

На правах рукописи

Мутаз Р. Ж. Абу Сара

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ИНТЕГРИРОВАННЫХ БАЗ
ДАНЫХ СХЕМНЫХ КОМПОНЕНТОВ ДЛЯ
СХЕМОТЕХНИЧЕСКИХ САПР**

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 - 2009

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

Научный руководитель –
кандидат технических наук, доцент Лячек Юлий Теодосович

Официальные оппоненты:
доктор технических наук Лузин Сергей Юрьевич
кандидат технических наук Барсуков Юрий Владимирович

Ведущая организация – ОАО “Авангард” (г. Санкт-Петербург)

Защита диссертации состоится “ ____ ” “ _____ ” 2009 г. 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 “ ____ ” _____ 2009 г.

Ученый секретарь совета по защите
докторских и кандидатских диссертаций

Н. М. Сафьянников

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИИ

Актуальность исследования

В настоящее время наметилась тенденция коллективного использования САПР электронных схем в локальных вычислительных сетях и в сети Интернет. В качестве информационного обеспечения подобных систем используется сервер баз данных, содержащий всю необходимую справочную и проектную информацию, доступную с рабочих станций. Поэтому актуальной является задача разработки интегрированных баз данных электронных компонентов, как для аналоговых, так и для цифровых схем.

Современные САПР радиоэлектронной аппаратуры поддерживают, так называемый, библиотечный метод проектирования. Суть его заключается в том, что в процессе разработки объект детализируется до некоторых элементарных фрагментов, называемых структурными примитивами. Каждый примитив имеет свою поведенческую модель и представляет конструктивно законченный радиоэлектронный компонент, например транзистор, интегральную схему любой сложности или функциональную ячейку топологии кристалла кремния. Примитивы и их модели объединяются в библиотеки, которые доступны любому проектировщику.

Разрабатываемая электронная схема представляет собой некоторую комбинацию стандартных примитивов. Генерация конкретного варианта структуры выполняется на заданном наборе библиотечных примитивов методом проб и ошибок. Полученное решение требует проверки на работоспособность и соответствие требованиям технического задания. С этой целью строится структурная модель объекта как комбинация поведенческих моделей библиотечных примитивов, составляющих объект.

Привлекательная сторона библиотечного метода организации состоит в том, что структурные примитивы, используемые при проектировании, могут принадлежать различным иерархическим уровням. Благодаря этому значительно повышается эффективность моделирования.

Поведенческие модели библиотечных примитивов должны весьма точно отображать не только функцию, но также статические и динамические характеристики примитивов. Современные САПР (PCAD, PSPICE, OrCAD, ACTIVE VHDL и другие), а также языки моделирования HSL, DSL, PML, VHDL позволяют строить такие модели.

Информационное обеспечение наиболее распространенных на рынке САПР электронных схем представлено в виде совокупности библиотек. Так, наиболее известная САПР “сквозного” проектирования электронных схем OrCAD включает 5 типов библиотек, содержащих сведения о схемных компонентах.

Библиотечная организация информационного обеспечения САПР, несмотря на кажущуюся простоту, порождает ряд проблем при функционировании САПР:

- несогласованность различных типов библиотек по составу электронных компонентов (нарушение целостности данных);
- отсутствие процедур подбора и поиска компонентов по совокупности критериев;
- незащищенность информации от несанкционированного доступа;
- отсутствие разграничения прав пользователей на модификацию и удаление информации;
- отсутствие средств централизованного копирования и восстановления данных.

Кроме того, библиотеки схемных компонентов содержат минимальный объем информации, необходимый только для функционирования САПР, и не содержат нормативно-справочную информацию, на основании которой проектировщик отбирает схемные компоненты на этапе синтеза начального варианта схемы. Отсутствует в библиотеках так же информация о 3-мерном конструктивном исполнении корпусов компонентов.

Для решения перечисленных проблем предлагается использовать интегрированную базу данных схемных компонентов (ИБДСК), содержащую полный объем информации для всех этапов проектирования и ориентированную на пользователя САПР. При этом пользователь САПР может эффективно решать задачу подбора схемных компонентов и получать нормативно-справочную информацию в процессе автоматизированного формирования документации на проект. В рамках ИБДСК возможно также организовать автоматизированное определение значений параметров моделей компонентов на основе справочных данных. Для обеспечения функционирования САПР в базу данных должна быть встроена возможность формирования соответствующих библиотек для всех компонентов, применяемых в проекте. Таким образом, система управления ИБДСК должна обеспечивать выполнение следующих функций:

- занесение всех видов информации о схемных компонентах;
- проверку полноты информации по каждому компоненту для всех этапов проектирования;
- редактирование и удаление информации о схемных компонентах;
- поиск и отбор компонентов по различным критериям для рабочего проекта;
- формирование текстовых библиотек для рабочего проекта.

Цели и задачи исследования

Цель работы - исследование и разработка интегрированной базы данных схемных компонентов (ИБДСК), содержащей полный объем информации для всех этапов проектирования и позволяющей эффективно решать задачу подбора схемных компонентов и получать нормативно-справочную информацию в процессе автоматизированного формирования документации на проект.

Для достижения поставленной цели исследования **необходимо решить следующие задачи:**

1. Провести сравнительный анализ методов организации информационного обеспечения современных САПР;
2. Выполнить анализ и систематизацию полной информации о схемных компонентах, включающей данные о параметрах моделей, нормативно-справочные данные и данные о конструктивном исполнении компонента;
3. Разработать инфологические и даталогические модели данных (схемы базы данных) для рассматриваемой предметной области;
4. Разработать и реализовать подсистему ведения интегрированной базы данных схемных компонентов на основе клиент-серверной технологии.

Основные методы исследования

Для решения поставленных задач в диссертационной работе используются методы математического моделирования схемных компонентов, положения теории баз данных и теории построения САПР, методы объектно-ориентированного проектирования и программирования.

Достоверность научных результатов

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

Новые научные результаты

Научная новизна полученных в диссертационной работе результатов заключается в следующем:

1. Разработана концепция организации информационного обеспечения САПР, основанная на замене традиционных используемых библиотечных файлов интегрированной базой данных схемных компонентов (ИБДСК), реализованной в рамках технологии клиент-сервер. Использование технологии баз данных позволяет получить оперативный доступ инженера-схемотехника к полной информации о параметрах любого схемного компонента, выполнить подбор схемных компонентов по совокупности параметров и организовать процедуры по защите и копированию данных в схемотехнических САПР;
2. Предложена расширенная модель «Сущность-Связь», отражающая объекты и связи между ними для организации информационного обеспечения схемотехнических САПР;
3. Разработана методика перехода от расширенной модели «Сущность-связь» к реляционной модели данных. В качестве основного способа

реализации реляционной модели предложен метод преобразования каждого подтипа сущности в отдельное отношение, отличающийся наибольшей компактностью и простотой реализации;

4. Разработана архитектура программного обеспечения ИБДСК, ориентированная на применение в САПР OrCAD PSpice A/D, DesignLab и Micro-Cap и отличающаяся от известных наличием инвариантных средств добавления новых видов схемных компонентов.

Научные положения, выносимые на защиту

1. Концепция интегрированной базы данных схемных компонентов, содержащая полный объем информации для всех этапов проектирования и ориентированная на пользователя САПР, что позволяет эффективно решать задачу подбора схемных компонентов и оперативно получать нормативно-справочную информацию в процессе автоматизированного формирования документации на проект.
2. Расширенная модель «Сущность-Связь», отражающая объекты и связи между ними для организации информационного обеспечения схемотехнических САПР. В состав модели входят сущности «Схемный компонент», «Модель компонента», «Электрический многополюсник», «Типовой корпус».
3. Реляционная модель (схема данных) интегрированной БД схемных компонентов, учитывающая наличие высокой вложенности подтипов сущностей; большое разнообразие связей между сущностями; возможность добавления новых видов схемных компонентов в процессе эксплуатации базы данных.
4. Распределенная архитектура программного обеспечения интегрированной БД схемных компонентов, обеспечивающая эффективное распределение функций обработки данных между сервером БД и клиентским приложением.

Практическая ценность

Значение результатов диссертационной работы для практического применения заключается в следующем:

1. Разработанная концепция организации информационного обеспечения схемотехнических САПР, основанная на замене традиционного используемых библиотечных файлов интегрированной базой данных схемных компонентов, обеспечивает более эффективное проектирование аналоговых электронных устройств;
2. Предложенная в диссертации усложненная ER-модель предметной области позволяет учесть все аспекты применения схемных компонентов при проектировании электронных устройств;
3. Реализованное приложение базы данных в рамках технологии клиент-сервер включает инвариантное ядро, обеспечивающее удобное для добавления новых видов схемных компонентов.

4. Обеспечена возможность использования разработанной ИБДСК совместно со схемотехническими САПР OrCAD PSpice A/D, DesignLab и Micro-Cap, что позволяет снабдить инженера-схемотехника полной информацией о схемных компонентах и значительно повысить эффективность применения этих САПР;
5. Разработанная концепция организации информационного обеспечения схемотехнических САПР, предложенная усложненная ER-модель предметной области и реализованное приложение базы данных в рамках технологии клиент-сервер могут быть распространены и на системы синтеза цифровых схем, системы конструкторского проектирования и САПР сложных технических объектов различного назначения, не зависимо от их физической природы.

Практическая реализация и внедрение результатов работы

Разработанные в ходе исследования реляционные модели данных предметной области реализованы в среде универсальной промышленной СУБД Oracle 9i. Практическим результатом работы является ИБДСК, ориентированная на применение в САПР OrCAD PSpice A/D, DesignLab и Micro-Cap. Применение технологий баз данных в системах автоматизированного схемотехнического проектирования позволяет сосредоточить в электронном виде всю необходимую информацию о схемных компонентах и решить задачу подбора компонентов для проектируемой схемы.

Разработанные при выполнении работы модели данных и приложение баз данных были использованы в учебном процессе кафедры САПР СПбГЭТУ (ЛЭТИ) им. В.И. Ульянова (Ленина) и при создании информационного обеспечения для современных схемотехнических САПР.

Апробация работы

Основные теоретические результаты диссертационной работы докладывались на конференциях:

1. 5-ая международная конференция “Приборостроение в экологии и безопасности человека”. – СПб., ГУАП, 31.01 – 02.02 2007;
2. Международная конференция “ Современное образование: содержание, технологии, качество ”. – СПб., СПбГЭТУ, 23.04.2008;
3. Конференции профессорско-преподавательского состава СПбГЭТУ, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет 2008, 2009 г.

Публикации

Основные теоретические и практические результаты диссертации опубликованы в 4 статьях и докладах, среди которых 2 публикации в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендованных в действующем перечне ВАК. Доклады доложены и получили одобрение на 2 международных, все-

российских 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 68 наименований. Работа изложена на 128 страницах, содержит 30 рисунков и 18 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы основные положения, выносимые на защиту, научная новизна, практическая ценность результатов. Кратко описано содержание глав диссертации.

В первой главе проводится сравнительный анализ методов организации информационного обеспечения современных САПР и рассматриваются вопросы использования технологий баз данных для хранения информационного фонда САПР.

В настоящее время известно большое число пакетов программ, предназначенных для выполнения схемотехнического проектирования радиоэлектронных средств (РЭС).

Системы схемотехнического моделирования аналоговых и цифровых устройств и проектирования печатных плат **DesignCenter** и **DesignLab** разработаны корпорацией MicroSim.

В основу этих систем положен известный пакет программ **PSPICE**, первые версии которого были разработаны в начале 70-х годов прошлого века в Калифорнийском университете. Возможности этих систем существенно зависят от варианта поставки и операционной системы. Системы позволяют выполнять моделирование аналоговых, смешанных аналого-цифровых и просто цифровых радиоэлектронных устройств, синтез цифровых устройств на базе интегральных схем с программируемой логикой, а также моделирование с учетом паразитных емкостей и индуктивностей, присущих реальным печатным платам.

Системы **DesignCenter** и **DesignLab** оснащены графическим редактором принципиальных схем РЭУ, который одновременно является управляющей оболочкой для запуска программных модулей на всех стадиях работы с системами. Системы позволяют выполнять расчет режимов радиоэлектронных устройств по постоянному и переменному току, спектральный анализ, моделирование переходных процессов в РЭУ, расчет уровней шума, статистический анализ с учетом вариации температуры при работе устройств.

К системам **DesignCenter** и **DesignLab** прилагаются многочисленные библиотеки графических символов элементов РЭУ и банки данных с более

чем восемью тысячами математических моделей компонентов (диодов, тиристоров, биполярных и полевых транзисторов, оптопар, операционных усилителей, компараторов напряжения, кварцевых резонаторов, магнитных сердечников, цифровых и аналого-цифровых микросхем) производства различных фирм США, Западной Европы и Японии. Имеется возможность пополнения библиотек.

Система **Electronics Workbench** в отличие от других программ схемотехнического моделирования изображает на экране измерительные приборы с органами управления, максимально приближенными к реальности. Пользователь освобождается от изучения довольно абстрактных правил составления заданий на моделирование.

Достаточно на схему поместить двухканальный осциллограф и генератор сигналов — и программа автоматически определит, что нужно анализировать переходные процессы. Если же на схеме разместить анализатор спектра, то будет рассчитан режим по постоянному току, выполнена линеаризация нелинейных компонентов и затем произведен расчет характеристик схемы в частотной области.

Система **Micro-Cap** фирмы Spectrum Software нашла наибольшее распространение в студенческой среде как наиболее простая и доступная в изучении, однако перечень ее возможностей достаточно широк. Программа имеет удобный многостраничный редактор принципиальных схем, поддерживающий различные структуры. Кроме того, в системе Micro-Cap имеется специальная программа MODEL для расчета параметров математических моделей аналоговых компонентов по справочным или экспериментальным данным.

В зависимости от функционального назначения информации, используемой в процессе проектирования, можно выделить следующие виды составляющих информационного фонда САПР:

- A.** - Информацию о структуре объекта проектирования и значениях параметров модели объекта;
- B.** - Информацию о структуре моделей компонентов, входящих в состав объекта, и значениях параметров их моделей;
- C.** - Исходные и результирующие (расчетные) данные, необходимые при выполнении программных модулей при реализации проектных операций и процедур. Эти данные часто меняются в процессе проектирования, однако их тип постоянен и полностью определяется соответствующим программным модулем;
- D.** - Текущую проектную документацию, которая отражает состояние и ход выполнения проекта. Как правило, эти данные слабо структурированы, часто изменяются в процессе проектирования и представляются в форме текстовых документов и чертежей;
- E.** - Нормативно-справочную проектную документацию (НСПД) включающую в себя справочные данные о материалах, элементах

схем, унифицированных узлах и конструкциях. Эти данные, как правило, хорошо структурированы и упорядочены;

Ф. - Государственные и отраслевые стандарты, руководящие материалы и указания, регламентирующие документы (слабоструктурированные документальные данные);

Г. - Типовые проектные решения и готовые проекты, выполненные в САПР.

Проблему организации и ведения информационного фонда можно рассматривать в содержательном и организационном аспектах.

Содержательный аспект информации, используемой при проектировании, полностью определяется принятой методикой проектирования, структурой программного обеспечения, разработанными алгоритмами решения проектных задач.

С организационной точки зрения важно сформулировать принципы и определить средства ведения информационного фонда, структурирования данных, выбрать способы управления массивами данных.

Различают следующие способы ведения информационного фонда САПР:

1. Использование файловой системы ОС;
2. Использование файлов внешних приложений;
3. Построение библиотек;
4. Создание информационных программ конверторов;
5. Использование специализированных и универсальных СУБД.

Следует отметить, что в настоящее время в САПР наиболее часто применяются специализированные СУБД, создаваемые одновременно с разработкой программного обеспечения САПР. Такие СУБД ориентированы, как правило, на обеспечение информацией проектирующих систем и не содержат нормативно-справочных и архивных проектных документов.

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

В тоже время, подобной организации присущи и существенные недостатки:

- отсутствие процедур подбора и поиска компонентов по совокупности критериев;
- незащищенность информации от несанкционированного доступа;
- отсутствие разграничения прав пользователей на модификацию и удаление информации;
- отсутствие средств централизованного копирования и восстановления данных.

Кроме того, на содержательном уровне в библиотеках отсутствует информация об эксплуатационных и предельных параметрах схемных компонентов (нормативно-справочная информация), нет информации о пространственной геометрии корпусов компонентов, отсутствует математическое описание моделей компонентов и информация об эквивалентных схемах моделей. Неполная информация затрудняет процесс подбора схемных компонентов для проекта и заставляет инженера-схемотехника пользоваться дополнительными информационными источниками.

Для решения перечисленных проблем в диссертации предлагается разработать интегрированную базу данных схемных компонентов (**ИБДСК**), содержащую полный объем информации для всех этапов проектирования и ориентированную на пользователя САПР. При этом пользователь САПР может эффективно решать задачу подбора схемных компонентов и использовать нормативно-справочную информацию в процессе автоматизированного формирования документации на проект. Для обеспечения функционирования САПР в базу данных должна быть встроена возможность формирования соответствующих библиотек для всех компонентов, используемых в проекте.

Система управления ИБДСК должна обеспечивать выполнение следующих функций:

- занесение всех видов информации о схемных компонентах;
- проверку полноты информации по каждому компоненту для всех этапов проектирования;
- редактирование и удаление информации о схемных компонентах;
- поиск и отбор компонентов по различным критериям для рабочего проекта;
- формирование текстовых библиотек (в формате проектирующих подсистем) для рабочего проекта.

На первом этапе разработки ИБДСК предполагается объединить информацию, содержащуюся в двух базах данных – моделей компонентов и нормативно-справочной проектной документации. В качестве проектирующей подсистемы выбрана OrCAD PSpice A/D — программа моделирования аналоговых и смешанных аналого-цифровых устройств, данные в которую передаются как из PSpice Schematics, так и из OrCAD Capture. В качестве среды для реализации ИБДСК целесообразно использовать универсальную СУБД на основе клиент-серверной технологии, выбор которой обоснован в четвертой главе диссертации.

Применение универсальных СУБД в САПР позволяет наиболее полно реализовать все функции по ведению информационного фонда САПР.

Во второй главе рассматриваются модели данных для интегрированной базы данных схемных компонентов. *Модель данных* — это некоторая абстракция, которая, будучи приложена к конкретным данным, позволяет пользователям и разработчикам трактовать их уже как информацию, то есть сведения, содержащие не только данные, но и взаимосвязь между ними.

Наибольший интерес вызывают модели данных, используемые на концептуальном уровне (*схемы данных*). По отношению к ним внешние модели называются *подсхемами* и используют те же абстрактные категории, что и концептуальные модели данных.

Физическим объектом, о котором должна сохраняться информация в разрабатываемой базе данных, является **радиоэлектронный компонент**. Радиоэлектронные компоненты служат основой для построения электронных схем и различаются по своему функциональному назначению и конструктивному исполнению. В зависимости от функционального назначения можно выделить группы однородных компонентов определенного вида (резисторы, конденсаторы, биполярные транзисторы, полевые транзисторы, операционные усилители и т.д.). В свою очередь внутри вида компоненты можно сгруппировать по **типам**. Компоненты определенного типа характеризуются одинаковой технологией изготовления, близкими значениями электрических параметров и геометрических размеров (например, резисторы типа МЛТ-0,5, транзисторы типа КТ3102Б и т.д.). В базе данных, как правило, хранится информация о среднестатистическом экземпляре компонента каждого типа.

В зависимости от этапа проектирования электронной схемы используются различные формы представления и описания радиоэлектронных компонентов. В таблице приведены формы представления компонента и наборы атрибутов, которыми характеризуется компонент на различных этапах проектирования.

Таблица

Представление компонентов и наборов атрибутов на различных этапах проектирования

№ п/п	Этап проектирования схемы	Представление компонента	Атрибуты компонента
I	Синтез структуры схемы.	Электрический многополюсник.	Условные графические образы компонентов. Электрические параметры. Предельные эксплуатационные параметры. Вольтамперные характеристики.
II	Анализ принципиальной схемы.	Математическая модель или макромодель.	Уравнения модели. Эквивалентная схема модели. Параметры модели.
III	Разработка конструкции схемы.	Объемное тело, типовой корпус.	Топологические образы компонентов. 3-мерные модели компонентов. Размеры платы и чертежа.

Следует отметить, что в рассмотренной классификации компонентов возможно выделение **подвидов** радиоэлектронных компонентов по некоторому общему характерному признаку или свойству (например, высокочастотные биполярные транзисторы, маломощные биполярные транзисторы и т.д.).

В сложных технических системах объекты предметной области могут иметь **несколько уровней представления**. При использовании блочно-иерархического подхода к проектированию представления о проектируемой системе расчленяют на иерархические уровни. На верхнем уровне используют наименее детализированное представление, отражающее только самые общие черты и особенности проектируемой системы. На следующих уровнях степень подробности описания возрастает, при этом рассматривают уже отдельные блоки системы, но с учетом воздействий на каждый из них его соседей. Такой подход позволяет на каждом иерархическом уровне формулировать задачи приемлемой сложности, поддающиеся решению с помощью имеющихся средств проектирования. На каждом из уровней представления схемный компонент может иметь различное семантическое описание, что приведет к расщеплению сущностей ER-модели на несколько иерархических уровней.

Другим аспектом, способствующим появлению иерархии в ER-моделях технических систем является наличие **семантически однородных объектов**, т.е. объектов выполняющих одинаковые функции, но в тоже время имеющих существенно различные внутренние структуры, а следовательно, и различные наборы атрибутов. Примером таких объектов может быть усилитель сигналов, построенный на дискретных схемных компонентах и его аналог, выполненный на интегральных схемах.

Сущность может быть расщеплена на два или более взаимно исключающих **подтипов**, каждый из которых включает **общие атрибуты** и/или **связи**. Эти общие **атрибуты** и/или **связи** явно определяются один раз на более высоком уровне. В **подтипах** могут определяться собственные **атрибуты** и/или **связи**. В принципе, подтипизация может продолжаться на более низких уровнях, но опыт использования **ER-модели** при проектировании баз данных показывает, что в большинстве случаев оказывается достаточно двух-трех уровней.

Если у типа сущности **A** имеются подтипы B_1, B_2, \dots, B_n , то:

- а) любой экземпляр типа сущности B_1, B_2, \dots, B_n является экземпляром типа сущности **A** (включение);
- б) если **a** является экземпляром типа сущности **A**, то **a** является экземпляром некоторого подтипа сущности B_i ($i = 1, 2, \dots, n$) (отсутствие собственных экземпляров у супертипа сущности);
- с) ни для каких подтипов B_i и B_j ($i, j = 1, 2, \dots, n$) не существует экземпляра, типом которого одновременно являются типы сущности B_i и B_j (разъединенность подтипов).

Тип сущности, на основе которого определяются *подтипы*, называется **супертипом**. Как мы видели выше, *подтипы* должны образовывать полное множество, т. е. любой экземпляр *супертипа* должен относиться к некоторому *подтипу*. Иногда для обеспечения такой полноты приходится определять дополнительный *подтип* **ПРОЧИЕ**.

Супертип **СХЕМНЫЙ КОМПОНЕНТ** включает подтипы **БИПОЛЯРНЫЙ ТРАНЗИСТОР**, **ПОЛЕВОЙ ТРАНЗИСТОР**, **ОПЕРАЦИОННЫЙ УСИЛИТЕЛЬ**. У *подтипа* **БИПОЛЯРНЫЙ ТРАНЗИСТОР** имеются собственные *подтипы* – **НИЗКО-ЧАСТОТНЫЙ (НЧ) БИПОЛЯРНЫЙ ТРАНЗИСТОР**, **ВЫСОКО-ЧАСТОТНЫЙ (ВЧ) БИПОЛЯРНЫЙ ТРАНЗИСТОР** и **СВЕРХВЫСОКО-ЧАСТОТНЫЙ (СВЧ) БИПОЛЯРНЫЙ ТРАНЗИСТОР**. Для *супертипа сущности* **СХЕМНЫЙ КОМПОНЕНТ** могут быть определены *атрибуты* «*обозначение_компонента*» и «*количество_выводов*», кроме того имеется обязательная *связь* «один ко многим» с *типом сущности* **МОДЕЛЬ СХЕМНОГО КОМПОНЕНТА**. Эти *атрибуты* и *связь* наследуются всеми *подтипами* этого *супертипа сущности*. У непосредственного *подтипа сущности* **БИПОЛЯРНЫЙ ТРАНЗИСТОР** определяется один дополнительный *атрибут* «*структура_переходов*» (*n-p-n*) или (*p-n-p*), так что в совокупности у данного *типа сущности* имеются три *атрибута*, два из которых наследуются, и одна унаследованная *связь* с *типом сущности* **МОДЕЛЬ СХЕМНОГО КОМПОНЕНТА**.

В случае наличия в ER-диаграмме супертипов и подтипов предположим, что реляционная схема базы данных проектируется в расчете на использование обычной SQL-ориентированной СУБД, не поддерживающей объектно-реляционные расширения. Если в *концептуальной схеме* (ER-диаграмме) присутствуют *подтипы*, то возможны два способа их *представления* в реляционной схеме:

- а) собрать все *подтипы* в одной таблице;
- б) для каждого *подтипа* образовать отдельную таблицу.

При применении способа **а)** таблица создается для максимального *супертипа* (*типа сущности*, не являющегося *подтипом*), а для *подтипов* могут создаваться *представления*. Таблица содержит полный набор столбцов, соответствующий всем *атрибутам* (и *связям*) каждого *подтипа*. В таблицу добавляется, по крайней мере, один столбец, содержащий **КОД ТИПА**; он становится частью первичного ключа. Для каждой строки таблицы значение этого столбца определяет *тип сущности*, экземпляру которого соответствует строка. Столбцы этой строки, которые соответствуют *атрибутам* и *связям*, отсутствующим в данном *подтипе сущности*, должны содержать неопределенные значения.

При использовании метода **б)** для каждого *подтипа* первого уровня (для более глубоких уровней применяется метод **а**)) *супертип* воссоздается с помощью представления **UNION** (из всех таблиц *подтипов* выбираются общие столбцы – столбцы *супертипа*).

На выбор способа перехода от ER-диаграммы к реляционной модели данных (схеме данных) для разрабатываемой интегрированной БД схемных компонентов влияют следующие факторы:

- высокая вложенность подтипов сущностей;
- большое разнообразие связей между сущностями (в модели присутствуют все три типа связей «1-1», «1-n», «n-n»);
- возможность добавления новых видов схемных компонентов в процессе эксплуатации базы данных.

Учет этих факторов приводит к необходимости использования способа **б)** при построении реляционной модели данных. В соответствии с данным способом каждому подтипу сущности соответствует своя таблица, что значительно упрощает логику работы приложения и дает возможность расширения базы данных.

В качестве основного способа реализации реляционной модели выбран метод преобразования каждого подтипа сущности в отдельную таблицу, отличающийся наибольшей компактностью и простотой реализации. На основе данного метода построена реляционная модель данных ИБДСК, ориентированная на универсальную клиент-серверную СУБД.

В третьей главе диссертационной работы рассматривается содержательный аспект информации о радиоэлектронных компонентах. Схемный компонент как сущность имеет несколько связанных сущностей, которые характеризуют его на различных этапах проектирования электронной схемы. С учетом иерархии каждый подтип связанной сущности характеризуется специфическим набором атрибутов, который в свою очередь зависит от подтипа сущности компонента.

Согласно ER-диаграммы, представленной во второй главе диссертации, супертип сущности «**Схемный компонент**» связан с супертипом сущности «**Модель схемного компонента**». С учетом иерархии такая связь распадается на связи между соответствующими подтипами сущностей (биполярный транзистор – модель биполярного транзистора, полевой транзистор – модель полевого транзистора, операционный усилитель – модель операционного усилителя и т.д.). Степень связи между подтипами сущностей может быть **1:1**, в случае существования единственной модели схемного компонента, и **1:N** при наличии нескольких моделей. Каждый из подтипов сущности «**Модель схемного компонента**» характеризуется эквивалентной схемой модели, уравнениями модели и таблицей параметров (атрибутов) модели. При этом в базе данных целесообразно хранить изображение эквивалентной схемы и таблицу параметров модели.

В диссертации определены наборы атрибутов модели для биполярного и полевого транзисторов. Для операционного усилителя существуют модели 3-х уровней. Каждый следующий уровень представляет собой более точную модель благодаря использованию более сложной эквивалентной схемы.

Модель уровня 1 (LEVEL 1) представляет собой управляемый напряжением источник тока с ограниченным выходным сопротивлением и без обратной связи.

Модель 2-го уровня (LEVEL 2) состоит из трех частей, имеет 2 полюса и ограничение скорости нарастания, конечный коэффициент усиления и выходное сопротивление.

Модель 3-го уровня (LEVEL 3) — это усовершенствованная модель Бойля, подобная модели используемой в других SPICE программах в виде подсхемы. Она, однако, не является макроопределением или подсхемой, а является полноценной встроенной моделью операционного усилителя. Она моделирует ограничение скорости нарастания и спада, ограничение коэффициента передачи, выходное сопротивление на постоянном и переменном токе, напряжения и токи смещения нуля, фазовые сдвиги, общепринятый режим отказа, полосу пропускания, 3 вида дифференциальных входов, ограничение выходного напряжения и ограничение тока.

При реализации такой иерархии сущностей на уровне реляционной модели использован способ **а)**, рассмотренный во второй главе диссертации, который предписывает собрать все подтипы сущности «Модель операционного усилителя» в одной таблице. Таблица создается для максимального *супертипа*, а для *подтипов* «Модель LEVEL1», «Модель LEVEL2» «Модель LEVEL3» создаются *представления*. Таблица содержит полный набор столбцов, соответствующий всем *атрибутам* (и *связям*) каждого *подтипа*. В таблицу добавляется, по крайней мере, один столбец, содержащий **КОД УРОВНЯ МОДЕЛИ**; он становится частью первичного ключа. Для каждой строки таблицы значение этого столбца определяет *подтип сущности*, экземпляру которого соответствует строка. Столбцы этой строки, которые соответствуют *атрибутам* и *связям*, отсутствующим в данном *подтипе сущности*, должны содержать неопределенные значения.

В главе также определены наборы атрибутов для супертипа сущности «Электрический многополюсник» и сущности «Типовой корпус».

В четвертой главе рассматриваются возможные варианты архитектуры ИБДСК, основывающиеся на клиент-серверных технологиях. Дается обзор современных универсальных СУБД и делается выбор в пользу промышленной БД Oracle 9i.

Проектируется схема данных информационного обеспечения схемотехнических САПР, построенная на основе моделей, предложенных в главе 2. Приводится структура приложения базы данных, ориентированная на применение совместно с САПР OrCAD PSpice A/D. Даются примеры применения ИБДСК при проектировании радиоэлектронных схем.

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

Основные результаты работы

1. Предложена классификация составляющих информационного фонда САПР и определена область применения технологий баз данных в информационном обеспечении схемотехнических САПР.
2. Разработана концепция интегрированной базы данных схемных компонентов, содержащей полный объем информации для всех этапов проектирования, ориентированной на пользователя САПР, позволяющей эффективно решать задачу подбора схемных компонентов и позволяющей получать нормативно-справочную информацию в процессе автоматизированного формирования документации на проект.
3. Разработана расширенная модель «Сущность-Связь» для совокупности схемных компонентов, используемых при автоматизированном проектировании электронных схем. Модель учитывает иерархию сущностей, отражающую объекты и связи между ними для организации информационного обеспечения схемотехнических САПР.
4. На основе предложенной расширенной модели предметной области разработана реляционная модель (схема данных) интегрированной БД схемных компонентов, учитывающая наличие высокой вложенности подтипов сущностей; большое разнообразие связей между сущностями; возможность добавления новых видов схемных компонентов в процессе эксплуатации базы данных.
5. Разработана оригинальная архитектура системы управления ИБДСК, базирующаяся на технологии «клиент-сервер» и обеспечивающая интерфейс с системами схемотехнического проектирования;
6. Разработано программное обеспечение сервера баз данных, обеспечивающее выполнение операций по ведению ИБДСК и конструирование комплексных запросов выборки информации по совокупности параметров и характеристик схемных компонентов.
7. На основе полученных в работе результатов разработана и внедрена в учебную и инженерную практику интегрированная база данных схемных компонентов, ориентированная на совместное использование САПР OrCAD PSpice A/D.

Список опубликованных работ по теме диссертации

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК России:

1. Абу Сара, М.Р. Организация информационного обеспечения схемотехнических САПР [Текст] / М.Р. Абу Сара // Информационно-управляющие системы.– 2009. – №2 (39). – С. 42–45;
2. Абу Сара, М.Р. Интегрированные базы данных в программных системах проектирования электронных схем [Текст] / М.Р. Абу Сара, А.И. Ларистов, Ю. Т. Лячек // Информационно-управляющие системы.– 2009. – №3 (40). – С. 69–71.

Другие статьи и материалы конференций:

3. Абу Сара, М.Р. Интегрированные базы данных в программных системах проектирования приборов экологического назначения [Текст] / М.Р. Абу Сара, А.И. Ларистов, Ю. Т. Лячек // Труды 5-ой международной конференции “Приборостроение в экологии и безопасности человека”.– СПб., ГУАП, 31.01 – 02.02 2007. – С. 135–137;

4. Абу Сара, М.Р. Использование технологий баз данных в схемотехнических САПР [Текст] / М.Р. Абу Сара // Материалы XIV международной конференции “Современное образование: содержание, технологии, качество”. Том 1. – СПб., СПбГЭТУ, 23.04.2008. – С. 227–229.