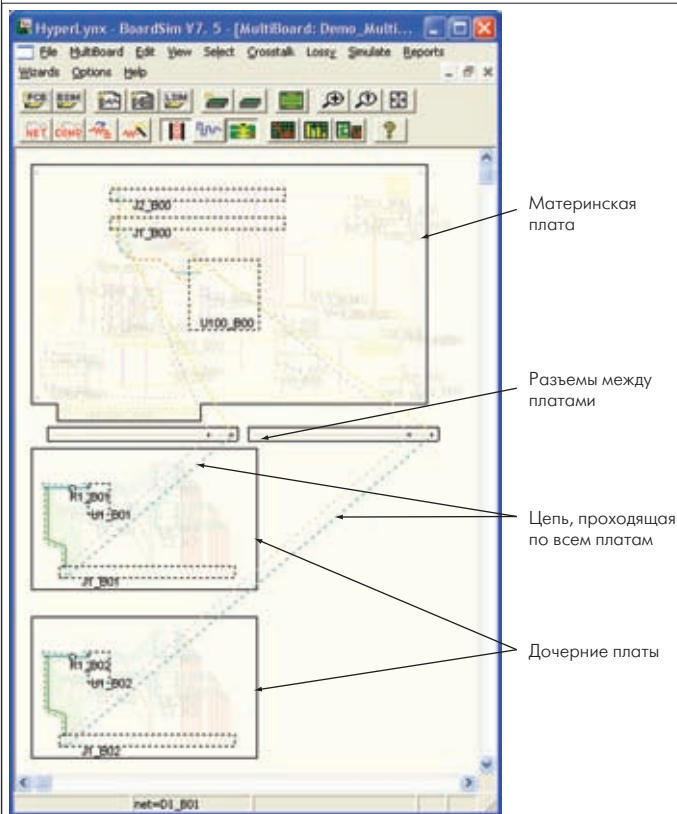


Рис.7. Моделирование нескольких плат

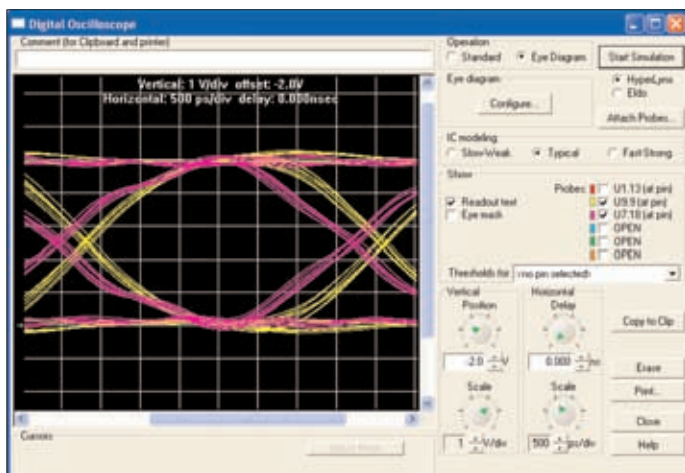


Рис.8. Изображение глазковой диаграммы в окне осциллографа системы HyperLynx

слеживается распространение одного фронта сигнала или периодической последовательности импульсов, ограниченной несколькими периодами. Однако в реальной жизни на периодический процесс влияет множество случайных факторов, изменяющих амплитуду сигналов, время их задержки и т.п. Для реалистической оценки влияния случайных факторов и предназначен метод глазковых диаграмм. Его смысл в том, что в процессе моделирования вносятся случайные изменения параметров сигнала (характер и степень случайных изменений контролируется пользователем), а на экране осциллографа рисуются наложенные друг на друга кривые напряжений для каждого периода поступающей последовательности импульсов. В результате наблюдается картина, похожая на изображение человеческого глаза, что и объясняет название диаграммы. Если "глаз открыт" (рис.8), то приемник будет работать устойчиво. Если же глаз начинает "заплывать", существует высокая вероятность неправильного срабатывания входного буфера микросхемы. В системе HyperLynx GHz можно не только наблюдать эффекты случайных возмущений, но и моделировать поведение цепи при подаче на нее апериодической последовательности импульсов. Последовательность импульсов для моделирования можно выбрать из стандартного набора или создать самостоятельно (рис.9).

Модели

С первых лет своего существования система HyperLynx ориентирована главным образом на использование IBIS-моделей (представи-

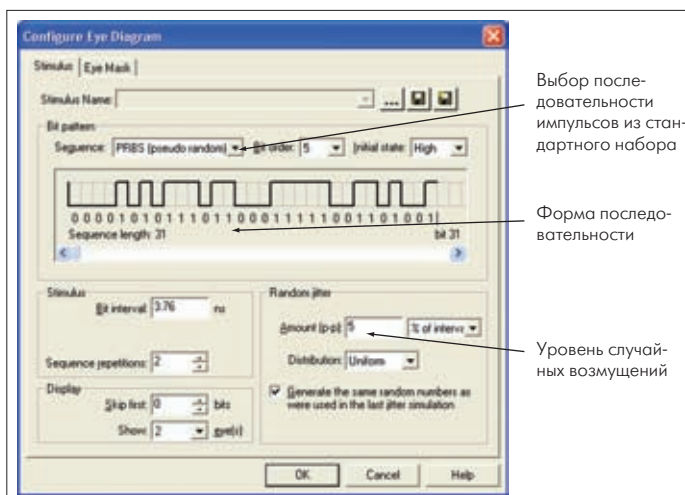


Рис.9. Задание последовательности импульсов для построения глазковых диаграмм

Выбор последовательности импульсов из стандартного набора

Форма последовательности

Уровень случайных возмущений

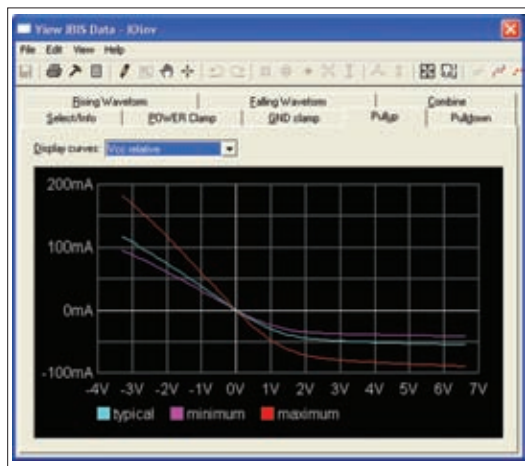
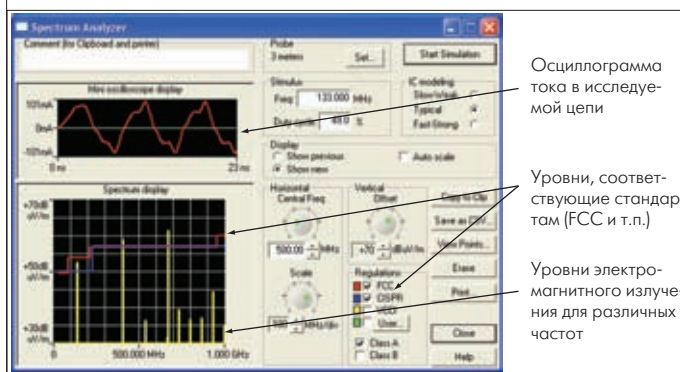


Рис.10. Редактор IBIS-моделей системы HyperLynx



Осциллограмма тока в исследуемой цепи

Уровни, соответствующие стандартам (FCC и т.п.)

Уровни электромагнитного излучения для различных частот

Рис.11. Средства анализа электромагнитного излучения в системе HyperLynx

тели компании входили в число основателей комитета по стандарту IBIS). Эти модели можно охарактеризовать как поведенческие, большая часть данных в них, в отличие, например, от SPICE-моделей, представлена в виде таблиц. Параметры IBIS-моделей могут быть как рассчитаны, так и измерены. Формат IBIS обеспечивает лучшую защиту технологических секретов производителей микросхем, и во многом благодаря этому он фактически стал промышленным стандартом. Библиотека системы HyperLynx включает около 18000 IBIS-моделей. Кроме того, большое число моделей доступно на Интернет-страницах производителей.

Поддерживается и такая разновидность IBIS-моделей, как EBD-модели (Electric Circuit Board Description). Эти модели описывают не отдельный вывод микросхемы, а целую плату (например, карту памяти, вставляемую в материнскую плату). Задав EBD-модель

для разъема на плате, мы можем проводить моделирование сигналов, распространяющихся через несколько плат. Более того, в системе HyperLynx есть средства автоматического создания EBD-модели анализируемой платы, которая в дальнейшем может использоваться не только внутри самой системы, но и в других пакетах анализа целостности сигналов. Большой популярностью пользуется входящая в состав системы программа для графического анализа и редактирования IBIS-моделей Visual IBIS Editor (рис. 10). Вместо редактирования текстовых файлов пользователь может анализировать и редактировать все кривые непосредственно на экране в графическом виде. В этой программе также есть средства, позволяющие проверить правильность (и исправить ошибки) синтаксиса IBIS-файла, средства просмотра и редактирования числовых параметров модели.

IBIS-модели – не единственный тип моделей, поддерживаемый системой HyperLynx. В последние годы наблюдалось возрождение интереса пользователей к SPICE-моделям (в частности, получили распространение "зашифрованные" SPICE-модели), и их поддержка также была включена в систему моделирования. С недавних пор система работает и с моделями, описывающими поведение компонентов в частотной области (с помощью S-, Y-, Z-параметров) в формате Touchstone.

Система HyperLynx развивается уже более десяти лет, и каждая новая версия, от первой до вышедшей в 2005 году версии 7.5, расширяла возможности пользователей продукта. Причем не только в плане решения задачи анализа целостности сигналов, которая была рассмотрена в этой статье, но и для других задач, например моделирования электромагнитного излучения (рис. 11). Постоянно

расширяются возможности интеграции системы с другими продуктами. Сегодня HyperLynx может работать с проектами печатных плат, разработанными в системах: PADS Layout, Expedition, Board Station компании Mentor Graphics; Allegro, SPEC-TRA, OrCAD Layout компании Cadence; Protel, P-CAD компании Altium; CADStar, Visula, Board Designer компании Zuken. В основном система ориентирована на работу в среде операционной системы Windows, но существуют и версии для UNIX. В ближайших планах разработчиков продукта – расширение области применения системы до нескольких десятков гигагерц, а также добавление средства анализа целостности цепей питания (Power Integrity). Решение этих проблем требует принципиально новых подходов к моделированию, и HyperLynx, конечно же, не останется в стороне от потребностей времени. ○

i Технологии SiGe доступны российским специалистам

24 ноября в Москве НИИМА "Прогресс" при участии РИЦ "Техносфера" провел семинар-презентацию немецкой компании IHP (Innovations for High Performance Microelectronics) – Института инноваций в высокопроизводительной электронике.

Компания IHP, расположенная во Франкфурте-на-Одере, была основана в 1983 году еще в ГДР и воссоздана в 1993 году как институт Академии наук Восточной Германии. В IHP работают более 200 исследователей из 16 стран. Основные направления деятельности: разработки и исследования в области беспроводных широкополосных систем связи и в сфере микроэлектроники, в том числе – твердотельной СВЧ-электроники.

Одно из достижений IHP – разработка и промышленное освоение SiGe БикМОП технологического процесса с проектными нормами 0,25 мкм. Достаточно сказать, что осенью 2004 года специалисты IHP разработали и воспроизвели ряд интегральных СВЧ-компонентов для беспроводного модема на диапазон 5 ГГц с рабочими частотами до 60 ГГц. Среди них – первая в мире SiGe-интегральная схема ФАПЧ на 60 ГГц. Разработаны и компоненты для автомобильных радаров с частотами 78 ГГц.

Для российских специалистов наибольший интерес представляет отработанная система опытного производства, благодаря которой компания IHP предоставляет сторонним разработчикам услуги по изготовлению пилотных партий

интегральных схем, в том числе – по SiGe-технологиям. IHP поддерживает несколько базовых 0,25-мкм SiGe:С БикМОП-техпроцессов как с *npr*-, так и с *npr*-биполярированными транзисторами с гетеропереходом (HBT). При этом граничные/максимальные частоты f_T/f_{max} достигают 180/220 ГГц и 90/125 ГГц, соответственно. Напряжение пробоя (при более низких частотных показателях, f_T/f_{max} не более 80/25 ГГц) достигает 7 В. Для более высоких напряжений пробоя, до 26 В, разработана технология интеграции SiGe:С БикМОП-приборов с LDMOS-транзисторами (*n*- и *p*-канальными). В компании также созданы системные библиотеки элементов и IP-блоков, совместимые с основными САПР (в том числе с продуктами компаний Synopsys и Cadence).

Таким образом, перед российскими разработчиками открывается двери одна из ведущих в мире кремниевых мастерских, специализирующаяся на выпуске пилотных партий SiGe-схем. И неудивительно, что отечественным специалистам эту компанию представлял НИИМА "Прогресс", являющийся не только дизайн-центром, но и головной организацией в создании инфраструктуры проектирования СБИС типа "система на кристалле". Учитывая, что SiGe-технологии сегодня относятся к одним из определяющих в области систем связи, у российских специалистов появляются реальные возможности создавать элементную базу для этой динамично развивающейся сферы.

И. Шахнович