

На правах рукописи

Мохсен Аяд Абдулазиз Али

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА WEB-ОРИЕНТИРОВАННЫХ  
САПР ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ**

Специальность: 05. 13. 12 – Системы автоматизации проектирования  
(промышленность)

**А в т о р е ф е р а т**  
Диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Санкт Петербург - 2011

Работа выполнена в Санкт-Петербургском государственном электротехническом университете “ЛЭТИ” им. В. И. Ульянова (Ленина)

Научный руководитель –  
доктор технических наук, профессор Дмитриевич Геннадий Данилович

Официальные оппоненты:

доктор технических наук профессор Скобельцын Кирилл Борисович  
кандидат технических наук Павлушин Василий Анатольевич

Ведущая организация – Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий механики и оптики

Защита диссертации состоится “\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2011г. в\_\_ часов на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 212.238.02 Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета “ЛЭТИ” им. В. И. Ульянова (Ленина) по адресу: 197376, Санкт-Петербург, ул. Проф. Попова, 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан “\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2011 г.

Ученый секретарь совета по защите  
докторских и кандидатских диссертаций

Н. М. Сафьянников

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИИ

**Актуальность исследования:** С проникновением Интернет-технологий в инфраструктуру современных промышленных предприятий, разрабатывающих и производящих радиоэлектронную аппаратуру, возникает ряд проблем, связанных с недостаточным информационным наполнением корпоративных сетей, а также с неэффективным использованием технологических возможностей телекоммуникационных сетей в производственном процессе. С другой стороны, существующая система локального использования инструментальных систем на каждом рабочем месте достаточно дорога для предприятия, негибка, требует значительных затрат на приобретение большого количества лицензий и временных затрат на инсталляцию и настройку программного обеспечения. При таком подходе затрудняется также организация коллективной работы над проектами и передача проектных данных между подразделениями предприятия.

В этой связи актуальным является разработка Web-ориентированных производственных систем (CAD, CAE, PLM), используемых в процессе проектирования, разработки технологий и производстве радиоэлектронной аппаратуры. Кроме того, достаточно большое число современных предприятий работают в нескольких отделениях, а иногда и на разных континентах. Сотрудники мобильны. Имея ноутбук и мобильную связь, они могут всегда оставаться в рабочем процессе, иметь доступ к корпоративной информации, принимать решения, выполнять свою повседневную работу без каких-либо ограничений. И не важно, где они находятся - в офисе, дома или в командировке. В таких случаях стоит задача организации "виртуального отдела". В любом месте сотрудники предприятия должны быть обеспечены полноценным доступом к информационным системам "виртуального отдела". Наилучшим решением данной задачи является разработка специализированных Web-ориентированных производственных систем.

Одним из наиболее востребованных типов производственных систем, используемых на предприятиях, являются системы автоматизированного проектирования. Существующие САПР электронных схем имеют значительную стоимость при ограниченном количестве лицензий для работы в сети. Поэтому актуальным является создание Web-ориентированных САПР, позволяющих на удаленных компьютерах формировать задания на проектирование, а процесс непосредственного моделирования схемы выполнять на Web-сервере. Это позволит значительно повысить эффективность использования САПР и сократить расходы на ее приобретение.

В настоящее время наблюдается тенденция увеличения подобных разработок в различных областях. За такими технологиями – будущее специализированного программного обеспечения, требующегося для решения узкопрофильных задач. Использование сервера САПР позволяет

работать с одним пакетом сразу несколькими пользователями одновременно, что позволяет экономить значительные средства.

На сегодняшний день САПР, построенные на основе пакета Design Lab, являются одними из самых применяемых в инженерной практике системами для проектирования радиоэлектронных схем и печатных плат. Стоимость установки одного экземпляра пакета Design Lab достигает несколько тысяч долларов и предприятия при индивидуальном использовании САПР несут большие финансовые затраты. В то же время модульная структура рассматриваемой САПР позволяет выполнить серверную установку проектирующих модулей системы и организовать удаленный доступ с рабочих мест проектировщиков с помощью специализированных Web-приложений. Таким образом, адаптация функционирования существующих промышленных САПР на основе реинжиниринга (рефакторинга) архитектуры системы с разнесением готовых модулей системы между клиентом и сервером является одним из актуальных направлений в области теории и практики развития современных САПР.

#### **Цели и задачи исследования**

**Цель работы** - исследование и разработка программного и информационного обеспечения Web-ориентированной схмотехнической САПР на основе программных модулей системы Design Lab. Использование Web-ориентированной САПР позволит пользователям на удаленных компьютерах формировать задания на проектирование, а процесс непосредственного моделирования схемы выполнять на Web-сервере, что позволит значительно повысить эффективность использования САПР и сократить расходы на ее приобретение. Дополнительно обеспечивается доступ к информационным ресурсам удаленных баз данных и организация дистанционного взаимодействия распределенных коллективов пользователей САПР.

Для достижения поставленной цели исследования необходимо решить следующие задачи:

1. Провести сравнительный анализ традиционных архитектур промышленных схмотехнических САПР и определить требования к архитектуре, позволяющие построить распределенную версию системы.
2. Выполнить обзор методов и подходов, обеспечивающих трансформацию традиционных архитектур к многозвенной архитектуре с разнесением готовых модулей системы между клиентом и сервером с целью достижения оптимальной производительности в условиях низкоскоростных каналов Интернета и лимитированных ресурсов Web-сервера.
3. Выполнить анализ и систематизацию информационного обеспечения схмотехнических САПР и определить состав локальных баз данных, размещаемых на рабочей станции, и централизованных данных, доступных на Web-сервере;

4. Разработать сетевую архитектуру Web-ориентированной САПР, обеспечивающую разделение компонентов программного и информационного обеспечения между рабочей станцией САПР и Web-сервером.
5. Провести анализ и осуществить выбор инструментальных сред для реализации программных модулей системы и Web-приложения, а также определить оптимальные методы доступа к данным, учитывая их распределенный характер и размещение в сети Интернет.
6. Разработать управляющее интерфейсное Web-приложение, обеспечивающее запуск и синхронизацию подсистем на стороне клиента и на стороне сервера, а также пересылку данных между клиентскими и серверными подсистемами.

**Основные методы исследования:** В ходе диссертационного исследования были использованы модели и методы математического моделирования схемных компонентов, метод архитектурного рефакторинга программных систем, теория баз данных и теория построения САПР, эффективные методы реализации распределенных Web-приложений на основе современных объектно-ориентированных языков программирования.

#### **Достоверность научных результатов**

Подтверждается корректностью использования математического аппарата, теории моделирования электронных схем, теории реляционных баз данных, теории объектно-ориентированного программирования, а так же результатами тестирования разработанного информационного и программного обеспечения в сети Интернет.

#### **Новые научные результаты**

Научная новизна полученных в диссертационной работе результатов заключается в следующем:

1. Предложен новый способ трансформации традиционных архитектур САПР на основе метода архитектурного рефакторинга к многозвенной архитектуре с разнесением готовых модулей системы между клиентом и сервером с целью достижения оптимальной производительности в условиях низкоскоростных каналов Интернета и лимитированных ресурсов Web-сервера.
2. Разработана архитектура Web-ориентированной схмотехнической САПР, отличающаяся от известных использованием активного Web-сервера и комбинации шаблонов Thin Web Client и Thick Web Client для отдельных подсистем САПР в зависимости от типа проектных процедур и операций, реализованных в подсистеме.
3. Предложена новая версия Web-ориентированной архитектуры информационной подсистемы схмотехнической САПР Design Center на основе распределения файлов данных на два уровня: локальные базы

данных и централизованные базы проектных данных. При этом локальные базы данных размещены на рабочей станции САПР, а централизованные базы данных помещены на Web-сервер.

4. Разработана новая структура программного и информационного обеспечения Web-ориентированной схмотехнической САПР, которая включает: проектирующие модули системы Design Center, распределенные между клиентом и сервером; управляющую подсистему в виде Web-приложения; базу данных пользователей САПР и базу данных рабочих проектов, включающие подсистемы управления данными с Web-интерфейсом и подсистему регистрации и контроля доступа пользователей САПР.

#### **Научные положения, выносимые на защиту**

1. Архитектура Web-ориентированной схмотехнической САПР, базирующаяся на программных модулях системы Design Center и отличающаяся от известных использованием активного Web-сервера и комбинации шаблонов Thin Web Client и Thick Web Client для реализации отдельных подсистем САПР, в зависимости от принадлежности подсистемы к определенному семантическому слою.
2. Структура информационного обеспечения Web-ориентированной схмотехнической САПР, включающая распределенную базу данных сеанса проектирования составные части, которой рассредоточены между рабочей станцией и WEB-сервером и мигрируют по сети Internet в процессе работы системы.
3. Метод организации коллективной работы пользователей САПР в сети Интернет над общим проектом на основе специализированной подсистемы регистрации и контроля доступа, реализованной на Web-сервере.

#### **Практическая ценность работы**

Значение результатов диссертационной работы для практического применения заключается в следующем:

1. Разработанный подход обеспечивающих трансформацию традиционных архитектур к многозвенной архитектуре с разнесением готовых модулей системы между клиентом и сервером с целью достижения оптимальной производительности в условиях низкоскоростных каналов Интернета и лимитированных ресурсов Web-сервера .
2. Предложенная в диссертации архитектура Web-ориентированной схмотехнической САПР может служить основой для построения распределенных систем синтеза цифровых схем, систем конструкторского проектирования и САПР сложных технических объектов различного назначения.
3. Реализованная версия Web-ориентированной схмотехнической САПР WSpice на основе системы Design Center позволяет на удаленных компьютерах формировать задания на проектирование, а процесс непосредственного моделирования схемы выполнять на Web-сервере.

Такой подход значительно повышает эффективность использования САПР и сокращает расходы на приобретение лицензий.

### **Практическая реализация и внедрение результатов работы**

Разработанная в ходе исследования архитектура Web-ориентированной схемотехнической САПР была реализована с помощью технологии ASP.NET. Одним из наиболее эффективных средств создания Web-приложений ASP.NET является Microsoft Visual Studio 2010. При выполнении данного исследования главной задачей было создание открытой, полнофункциональной и динамической системы, реализованной на современном инженерном уровне и позволяющей проводить обработку радиоэлектронных схем в Internet/Intranet сетях. Практическим результатом работы является Web-ориентированная схемотехническая САПР WSpice на основе системы Design Center. Система использует стандартные модули Schematics, PSpice, Probe, входящие в состав Design Center, и ASPX-страницы Web-приложения.

Web-ориентированная САПР WSpice внедрена в учебный процесс, что подтверждается актом о внедрении, и используется при проведении дистанционных лабораторных занятий по дисциплинам: «Проблемно-ориентированные диалоговые системы» и «Микросхемотехника» в учебном процессе подготовки бакалавров и магистров по направлению «Информатика и ВТ» (магистерская программа 230100.68-16 «Информационное и программное обеспечения САПР»).

**Результаты диссертационной работы использовались** в госбюджетной НИР по теме: «Разработка моделей и методов анализа и синтеза интеллектуальных систем поддержки принятия решений для управления сложными распределенными объектами» (шифр САПР-47 тем. плана СПбГЭТУ 2011 г.).

Основные результаты работы используются при подготовке инженеров по специальностям 230104 «Системы автоматизации проектирования» и магистров по направлению «Информатика и вычислительная техника» (магистерская программа 230100.68-16 «Информационное и программное обеспечения САПР»). Применение разработанной системы в учебном процессе обеспечивает поддержку дисциплины «Моделирование непрерывных систем» учебного плана подготовки магистров по направлению «Информатика и вычислительная техника», а так же дисциплины «Проблемно-ориентированных диалоговые системы» учебного плана подготовки инженеров по специальности 230104 «Системы автоматизации проектирования».

Результаты диссертационной работы используются в учебной практике Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина) на кафедре «Системы автоматизированного проектирования» для подготовки магистров и бакалавров по направлению «Информатика и вычислительная техника»

(магистерская программа 230100.68-16 «Информационное и программное обеспечения САПР»).

### **Апробация работы.**

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях:

- XVII Международная конференция «Современные образование содержание, технологии, качество 2009, 2011».

- 63-я, 64-я научно-технические конференции профессорско-преподавательского состава Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина) .

### **Публикации**

Основные теоретические и практические результаты диссертации опубликованы в 6 статьях и докладах, среди которых 3 публикации в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендованных в действующем перечне ВАК. Доклады доложены и получили одобрение на 3 международных, всероссийских и межвузовских научно-практических конференциях перечисленных в конце автореферата.

### **Структура и объем диссертации**

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы, включающего 89 наименований. Работа изложена на 181 страницах, содержит 55 рисунков и 3 таблицы.

## **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования, приведено краткое содержание работы.

**В первой главе** приводятся исследования и анализ архитектур схемотехнических САПР, проблемы построения WEB-ориентированных САПР и метод архитектурного рефакторинга.

На настоящий момент актуальным является разработка и адаптация специальных Internet-ориентированных версий настольных САПР, позволяющих выполнить серверную установку проектирующих модулей системы и организовать удаленный доступ с рабочих мест проектировщиков с помощью специализированных Web-приложений.

На платформе персональных компьютеров в настоящее время имеется достаточно много систем, обеспечивающих сквозное проектирование радиоэлектронной аппаратуры. Наибольшее распространение среди разработчиков радиоэлектронной аппаратуры получила система Design Lab корпорации MicroSim. Основу системы Design Lab составляет программа PSpice, которая является наиболее известной модификацией программы схемотехнического моделирования SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis), разработанной в начале 70-х годов в Калифорнийском университете г. Беркли. Она оказалась очень удачной и с тех пор интенсивно развивается и де-факто стала эталонной программой моделирования

аналоговых устройств. Традиционная архитектура схемотехнической САПР Design Lab включает отдельные подсистемы, написанные на процедурных или объектно-ориентированных языках программирования, имеющих мощные средства для работы с различными структурами данных таких как списки, очереди, стеки, деревья, графы и т.д. Обмен данными между подсистемами обеспечивается с помощью текстовых и двоичных файлов. Рассмотренная архитектура полностью базируется на классическом модульном принципе построения приложений с инкапсуляцией всех данных внутри отдельного модуля.

Для сравнения в диссертации рассмотрена организация еще одной распространенной схемотехнической САПР Micro-Cap фирмы Spectrum Software. В литературе не встречается подробное описание архитектуры Micro-Cap, поэтому в диссертации проведено исследование из которого видно, что система Micro-Cap реализована в виде одного исполняемого модуля с многооконным интерфейсом MDI (Multiple Document Interface), позволяющим в одном приложении работать одновременно с несколькими документами или с разными представлениями одного и того же документа. Интерфейс MDI впервые был использован в Windows, начиная с версии 3.0. Инкапсуляция всех функций САПР Micro-Cap в рамках одного приложения не позволяет выделить в рамках данной архитектуры серверную и клиентскую части, что не дает возможности взять за основу рассмотренную систему в качестве базовой для построения Web-ориентированной схемотехнической САПР

Таким образом, практическая реализация модульного принципа на системном уровне позволяет использовать САПР Design Lab в качестве прототипа для разработки Web-ориентированной версии системы, процесс построения которой возможен на основе рефакторинга архитектуры системы.

В диссертации показано, что для достижения промежуточных целей, возникающих в ходе архитектурного рефакторинга, как правило, приходится выполнять более одного шага. Эти шаги относятся к различным фазам решения поставленных архитектурных задач. Можно условно выделить следующие фазы : фаза "раскопки" архитектуры, фаза трансформации архитектуры, фаза семантического анализа подсистем и фаза проецирования изменений модели на программный код. Накопленный опыт реинжиниринга архитектуры программных систем позволил выделить несколько групп приемов, используемых наиболее часто. Эти приемы переходят из одного процесса рефакторинга архитектуры в другой с небольшими модификациями или даже вовсе без них. Повторяющиеся решения выделены в самостоятельные паттерны или группы паттернов. Пожалуй, одним из важнейших и наиболее употребимых паттернов рефакторинга архитектуры ПО является паттерн "выделение слоев".

Рассмотрен процесс рефакторинга архитектур прикладных программных систем. Показано, что основой для такого процесса может

служить паттерн выделения слоев, который предлагается использовать трансформации схемотехнической САПР с традиционной архитектурой к Web-ориентированной архитектуре.

**Во второй главе** представлены семантический анализ структуры схемотехнических САПР и решены вопросы выбора архитектуры и реализации Web-ориентированной схемотехнической САПР на основе модулей системы Design Lab.

Метод архитектурного рефакторинга, рассмотренный в первой главе, базируется на паттерне "выделение слоев". Одним из главных шагов данного паттерна является фаза семантического анализа подсистем, которая позволяет выявить смысловую нагрузку подсистем. В диссертации выполнен семантический анализ структуры схемотехнических САПР. Показано, что системная архитектура Design Lab построена по модульному принципу и включает следующие слои:

**Управляющий слой:**

**Модуль *Schematics*** – предназначен для графического ввода принципиальной схемы проектируемого устройства и одновременно является управляющей подсистемой для запуска программных модулей на всех стадиях работы со схемой.

**Проектирующий слой:**

**Модуль *PSpice*** – предназначен для моделирования аналоговых электронных схем и позволяет рассчитывать переходные процессы при действии различных входных сигналов, их спектры, режимы по постоянному току, частотные характеристики, спектральные плотности внутренних шумов и другие характеристики нелинейных и линеаризованных аналоговых устройств.

**Обслуживающий слой:**

**Модуль *StmEd*** - редактор входных сигналов (аналоговых и цифровых ).

**Модуль *Probe*** - программа графического отображения и обработки результатов моделирования.

**Информационный слой:**

**Модуль *Parts*** - программа идентификации параметров математических моделей компонентов по паспортным данным.

**Библиотеки *Library***- файл библиотек параметров моделей схемных компонентов.

**Описание схемы** – согласованный набор файлов, содержащих описание графического изображения схемы, описание соединения компонентов в схеме, описание моделей и параметров компонентов.

**Результаты моделирования** – файл, содержащий выходные данные моделирования в табличной форме.

Таким образом, традиционная архитектура схемотехнической САПР построена по модульному принципу, в соответствии с которым каждый семантический слой реализован в виде автономных программных модулей; передача данных между слоями осуществляется с помощью файлов; порядок

вызова модулей слоев заранее определен и осуществляется пользователем в процессе диалога с управляющей подсистемой. Характерной особенностью архитектуры является возможность автономного использования проектирующего слоя (модуль PSpice) при условии подготовки описания схемы в виде текстового файла на входном языке подсистемы. Так же допускается автономное использование обслуживающего слоя для графического отображения результатов (модуль Probe) в случае подготовки входного файла отображаемых результатов в определенном формате.

Следует отметить, что подобный архитектурный шаблон используется при построении большинства известных промышленных САПР. При переходе к распределенным Web-ориентированным САПР данная архитектура требует существенной переработки.

Для перехода к распределенной архитектуре САПР в диссертации рассмотрена последовательность выполнения проектных процедур (ПП), закрепленных за определенными семантическими слоями, и выполнено их распределение между клиентской и серверной частями приложения. С учетом рассмотренных требований разработана Web-ориентированная архитектура распределенной САПР, которая включает помимо модулей Design Center, распределенных между клиентом и сервером, также управляющую подсистему в виде Web-приложения состоящего из двух частей: серверной и клиентской

Процесс автоматизированного проектирования включает следующие проектные процедуры (ПП):

- Ввод и редактирование принципиальной схемы (ПП1).
- Формирование задания на моделирование (ПП2).
- Проверка описания введенной схемы (ПП3).
- Моделирование схемы (ПП4).
- Построение графиков характеристик схемы (ПП5).
- Просмотр результатов моделирования (ПП6).
- Проверка корректности результатов моделирования (ПП7).

По результатам выполнения процедур ПП3 и ПП7 возможно повторное выполнение всего цикла автоматизированного проектирования с целью получения оптимального варианта схемы.

Анализ рассмотренной последовательности позволяет выполнить распределение проектных процедур между серверной и клиентской частями САПР следующим образом:

**Клиентская часть:**

- Ввод и редактирование принципиальной схемы (ПП1).
- Формирование задания на моделирование (ПП2).
- Проверка описания введенной схемы (ПП3).
- Просмотр результатов моделирования (ПП6).
- Проверка корректности результатов моделирования (ПП7).

### Серверная часть:

- Моделирование схемы (ПП4).
- Построение графиков характеристик схемы (ПП5).

При таком распределении проектных процедур необходимо обеспечить их дистанционный вызов и пересылку файлов данных между клиентской и серверной частями. Для выполнения данной задачи распределенную архитектуру САПР предложено дополнить Web-приложением, которое обеспечивает согласованный вызов проектных процедур на стороне сервера и на стороне клиента распределенной САПР. В функции Web-приложения входит также пересылка файлов проектных данных между серверной и клиентской частями САПР. Существенными компонентами данной архитектуры являются также Web-сервер и браузер, которые обеспечивают функционирование распределенной САПР в сети Интернет.

Третья глава посвящена организации информационного обеспечения Web-ориентированных схемотехнических САПР, описанию подсистемы регистрации и контроля доступа пользователей САПР и методам доступа к распределенным базам данных Web-ориентированной САПР.

Информационное обеспечение системы DesignCenter используется при проведении моделирования, создании принципиальных схем и печатных плат, синтеза программируемых логических матриц и выполнении других проектных операций.

Главная составляющая *информационного фонда* системы DesignCenter содержит информацию о структуре моделей компонентов, входящих в состав проектируемой схемы, и значениях параметров моделей. Основной формой хранения данной информации в системе являются разнообразные библиотеки, размещаемые в файлах. Фрагмент библиотечного файла eval.lib приведен ниже.

```
* Sample standard device library
* Copyright 1994-1995 by MicroSim Corporation
* Neither this library nor any part may be copied without the express
* written consent of MicroSim Corporation
* $Revision: 1.26 $
* $Author: RPEREZ $
* $Date: 04 Mar 1996 14:32:26 $
*-----
* This is a reduced version of MicroSim's standard parts libraries. Some
* components from several types of component libraries have been included
* here.
* The following is a summary of parts in this library:
* Part name Part type
*-----
* Q2N2222 NPN bipolar transistor
* Q2N2907A PNP bipolar transistor
* Q2N3904 NPN bipolar transistor
* Q2N3906 PNP bipolar transistor
*****
.model Q2N2222 NPN(Is=14.34f Xti=3 Eg=1.11 Vaf=74.03 Bf=255.9 Ne=1.307
+ Ise=14.34f Ikf=.2847 Xtb=1.5 Br=6.092 Nc=2 Isc=0 Ikr=0 Rc=1
```

```

+      Cjc=7.306p Mjc=.3416 Vjc=.75 Fc=.5 Cje=22.01p Mje=.377 Vje=.75
+      Tr=46.91n Tf=411.1p Itf=.6 Vtf=1.7 Xtf=3 Rb=10)
*      National      pid=19          case=T018
*      88-09-07 bam      creation
*§
.model Q2N2907A PNP(Is=650.6E-18 Xti=3 Eg=1.11 Vaf=115.7 Bf=231.7
Ne=1.829
+      Ise=54.81f Ikf=1.079 Xtb=1.5 Br=3.563 Nc=2 Isc=0 Ikr=0 Rc=.715
+      Cjc=14.76p Mjc=.5383 Vjc=.75 Fc=.5 Cje=19.82p Mje=.3357 Vje=.75
+      Tr=111.3n Tf=603.7p Itf=.65 Vtf=5 Xtf=1.7 Rb=10)
*      National      pid=63          case=T018
*      88-09-09 bam      creation
*§

```

В тексте приведено описание параметров моделей биполярных транзисторов типов Q2N2222, Q2N2907A. Первая буква в обозначении типа транзистора определяет вид встроенной модели схемного компонента. Для биполярных транзисторов используется модель Гумеля-Пума (Q). Рабочая точка биполярного транзистора задается с помощью следующих переменных схемы: **VBE** — напряжение между внутренними узлами базы и эмиттера; **VBC** — напряжение между внутренними узлами базы и коллектора; **VCS** — напряжение между внутренним узлом коллектора и подложкой, при этом уравнения для токов биполярного транзистора имеют вид:

$$Q1 = \frac{1}{1 - \frac{VBC}{VAF} - \frac{VBE}{VAR}}$$

$$Q2 = IS(T) \cdot \frac{e^{\frac{VBE}{NF \cdot VT}} - 1}{IKF} + IS(T) \cdot \frac{e^{\frac{VBC}{NR \cdot VT}} - 1}{IKR}$$

$$QB = \frac{Q1 \cdot (1 + (1 + 4 \cdot Q2)^{0.5})}{2}$$

Ток источника тока.

$$ICT = IS(T) \cdot \frac{e^{\frac{VBE}{NF \cdot VT}} - 1}{QB} - IS(T) \cdot \frac{e^{\frac{VBC}{NR \cdot VT}} - 1}{QB}$$

Ток перехода база-эмиттер.

$$IBE = ISE(T) \cdot \left( e^{\frac{VBE}{NE \cdot VT}} - 1 \right) + IS(T) \cdot \frac{e^{\frac{VBE}{NF \cdot VT}} - 1}{BF(T)}$$

Ток перехода база-коллектор.

$$IBC = ISC(T) \cdot \left( e^{\frac{VBC}{NC \cdot VT}} - 1 \right) + IS(T) \cdot \frac{e^{\frac{VBC}{NR \cdot VT}} - 1}{QB \cdot BR(T)}$$

Ток базы.

$$IB = IBE + IBC$$

$$IB = IS(T) \cdot \frac{e^{\frac{VBE}{NF \cdot VT}} - 1}{BF(T)} + ISE(T) \cdot \left( e^{\frac{VBE}{NE \cdot VT}} - 1 \right) + IS(T) \cdot \frac{e^{\frac{VBC}{NR \cdot VT}} - 1}{BR(T)} + ISC(T) \cdot \left( e^{\frac{VBC}{NC \cdot VT}} - 1 \right)$$

Ток коллектора

$$I_C = I_S(T) \cdot \frac{e^{\frac{V_{BE}}{N_F \cdot V_T}} - e^{\frac{V_{BC}}{N_R \cdot V_T}}}{Q_B} - I_S(T) \cdot \frac{\left( e^{\frac{V_{BC}}{N_R \cdot V_T}} - 1 \right)}{B_R(T)} - I_{SC}(T) \cdot \left( e^{\frac{V_{BC}}{N_C \cdot V_T}} - 1 \right)$$

Ток эмиттера.

$$I_E = I_S(T) \cdot \frac{e^{\frac{V_{BE}}{N_F \cdot V_T}} - e^{\frac{V_{BC}}{N_R \cdot V_T}}}{Q_B} + I_S(T) \cdot \frac{\left( e^{\frac{V_{BE}}{N_F \cdot V_T}} - 1 \right)}{B_F(T)} + I_{SE}(T) \cdot \left( e^{\frac{V_{BE}}{N_E \cdot V_T}} - 1 \right)$$

Таким образом, основной формой организации информационного обеспечения в наиболее популярных схемотехнических САПР является **библиотечная форма**, представляющая собой набор текстовых файлов в специальных форматах. Для формирования и редактирования библиотек в схемотехнических САПР используются специализированные диалоговые редакторы. Достоинством библиотечной организации данных является простота реализации и возможность визуального контроля информации.

Одной из главных задач при проектировании информационного обеспечения Web-ориентированных схемотехнических САПР является рациональное распределение компонентов информационного фонда между рабочей станцией и сервером. В соответствии с распределенной архитектурой, предложенной во второй главе диссертации, клиентская часть САПР включает модуль Schematics и модуль Probe. На серверной стороне функционируют модули PSpice и Gnplot. Для обеспечения функционирования WEB-ориентированной версии системы DesignCenter, необходимо выполнить следующее размещение частей информационного фонда САПР:

**Первая составляющая информационного фонда** системы DesignCenter (база данных схемных компонентов), содержащая информацию о структуре моделей компонентов - должна размещаться на рабочей станции для обеспечения работы модуля Schematics.

**Вторая составляющая информационного фонда** системы, представляющая совокупность файлов с описанием схемы, создается на рабочей станции в рамках работы модуля Schematics и пересылается на сервер для выполнения моделирования.

**Третья составляющая информационного фонда** представляет результаты моделирования, полученные в рамках работы модуля PSpice, создается на сервере и пересылается на рабочую станцию для отображения в графическом виде.

Таким образом, в диссертации предлагается реализовать **распределенную базу данных сеанса проектирования** составные части, которой рассредоточены между рабочей станцией и WEB-сервером и мигрируют по сети Internet в процессе работы системы.

На основе анализа состава информационного фонда схемотехнических САПР и требований организации коллективной работы предлагается

сформировать распределенную архитектуру информационного обеспечения Web-ориентированной САПР.

Одной из основных задач использования WEB-ориентированной схмотехнической САПР является обеспечение коллективной работы проектировщиков в сети Интернет над общим проектом, выполняемым в САПР.

Решение данной задачи предполагает:

- наличие оперативного доступа из рабочей станции к централизованным библиотекам схемных компонентов;
- возможность сохранения на WEB-сервере текущих проектных данных, полученных в результате моделирования, и последующего их использования в рамках следующего сеанса проектирования;
- обеспечение формирования единого архива проектных решений, доступного для всех пользователей САПР;
- протоколирование сеансов доступа пользователей САПР к базам данных и изменений, вносимых в проектные данные.

Для хранения файлов исходных данных и файлов результатов в диссертации предлагается использовать комбинированный подход хранения данных, который предполагает: непосредственное хранение файлов проектных документов в формате внешних приложений и файлов, полученных в результате проектирования объекта в САПР, на устройстве внешней памяти; хранение реквизитов файлов, характеризующих их принадлежность определенному проекту, иерархическую вложенность, историю изменений и т.д., в таблицах реляционной базы данных.

Кроме того, практика использования Web-ориентированной схмотехнической САПР предполагает наличие предварительного этапа настройки клиентской части системы, который включает следующие операции:

- регистрация пользователя САПР на Web-сервере;
- скачивание инсталляционного пакета клиентской части системы;
- установка клиентской части системы на рабочей станции;
- скачивание библиотек моделей схемных компонентов.

Решение вышеперечисленных задач в диссертации выполнено на основе *специализированной подсистемы регистрации и контроля доступа пользователей САПР*, реализованной на Web-сервере. В настоящее время существует множество технологий, позволяющие создавать Web-приложения для доступа к удаленным базам данных. Однако, современная технология ASP.NET отличается от них высокой степенью интеграции с серверными продуктами, а также с инструментами Microsoft для разработки, доступа к данным и обеспечения безопасности. Именно эта технология принята в диссертации основным инструментом для реализации Web-приложений распределенной схмотехнической САПР

**В четвертой главе** рассматриваются вопросы реализации Web-ориентированной системы схмотехнического проектирования электронных

схем WSpice в среде Microsoft Visual Studio 2010 и SQL-server 2005. При разработке программного обеспечения САПР WSpice использованы языки программирования C#, ASP.NET, JavaScript, XML.

При реализации Web-ориентированной версии системы схемотехнического проектирования необходимо сохранить без изменений основные модули системы Design Center такие как: Schematics, PSpice, Probe распределить их между клиентом и Web-сервером и обеспечить управление процессом проектирования в распределенной САПР.

При разработке Web-приложения системы WSpice, необходимо было использовать технологии, ориентированные на создание распределенных приложений и применение стандартных независимых браузерных платформ.

Это потребовало решения в диссертации следующих вопросов:

- Минимизации объема данных, которые должны быть посланы через сеть;
- Разделения задач проектирования между сервером и клиентом;
- Выбора инструментов программирования, используемых для различных задач;
- Разработки специальных интерфейсов пользователя;
- Использования многочисленных серверов, расположенных в различных сегментах сети;
- Обеспечения безопасности и учета пользователей САПР;
- Мобильности программ, используемых на серверах и клиентах;
- Наличия инсталляционного пакет для начальной установки системы на компьютере пользователя.

Базовое ядро Web-приложения системы представляет совокупность активных серверных страниц, код которых выполняется на Web-сервере. В состав ядра системы входят следующие подсистемы:

- Управляющая интерфейсная подсистема, выполняющая следующие функции: регистрацию пользователя на Web-сервере; вызов обслуживающих и проектирующих модулей системы; передачу проектных файлов между рабочей станцией и Web-сервером.
- Подсистема ведения архива проектных решений, позволяющая пользователю сохранять результаты проектирования на Web-сервере и использовать их при последующих сеансах работы в САПР.
- Подсистема администрирования и управления работой Web-сервера, позволяющая создавать и редактировать «аккаунты» пользователей и отслеживать состояние архива проектных решений.

В заключительной части главы рассмотрен процесс проектирования электронной схемы в среде Web-ориентированной САПР WSpice, который отличается от традиционного наличием дополнительных этапов, связанных с регистрацией пользователя на Web-сайте и пересылкой проектных данных между рабочей станцией и сервером.

**В заключении** сформулированы основные научные и практические результаты, полученные на основе проведенных в диссертационной работе исследований.

**Основные результаты работы**

1. Предложен новый способ трансформации традиционных архитектур САПР на основе метода архитектурного рефакторинга к многозвенной архитектуре с разнесением готовых модулей системы между клиентом и сервером с целью достижения оптимальной производительности в условиях низкоскоростных каналов Интернета и лимитированных ресурсов Web-сервера.
2. На основе проведенного семантического анализа системы Design Lab разработана архитектура Web-ориентированной схмотехнической САПР, отличающаяся от известных использованием активного Web-сервера и комбинации шаблонов Thin Web Client и Thick Web Client для отдельных подсистем САПР, в зависимости от типа проектных процедур и операций, реализованных в подсистемах.
3. Реализована управляющая интерфейсная подсистема на основе Web-приложения, выполняющая следующие функции: регистрацию пользователя на Web-сервере; вызов обслуживающих и проектирующих модулей системы; передачу проектных файлов между рабочей станцией и Web-сервером.
4. Разработана многозвенная структура информационного обеспечения Web-ориентированной схмотехнической САПР, включающая: централизованные базу данных моделей схемных компонентов и базу данных рабочих проектов; подсистему управления базами данных с Web-интерфейсом; подсистему регистрации и контроля доступа пользователей САПР.
5. Разработано программное и информационное обеспечения Web-ориентированной схмотехнической САПР на основе модулей Design Center, отличающиеся от известных наличием инвариантных средств для обеспечения доступа к распределенным базам данных и организации дистанционного взаимодействия коллективов пользователей САПР
6. На основе полученных в работе результатов разработана и внедрена в учебную и инженерную практику Web-ориентированная схмотехническая САПР WSpice, которая используется при проведении дистанционных лабораторных занятий по дисциплинам: «Проблемно-ориентированные диалоговые системы» и «Микросхемотехника» в учебном процессе подготовки бакалавров и магистров по направлению «Информатика и вычислительная техника» (магистерская программа 230100.68-16 «Информационное и программное обеспечения САПР»).

## **Список опубликованных работ по теме диссертации**

### ***Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК России:***

1. А.А.А. Мохсен. Архитектура WEB-ориентированных САПР [Текст] / Г.Д. Дмитриевич, А.А.А. Мохсен, А.И. Ларистов // Информационно-управляющие системы.– 2010. – №5 (48). – С. 20–23.
2. А.А.А. Мохсен. Использование Web-ориентированной САПР для дистанционного обучения [Текст]// Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ» – 2010. – №8 – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», – С. 56-60.
3. А.А.А.Мохсен. Реализация WEB-ориентированных систем автоматизированного проектирования [Текст] / А.А.А. Мохсен, Н. Харуби // Перспективы науки 2010.- №3(03).-с.102-105.

### ***Материалы конференций:***

4. А.А.А. Мохсен. Применение WEB- ориентированной в образовательной процессе [Текст] // Материалы международного форума “Современное образование: содержание, технологии, качество”. Том 1. – СПб., СПбГЭТУ, 21-22.04.2010. – С. 171-173.
5. А.А.А. Мохсен. Моделирование электронных схем на основе МОДУЛЬ Pspice в среде Web [Текст]// XVII Международная конференция «Современное образование: Содержание, Технологии, Качество» Том 1. – СПб., СПбГЭТУ, 20.04.2011. – С. – С. 213-215.
6. А.А.А. Мохсен. Выделение архитектурных слоев схемотехнических САПР [Текст]// XVII Международная конференция «Современное образование: Содержание, Технологии, Качество» Том 1. – СПб., СПбГЭТУ, 20.04.2011. – С. 215-216.