

**ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРОГРАММНОЙ
СРЕДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ LABVIEW, ELECTRONIX WORKBENCH, MULTISIM,
ALLEGRO CADENCE ДЛЯ РАЗРАБОТКИ УЧЕБНЫХ
ВИРТУАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ ЛАБОРАТОРИЙ**

**INVESTIGATION AND ANALYSIS OF OPPORTUNITIES DESIGN
SOFTWARE ENVIRONMENT LabVIEW, ELECTRONICS WORKBENCH,
MULTISIM, ALLEGRO CADENCE TO DEVELOP TRAINING
VIRTUAL ELECTRONIC LABORATORIES**

Бул макалада окуу процессине багытталган виртуалдык электрондук лабораторияларды түзүү үчүн LabVIEW, Electronics Workbench, NI Multisim, Allegro Cadence моделдоо программалык продуктыларынын мүмкүнчүлүктөрүн анализдөө каралган.

Ачык сөздөр: *виртуалдык лаборатория, окутуу процесси, лабораториялык практикум, электрондук моделдөө, электр чынжырындагы процесстер.*

В статье рассмотрен анализ возможностей программных продуктов моделирования LabVIEW, Electronics Workbench, NI Multisim, Allegro Cadence для создания виртуальных электронных лабораторий, ориентированных на процесс обучения.

Ключевые слова: *виртуальная лаборатория, процесс обучения, лабораторный практикум, электронное моделирование, процессы в электрических цепях.*

In the article the analysis of the possibilities of software simulation LabVIEW, Electronics Workbench, NI Multisim, Allegro Cadence to create a virtual electronic laboratory, focused on learning.

Keywords: *virtual laboratory, the process of learning, laboratory work, electronic simulation of processes in electric circuits.*

Одним из видов программных средств, используемых при подготовке инженерных кадров по различным специальностям являются имитационно-моделирующие программные средства. Разновидностью таких средств является виртуальная электронная лаборатория. Под виртуальной лабораторией следует понимать информационную систему, представленную на электронных носителях информации. В настоящее время существует достаточно широкий выбор программных продуктов для разработки виртуальных лабораторий, позволяющих моделировать и исследовать процессы в электрических цепях. Для этих целей используются Lab view, Electronics Workbench, NI Multisim, OrCAD, Proteus VSM, Altium designer, Micro-Cap, Tina, Tina TI, LTspice/SwitcherCAD, Simone, Qucs, BNL5 Circuit simulator, DoCircuits, gEDA, EasyEDA, Ideal Circuit, PartSim, Logisim, Smica, Autocad Electrical, DIALux, McCAD, Allegro Cadence, Delta design и др.

Ряд профессиональных программ моделирования, имея широчайшие функциональные возможности, в процессе обучения показали себя малоэффективными, ввиду больших затрат времени на их освоение. Для процесса обучения при выборе программных продуктов моделирования весьма важными характеристиками являются функциональная достаточность, наглядность эксперимента и возможность в кратчайшие сроки освоить использование предложенной студенту программы.

Из приведенного списка программ моделирования и исследования процессов в электрических цепях проанализируем программные продукты фирмы National Instruments Lab view, Electronics Workbench, NI Multisim и Allegro Cadence.

LabVIEW

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) - это среда разработки и платформа для выполнения программ, созданных на графическом языке программирования «G» фирмы National Instruments (США).

LabVIEW является многоплатформенной средой которая совместима с многими операционными системами такими как Windows, MacOS, Linux, Solaris и т.д. LabVIEW имеет графический интерфейс и программирование. Создание приложений представляет собой процесс образования блок-диаграммы из графических образов (иконок), что позволяет сконцентрировать все свое внимание только на работе с потоком данных. Любая программа является виртуальным прибором, имеющим «лицевую панель» (все средства ввода-вывода для управления прибором: -переключатели, кнопки, светодиоды, информационные табло, лампочки, графики, текстовые поля и прочее) и «блок-схему» (логика работы программы). Каждый виртуальный прибор может включать в себя другие виртуальные приборы. Система, созданная в LabVIEW, намного превосходит любой реально существующий лабораторный инструмент, позволяя самостоятельно определять нужные функции создаваемого аппарата. LabVIEW применяется для управления (в том числе и удаленного) различным оборудованием (устройствами сбора данных, датчиками, устройствами наблюдения, двигательными устройствами, роботами), сбора данных, тестирований и измерений, визуализации результатов, моделирования процессов, хранения информации и генерации отчетов.

Программы в LabVIEW называются виртуальными инструментами (ВИ), так как их вид и функционирование имитируют реальные измерительные приборы.

Структура виртуальных инструментов (ВИ) может быть представлена следующими элементами:

- интерактивный интерфейс пользователя (ВИ) называется лицевой панелью, потому что он моделирует панель физического прибора. Лицевая панель может содержать кнопки, переключатели, регуляторы и другие органы управления и индикаторы. (ВИ) получают команды от структурной схемы, которая создается в графическом языке G. Структурная схема представляет собой наглядное представление решения исследуемой задачи. Структурная схема также содержит исходные коды для (ВИ);

- пиктограмма и соединитель (ВИ) представляют собой графический список параметров, обеспечивающий возможность обмена данными ВИ с другими ВИ и субВИ (ВИ- подпрограммами). Пиктограмма и соединитель позволяют использовать ВИ как основную программу (программу верхнего уровня) или как подпрограмму (субВИ) внутри других программ или подпрограмм. Таким образом, LabVIEW придерживается концепции модульного программирования. Можно разделить прикладную программу на несколько более простых подпрограмм, а затем создать несколько ВИ для выполнения каждой подпрограммы и объединить эти ВИ на общей структурной схеме, выполняющей основную программу. В результате основной ВИ верхнего уровня содержит совокупность субВИ, которые реализуют функции прикладной программы. Так как можно запустить каждый субВИ отдельно от остальной части прикладной программы, отладка происходит намного проще. Кроме того, многие субВИ низкого уровня часто выполняют задачи, общие для нескольких прикладных программ, так что можно разработать специализированный набор субВИ, хорошо подходящий для прикладных программ, которые необходимо создавать.

Интерфейсом пользователя ВИ подобно интерфейсу пользователя реального прибора является лицевая панель. Лицевая панель ВИ - прежде всего комбинация органов управления и индикаторов. Органы управления моделируют инструментальные

устройства ввода данных и передают данные на структурную схему ВИ. Индикаторы моделируют инструментальные устройства вывода, которые отображают данные, собранные или сгенерированные структурной схемой ВИ.

Окно схемы содержит структурную схему ВИ, которая является исходным графическим текстом ВИ в LabVIEW. Узлы - элементы выполнения программы. Они аналогичны инструкциям, операторам, функциям и подпрограммам в стандартных языках программирования.

Файл LabVIEW – виртуальный инструмент – состоит из двух панелей. Одна из них имитирует переднюю панель реального физического прибора, на второй панели строится блок-схема виртуального инструмента на языке G.

Достоинства LabVIEW:

- является программным пакетом для разработки прикладных программ. LabVIEW использует графический язык программирования G (Graphics), предназначенный для создания программ в форме структурных схем. LabVIEW содержит обширные библиотеки функций и инструментальных средств, предназначенных для создания систем сбора данных и систем автоматизированного управления. LabVIEW также включает стандартные инструментальные средства разработки программ. LabVIEW изначально создавалась для инженеров, а не для программистов. Поэтому эта среда (и язык программирования G) сделаны максимально интуитивно понятным. Поэтому обладает возможностью очень быстрого его освоения;

- имеет графический язык программирования, поэтому не нужно тратить время на проверку синтаксиса, поиск ошибок и опечаток. LabVIEW оперирует «объектами» (терминалы, узлы, функции и т.д.);

- изначально создана для написания программа для автоматизации в промышленности и учебных лабораторий, поэтому для работы с периферией в своем составе имеет очень большой набор библиотек (работа с RS-232 (COM порт), LPT, USB, протоколы TCP/IP, UDP и т.д.);

- имеется колоссальный набор библиотек для обработки и анализа сигнала, различные преобразования, фильтры и т.д. А при использовании дополнительных модулей обработки сигнала в нужной области этот список расширяется практически бесконечно;

- модульная система. Поэтому установив нужный модуль, можно расширить ее возможности;

- позволяет создавать законченные приложения и компилировать полноценное exe приложение;

- кроссплатформенная среда. Помимо написания программ под разные виды операционных систем, она позволяет писать ПО для Windows Mobile, встраиваемых система (CompactRIO, систем на основе Linux и Windows Embedded), поддерживает ARM микроконтроллеры;

- позволяет создавать законченные приложения, в очень сжатые сроки, в ней очень проста отладка и тестирования программ;

- очень легко работает с параллельными потоками, они очень легко создаются и управляются, что очень важно в больших проектах;

- позволяет создавать как маленькие простые приложения, так и огромные проекты с большим числом датчиков и сложным интерфейсом пользователя;

Как правило, для исследователя функции моделирования и экспериментирования у существующих программных продуктов разделены. Моделирование осуществляется в среде математических программных пакетов, а эксперименты поддерживаются другими программными средствами, что отнюдь не повышает эффективность исследований. Эффективность использования среды LabVIEW в научных исследованиях состоит в том, что, оставаясь в ее рамках, можно разрабатывать как математическую модель объекта, так

и снабжать эту модель экспериментальными данными с помощью аппаратных средств ввода-вывода, сопряженных с реальным объектом.

Недостатки:

-несмотря на огромную гибкость данной среды, есть некоторые ограничения, например утилиты в LabVIEW писать неудобно;

-LabVIEW несколько уступает по производительности другим языкам программирования (это цена за скорость и гибкость), но не значительно;

-чтобы запустить приложение, созданное с помощью LabVIEW на компьютере, в котором сама среда не установлена, нужно ставить LabVIEW Run-Time (или делать инсталлятор, при установке которого Run-Time поставиться сам.

Electronics Workbench (EWB)

Electronics Workbench программа, созданная компанией Electronics Workbench. Сегодня Electronics Workbench – это дочерняя компания, права на которую полностью принадлежат National Instruments Corporation (NI).

Electronics Workbench один из самых известных пакетов схематического моделирования цифровых, аналоговых и аналогово-цифровых электронных схем высокой сложности. Пакет включает в себя средства редактирования, моделирования и виртуальные инструменты тестирования электрических схем, а также дополнительные средства анализа моделей.

Особенностью программы является наличие контрольно-измерительных приборов, по внешнему виду и характеристикам приближенных к их промышленным аналогам. Программа проста для восприятия и достаточно удобна в работе. Она отличается от аналогичных программ простым и легко осваиваемым интерфейсом. Всё это делает обоснования выбора EWB для учебного процесса весьма целесообразным. Это реальное рабочее место студента, оборудованное контрольно-измерительной аппаратурой, позволяющее проводить исследования практически любых электронных устройств. Библиотеки предлагают огромный набор моделей радиоэлектронных устройств от самых известных иностранных производителей с широким диапазоном значений параметров. Кроме этого, есть возможность создания собственных компонентов. Активные элементы могут быть показаны как идеальными, так и реальными моделями. Всевозможные приборы (мультиметры, осциллографы, вольтметры, амперметры, частотные графопостроители, динамики, светодиоды, лампы накаливания, логические анализаторы, сегментные индикаторы) позволяют делать измерения любых величин, строить графики. Electronics Workbench может провести анализ цепи по постоянному и переменному току, исследовать переходные процессы при любом внешнем воздействии с помощью генераторов сигнала разной формы. Для более детального анализа программный пакет может работать с PSpice и Micro-Cap.

Интерфейс пакета Electronics Workbench (EWB) подобен реальному рабочему месту разработчика электронных схем. Все что необходимо для разработки и тестирования электронных схем собрано вместе и находится прямо под рукой, что легко и доступно. Окно программы EWB большая центральная область - рабочее пространство - место, где можно собирать и тестировать схемы. Рабочее пространство является подобием макетной платы, на которой собираются и отлаживаются схемы. Сверху рабочего пространства находятся: система меню, иконки контрольно-измерительных приборов, линейка библиотек компонентов и переключатель питания для активизации собранной схемы. В вертикальном окне слева от рабочего поля располагается каталог выбранной библиотеки из линейки компонентов (бункера частей). Область обмена содержит неограниченный запас каждого из элементов.

Достоинства:

-несмотря на то, что на сегодняшний день разработка и поддержка Electronics Workbench прекращена этот пакет схематического моделирования и сегодня пользуется

большой популярностью. Основные идеи, наработки и опыт специалистов компании были продолжены и воплощены в программе NI Multisim компании National Instruments Corporation. Последние версии Electronics Workbench программы носят название Multisim;

- простой графический редактор, позволяющий достаточно просто рисовать на экране практически любые электронные схемы в привычном изображении;

- большая библиотека современных электронных компонент, дискретных, интегральных аналоговых, цифровых и смешанных аналогово-цифровых. Библиотека открытая, легко может пополняться новыми элементами;

- богатая библиотека электронных схем, позволяющая использовать готовые практические разработки и легко модернизировать под конкретную задачу. Библиотека открытая, позволяет пополнение, как за счет новых разработок, так и за счет подключения библиотек более ранних версий;

- большой набор виртуальных измерительных приборов, позволяющих выполнить любое электрическое (и не только электрическое) измерение. Работа с этими измерительными приборами максимально приближена к работе с реальными приборами. Подключив виртуальный прибор к любой точке схемы, можно получить исчерпывающую информацию о процессах в данном узле;

- простой по интерфейсу набор моделирующих средств, позволяющий помимо традиционного моделирования электронной схемы по постоянному и переменному току, провести моделирование спектральных, нелинейных, амплитудно-частотных, фазо-частотных характеристик, влияние температуры на отдельные компоненты и на схему в целом, возможность сканирования (sweep) любых параметров компонентов, параметров источников сигналов и питания. Достаточно просто можно выполнить вероятностный анализ работы схемы с различными законами распределения параметров;

- большие возможности документирования исследования, получение твердой копии как электрической схемы, параметров моделирования, информации с экрана измерительной аппаратуры, хорошо оформленных графических результатов исследования;

- не требует знаний по программированию. Требуется лишь знакомство со средой Windows. Интуитивный интерфейс позволяет быстро даже неподготовленному пользователю познакомиться с основами и приступить непосредственно к электронным исследованиям;

- подробный и обширный, тщательно подготовленный Help, обеспечивающий как контекстную помощь по меню, компонентам, опциям моделирования, так и общие вопросы моделирования, возможные ошибки.

Недостатки:

- программа EWB все подписи выдает на английском языке и требует, чтобы все пояснения к схемам в окно «Description» вводились тоже на английском языке, что требует от пользователя хорошего знания английского языка.

- в числах, обозначающих дроби, целая часть отделяется от дробной точкой, как это принято в англоязычных странах, а не запятой как это принято в СНГ.

- возникают трудности при использовании активных радиоэлементов СНГ (диоды, транзисторы, операционные усилители). Для того, чтобы моделировать радиоэлектронные устройства с активными элементами СНГ, необходимо сначала подобрать аналогичный импортный элемент, а затем переименовать файл, озаглавив его латинскими буквами и цифрами.

NI Multisim

NI Multisim продукт компании National Instruments Electronics Workbench Group.

NI Multisim является одним из наиболее популярных программных пакетов, позволяющий моделировать электронные схемы и разводить печатные платы. Первые версии программы имели название Electronics Workbench.

Multisim включает в себя программное обеспечение:

- Multicap средство программного описания и немедленного последующего тестирования схем;
- Ultiboard средство служащее специально для увеличения производительности и создания 3D плат;
- Ultiroute средство, служащее для размещения и соединения компонентов;

NI Multisim выпускается в двух вариантах – Professional и Education. Версия Multisim Education предназначена для учебных заведений и включает в себя обучающие курсы, подготовленные аппаратные решения и рабочие учебники. Основная задача – закрепить теоретический материал, наглядно продемонстрировав работу тех или иных законов и процессов в реальных проектах.

Версия Multisim Professional специально создана для быстрого решения задач оптимизации соединений. Предлагается расширенный пользовательский интерфейс, нестандартные методы анализа, основанные на фирменной системе NI LabVIEW, и обычные алгоритмы имитационного моделирования схем по стандарту SPICE. Последние версии программы обладают улучшенной функциональностью, новыми инструментами для моделирования, расширенной базой элементов, благодаря чему разработка и создание проектов электрических схем может выполняться гораздо более точно и быстро.

NI Multisim отличается от других программ моделирования наличием большого числа виртуальных измерительных приборов, имитирующих реальные аналоги. По набору приборов, включенных в исследуемую схему, программа автоматически выберет режим моделирования. Multisim поддерживает взаимодействие с графической средой LabVIEW, предназначенной для разработки программно-аппаратных средств измерения и управления. Такое взаимодействие позволяет сопоставлять теоретические данные с реальными, прямо в ходе создания схем печатных плат. Это уменьшает количество проектных ошибок и ускоряет реализацию проектов.

NI Multisim, являющаяся преемником и последователем идей Electronics Workbench, имеет простой наглядный интерфейс, мощные средства графического анализа результатов моделирования, располагает виртуальными измерительными приборами, копирующими реальные аналоги (см. Рис.1).

Достоинства:

-кроме традиционного анализа SPICE, Multisim позволят пользователям подключать к схеме виртуальные приборы. Концепция виртуальных инструментов – это простой и быстрый способ увидеть результат с помощью имитации реальных событий;

-также в Multisim есть специальные компоненты под названием «интерактивные элементы» (interactive parts), их можно изменять во время эмуляции. К интерактивным элементам относятся переключатели, потенциометры, малейшие изменения элемента сразу отражаются в имитации. Это доступно за счет grapher – достаточно мощного средства просмотра и анализа данных эмуляции;

-Multisim предлагает 19 различных функций анализа: - («Анализ рабочей точки на DC», «Анализ режима AC», «Одночастотный анализ на AC», «Анализ переходных процессов», «Анализ Фурье», «Анализ шумов», «Анализ коэффициента шума», «Анализ искажений», «Анализ изменений на DC», «Анализ чувствительности», «Анализ на изменение параметров», «Анализ на изменение температуры», «Анализ на нули и полюсов», «Анализ передаточных функций», «Анализ критических режимов», «Анализ Монте Карло», «Анализ пакетный», «Анализ ширины проводников», «Анализ составленный пользователем»);

-программа может выполнять проверку результатов после которой генерируется отчет с подробной информацией об ошибках и несоединенных разъемах. Так же можно выполнить проверку, как всей схемы, так и определенного участка схемы. При обработке ошибки экран центрируется на элементе, увеличивает масштаб для внесения исправлений;

-Multisim позволяет представить 3D модель собранной схемы на макетной плате.

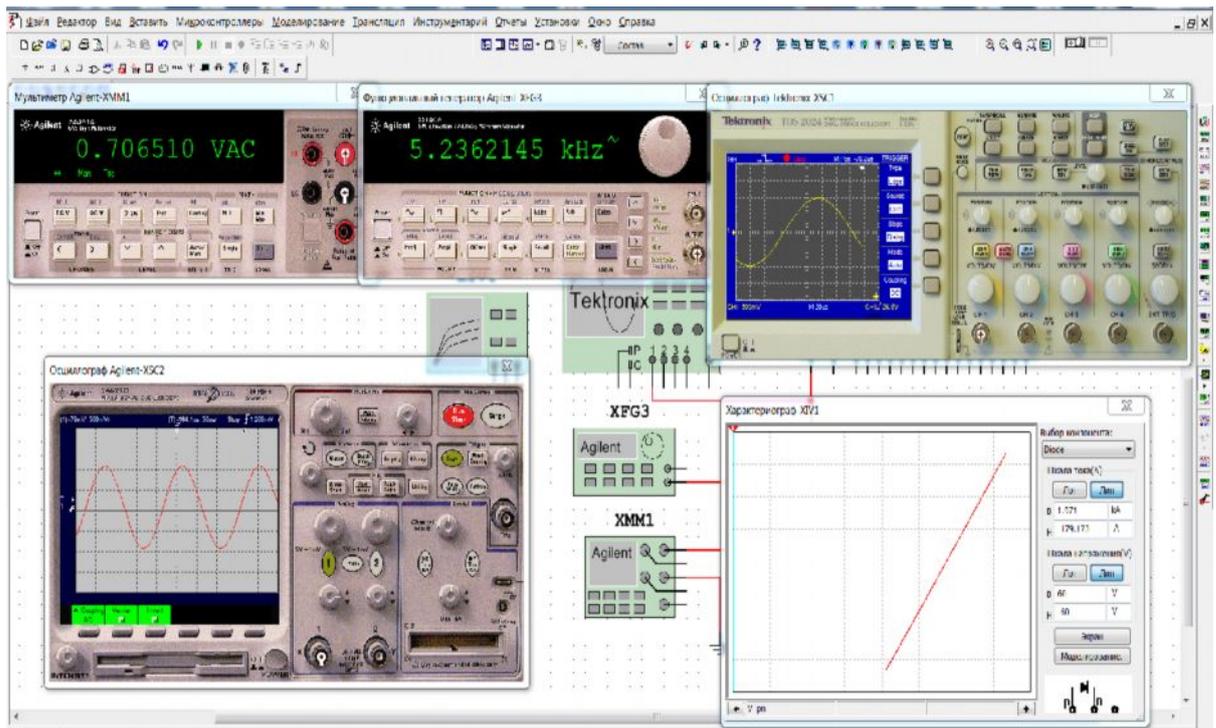


Рис.1. Контрольно-измерительные приборы NI Multisim

Недостатки:

-обратной сторона широкой функциональности стали завышенные системные требования, предъявляемые к оборудованию. Нагрузка на процессор и память при работе с большими схемами и при трассировке очень велика.

Allegro Cadence

Allegro Cadence –разработка компании Cadence Design Systems (США).

Allegro Cadence –это набор утилит и программ, позволяющих проектировать интегральные схемы, проводить аналоговое и цифровое моделирование, разрабатывать и подготавливать к производству многослойные печатные платы высокого уровня.

Allegro Cadence является одной из самых известных систем автоматизированного проектирования электроники. Среда Allegro Cadence имеет свою уникальную оболочку, почти полностью построенную на скриптах и управляемую из командной строки. Основу пакета Allegro Cadence составляет базовый набор PCB Design Studio, состоящий из трех модулей в которых имеются все необходимые инструменты для сквозного проектирования плат:

-Concept HDL или Orcad Capture CIS на выбор. Два схемных редактора со встроенными средствами управления элементами, каждый из которых располагает своими подходами и сильными сторонами. Более простой Orcad Capture CIS идеален для быстрой работы над проектом с доступом через Интернет к широчайшей компонентной базе. Concept HDL подходит для групп, разрабатывающих сложные проекты. Всю работу можно легко раздробить на управляемые однозадачные модули и распределить между проектировщиками;

-Allegro PCB – интерактивная оболочка для создания и редактирования печатных плат любой сложности с возможностями планирования топологии, трассировки и подготовки к производству;

-SPECCTRA - программа, состоящая из редактора трасс и авто-трассировщика. Оба средства интегрируются с Allegro PCB.

Кроме этого в пакете присутствует утилита PE Librarian, предназначенная для создания и управления библиотеками элементов. Стандартные модули базового набора Allegro Cadence имеют возможность модернизации. Это позволяет увеличить некоторые их характеристики, а также открывает доступ к дополнительным функциям в соответствии с последними требованиями производства. Например, доступны улучшения:

- Allegro performance option – расширяет наборы правил разработки высокоскоростных печатных плат;

- SPECCTRA upgrade – увеличивает число слоев при автотрассировке до 256;

- PSpice A/D – позволяет выполнять аналоговое и смешанное моделирование;

- SPECCTRA Quest – выполняет качественное исследование сигналов перед и после трассировки топологии.

Мощные средства синхронизации автоматически распространяют изменения, произведенные в основной части проекта, на все его версии. Определять желаемую версию можно на любой стадии разработки: - при создании списка расходных материалов, при моделировании или при формировании данных на производство. Сделать это можно как из топологического редактора, так и из схемного ввода.

Язык интерфейса программного пакета Allegro Cadence только английский.

Allegro Cadence отличается от своих конкурентов нетребовательностью к ресурсам системы. Из профессиональных систем проектирования только данная среда будет работать на одноядерном процессоре. Программа полностью совместима с операционными системами семейства Windows, начиная с Windows XP.

Достоинства:

- снижает затраты времени на моделирование, повышает надежность изделия и облегчает процесс достижения конечного решения для больших проектов;

- повышает скорость моделирования без снижения точности благодаря встроенным вычислительным средствам моделирования аналоговых и управляемых событиями цифровых сигналов;

- позволяет тестировать интерфейсы системного уровня с реальными разработками при помощи среды совместного моделирования SLPS;

- предоставляет возможность выбора компонентов из библиотеки, содержащей более 20 000 аналоговых и аналого-цифровых моделей;

- позволяет производить автоматическую идентификацию аналоговых и цифровых сигналов и использовать аналого-цифровые и цифро-аналоговые интерфейсы;

- показывает поведение изделия при сценариях типа «а что, если?» до этапа макетирования;

- позволяет достичь максимальной производительности цепи при помощи оптимизатора;

- идентифицирует и моделирует функциональные блоки сложных цепей с использованием математических выражений, функций и моделей поведения;

- определяет перегруженные компоненты при помощи нагрузочного Smoke-анализа и путем наблюдения за состоянием компонентов при анализе методом Монте-Карло;

- в отличие от аналогов, редактор печатных плат Allegro учитывает реальную геометрическую форму проводников, что позволяет значительно повысить плотность монтажа. Возможность использования современных технологий - лазерных микроотверстий - дает разработчику инструмент для обеспечения сверхмалых межслойных переходных отверстий (microvia) диаметром 50-100 мкм;

- обеспечивает масштабируемую, полнофункциональную PCB решение дизайна;

- позволяет ограничения-Driven Design поток, чтобы уменьшить дизайна итераций;

- обеспечивает единый, согласованный, перед-назад среду управления ограничением;

- обеспечивает комплексный дизайн и смешанных сигналов дизайн среды;

- обеспечивает интерактивный Floorplanning и размещение компонентов;

- обеспечивает разделение дизайна для крупных, распределенных команд разработчиков;
- позволяет в режиме реального времени, интерактивная пуш/редактирование пуш травления;
- управляет чистый планирование, сроки, перекрестных помех, слой установить маршрутизацию и геометрических ограничений;
- обеспечивает проверенную технологию платы маршрутизатора для автоматического маршрутизации случайных сигналов;
- позволяет иерархической планирование маршрута ускорить завершение проектирования;
- сокращает планирование меж-соединений и время маршрутизации для плотных конструкций с высокоскоростными интерфейсами;
- обеспечивает комплексный, мощный, легкий в использовании набор инструментов, чтобы помочь дизайнерам эффективной и успешной передачи обслуживания в производстве;

Недостатки:

- основным недостатком Allegro Cadence является его высокая стоимость.
- язык интерфейса программного пакета только английский.

Выводы

Из программ моделирования процессов в электрических цепях, рассмотренных в данной статье, идеально подходят для организации учебного процесса программные продукты фирмы National Instruments Lab view, Electronics Workbench, NI Multisim. Достаточно понятный графический интуитивный интерфейс этих программ позволяет без особых сложностей в короткие сроки освоить методы моделирования как для научно-исследовательских работ, так и для организации процесса обучения.

Единственным недостатком программных продуктов National Instruments для вузов СНГ является их высокая стоимость. В этом случае вполне соответствует требованиям учебного процесса ряд простых и бесплатных программ, рассмотренных в предыдущих статьях. Это в первую очередь TINA-TI, Logisim, Qucs, gEDA, а также бесплатные программы on-line –PartSim, DoCircuit, EasyEDA.

Такие программы как Altium designer, Allegro Cadence, OrCAD, являющиеся на сегодня одними из лучших профессиональных программ сквозного проектирования, с точки зрения профессионалов, не имеют недостатков, но для процесса обучения они достаточно сложны и большая часть их лучших функциональных возможностей (в области проектирования печатных плат), студентами востребована не будет.

Список литературы

1. Карлашук В.И. Электронная лаборатория на IBM PC. Лабораторный практикум на базе Electronics Workbench и MATLAB [Текст] Издание 5 - е / В.И.Карлашук. – М: СОЛОН – Пресс, 2004. – 800с.
2. ПейчЛ.И. LabVIEW для новичков и специалистов [Текст] / Л.И. Пейч, Д.А. Точилин, Б.П. Поллак. - Москва: Горячая линия – Телеком, 2004. - 384 с.
3. Марченко А. Л. Лабораторный практикум по электротехнике и электронике в среде Multisim [Текст]: учебное пособие для ВУЗов / А.Л.Марченко, С.В.Освальд. - М.: ДМК Пресс, 2010. - 448 с.
4. Егоров Е.Н. Применение программного прикладного пакета Multisim для моделирования радиофизических схем [Электронный ресурс] / Е.Н.Егоров, И.С.Ремпен. – Режим доступа: URL: <http://www.sgu.ru/files/nodes/30844/MULTISIM.pdf>
5. Златин И. Л. Схемотехническое и системное проектирование радиоэлектронных устройств в OrCAD 10.5 [Текст] / И. Л. Златин. – М.: Горячая Линия-Телеком, 2008. – 352 с.

6. <http://cxem.net/software/labview.php>.
7. <http://cxem.net/software/multisim.php>.