

На правах рукописи

КЛИНАЧЁВА Наталья Васильевна

**ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИМИТАЦИОННОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

05.13.18 – математическое моделирование,
численные методы и комплексы программ

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Челябинск – 2009

Работа выполнена на кафедре «Электротехника» ГОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет».

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор
КРЫМСКИЙ Валерий Вадимович.

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук, профессор
ПАНЮКОВ Анатолий Васильевич,

кандидат технических наук, доцент
ТРУХИН Михаил Павлович.

Ведущая организация – ФГУП «Научно-производственное объединение
автоматики имени академика Н. А. Семихатова».

Защита состоится 28 октября 2009 г., в 12 часов, на заседании диссертационного совета Д 212.298.14 при ГОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В. И. Ленина, 76.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет».

Автореферат разослан 21 сентября 2009 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор физ.-мат. наук, профессор

Соколинский Л.Б.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Математические программы, предназначенные для моделирования электротехнических систем, являются инструментами интеграции знаний о существующих технических решениях и позволяют сократить время проектирования изделий.

Обеспечивая выполнение расчетов режимов работы цепей любой сложности, моделирующие программы конкурируют с классическими методами теории расчета электрических цепей, и должны вытеснять их из инженерной практики. Но классические методы доминируют. В том числе, в учебном процессе. Компьютеры зачастую используются лишь как инструмент качественного ввода / вывода данных. Их вычислительные ресурсы задействованы не в полной мере (поскольку классические методы разрабатывались для вычислений с применением карандаша и бумаги, а не микропроцессоров).

Большая часть представленных на рынке программ для моделирования электрических цепей используют библиотеку SPICE, которая была разработана в Калифорнийском университете (Д. Пеперсон, Л. Нагел). К ним относятся программы Electronics Workbench, Micro-Cap, VN Spice, XSpice, Triana. Список можно продолжить, но ограничения, которые накладывает на графический интерфейс библиотека SPICE, ни в одной из программ не были преодолены. В Европе разрабатывались альтернативные программные комплексы: Dymola (Ideon Research Park, Швеция), 20sim (Controllab Products B.V., Нидерланды), Dynast (Пражский университет). В России и СНГ на сегодняшний день активно разрабатываются программные комплексы: ПК «МВТУ» (МГТУ им. Баумана), Model Vision Studium (СПбГУ), FASTMEAN (СГУТ совместно с УГТУ), КОПРАС (Технический университет Молдовы), ИСМА (НГТУ), Stratum (РЦИ-ОЦНИТ).

Во всех перечисленных программных продуктах редакторы моделей поддерживают визуальное проектирование. В зависимости от используемого подхода, их можно отнести либо к программам блочного моделирования (используют блок-схемы в виде передаточных функций), либо физического моделирования (используют неориентированные элементы и контакты). На практике, при проектировании сложных систем, для решения одной задачи специалисты используют несколько моделирующих программ. В программе блочного моделирования составляется математическая модель системы в целом и выполняется структурный анализ, в программе физического моделирования осуществляется проектирование отдельных модулей с уточнением параметров элементов и особенностей режимов работы. Общим недостатком программ физического моделирования является использование закрытых моделей технических устройств – нет возможности изучить или модифицировать соответствующие системы дифференциальных уравнений. Недостаток программ блочного моделирования заключается в относительной сложности процесса разработки моделей.

Перспективный путь развития компьютерного моделирования состоит в объединении двух подходов к построению моделей.

Целью диссертации является разработка программного комплекса для имитационного моделирования электротехнических систем с применением открытой технологии построения моделей, которая позволила бы работать с моделями технических устройств на двух уровнях: верхнем (физическом) и нижнем (математическом).

Для достижения поставленной цели в работе решались следующие задачи:

- разработка нового графического языка представления открытых иерархических моделей;
- поиск метода расчета цепей, пригодного для использования в графической форме;
- разработка моделей базовых элементов;
- проектирование модульной структуры моделирующей программы;
- разработка графического инструмента для представления моделей и программирования математических ядер (библиотека расширения редактора векторной графики MS Visio);
- разработка математического ядра;
- разработка оптимального интерфейса для конфигурирования математических ядер с поточной моделью управления;
- разработка серверов визуализации и интерактивных воздействий;
- разработка информационной структуры для хранения математических моделей.

Методы решения задач. Для решения перечисленных задач применялись: теория цепей, численные методы, методы теории подобия, методы теории управления, программирование на языках C++, VBA, JavaScript.

Научная новизна.

1. Разработан графический язык представления моделей, интегрирующий блок-схемы и физические схемы, который обеспечивает полную деинкапсуляцию моделей и позволяет работать с ними на различных иерархических уровнях.

2. Метод построения моделей технических устройств на основе итерации потенциалов в узлах цепи сформулирован в новой форме (в виде графических чертежей).

3. Разработан интерфейс конфигурации математических ядер с поточной моделью управления.

Практическая ценность.

1. Разработанный программный комплекс используется в учебном процессе и для решения инженерных задач. Его применение позволяет упростить и ускорить проведение исследований.

2. Предложенный язык графического представления моделей в виде гибрида блок-схем и физических схем нагляднее альтернатив (VisSim, Simulink), и дает возможность пользователю модифицировать встроенные модели устройств (в отличие от Electronics WorkBench, PSpice).

3. Подтверждена эффективность схемы разделения труда разработчиков моделирующих программ, когда математическое ядро может создавать одна фирма, а графический инструмент его конфигурации – другая.

4. Предложен эффективный способ распространения и инсталляции математического ядра.

Апробация работы. Основные положения и результаты исследований докладывались и обсуждались на конференциях и семинарах:

– Всероссийский конкурс разработчиков программного обеспечения «Intel Cup – 2005», Нижний Новгород, 2005 г.

– Международный семинар «Физико-математическое моделирование систем», Воронеж, 2005, 2006, 2007 гг.

– Региональная конференция по научному программному обеспечению «Практика применения научного программного обеспечения в образовании и научных исследованиях», Санкт-Петербург, 2006 г.

– Научно-практический семинар «Параллельные вычислительные технологии», Челябинск, 2006 г.

– Региональная научно-практическая студенческая конференция «Электротехника, электромеханика и электротехнологии», Томск, 2006 г.

– Конференция-конкурс «Технологии Microsoft в теории и практике программирования», Новосибирск, 2006, 2007 гг.

Публикации. По результатам выполненных исследований и разработок опубликовано 11 печатных работ, получено 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Статьи [1–3] опубликованы в научных журналах, входящих в перечень ВАК. В статье [2] Клиначевой Н.В. принадлежит описание метода построения моделей на основе итерации потенциалов. В статье [3] Клиначёвой Н.В. принадлежит описание графического языка, модель машины постоянного тока. В препринте [7] Клиначёвой Н.В. принадлежат разделы 1, 3, 4 (с. 3–5, 10–17, 19–22). В работе [9] Клиначёвой Н.В. описан вариант модульного состава моделирующей программы. В работах [8,10] Клиначёвой Н.В. принадлежит описание метода построения моделей на основе итерации токов. В работах [1, 6, 11] Клиначеву Н.В. принадлежит постановка задачи, Клиначёвой Н.В. все полученные результаты.

Структура и объем работ. Диссертация состоит из введения, 4-х глав, заключения, списка литературы и 4 приложений. Содержит 150 страниц машинописного текста, 64 иллюстрации. В приложениях приведены примеры моделей электротехнических систем, представлена совокупность библиотечных моделей устройств, перечислены элементы графического языка.

На защиту выносятся:

1. Графический язык представления моделей, интегрирующий физические схемы и блок-схемы.

2. Графическое представление метода построения моделей технических устройств на основе итерации потенциалов в узлах цепи.

3. Программный комплекс для имитационного моделирования электротехнических систем.

4. Интерфейс конфигурации математических ядер с поточной моделью управления.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи, указаны основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе приводится обзор литературы и существующих программных комплексов, используемых для моделирования электротехнических систем. Рассматриваются такие аспекты, как языки графического представления моделей, методы построения моделей электротехнических систем и решающие модули моделирующих программ.

В современных моделирующих программных комплексах для графического представления моделей используются блок-схемы, физические схемы и текстовые формы записи систем уравнений. При моделировании электротехнических систем использование блок-схем и текстовых записей ограничено, поскольку не каждый человек способен составить систему дифференциальных уравнений для незнакомого объекта. Использование физических схем также накладывает свои ограничения – большинство моделирующих программ реализуют закрытые модели технических устройств, которые нельзя изучить или модифицировать.

Преодолеть названные затруднения можно посредством интеграции на одном чертеже блок-схем и физических схем (что требует развития графического языка, а также разработки соответствующего метода построения моделей).

При этом развитие графического языка представления моделей должно быть связано с разрешением двух существующих ограничений:

– в чертежах моделей электрических схем необходимо избавиться от атрибута псевдополярности у R, L, C-элементов (присутствует в программах 20-Sim, Dymola, Simulink);

– интеграция на одном чертеже блок-схем и физических схем не должна приводить к увеличению размерности решаемой системы уравнений (как это происходит в программе Simulink, при реализации внешних датчиков тока и разности потенциалов).

Другим направлением развития компьютерного моделирования является совершенствование решающих модулей. Классифицируя их, можно выделить группу математических библиотек и группу математических ядер. Математические библиотеки приводят систему уравнений к квадратной матрице, подключают к ней блок решателей и запускают вычислительный процесс. В математических ядрах для вычисления каждой функции в системе уравнений порождается экземпляр объекта от математического класса. Создается сеть передачи аргументов (посредством настройки указателей на возвращаемые данные), и запускается счет.

Математические библиотеки подходят для моделирования динамики полей. При расчете цепей в большей мере оправдывает себя архитектура математического ядра – отпадает необходимость оптимизации манипуляций с разряженными матрицами, не возникает особых затруднений при моделировании параметрических и существенно нелинейных систем. Появляется возможность создания безопасного и контролируемого средой исполнения кода, что упрощает его распространение в сети Интернет.

Вторая глава посвящена методам построения моделей электротехнических систем.

Модель любого технического устройства можно представить в виде схемы замещения, состоящей из базовых элементов (активное, индуктивное, емкостное сопротивление). Ключевой вопрос при реализации численного метода расчета цепей – что следует принять за неизвестные: токи элементов или потенциалы узлов.

В первом параграфе описывается графическое представление метода построения моделей на основе итерации токов. Во втором параграфе описывается выносимый на защиту метод, основанный на итерации потенциалов.

Неотъемлемыми атрибутами графического представления метода итерации потенциалов являются шесть чертежей фрагментов блок-схем, которые соответствуют базовым элементам схем замещений (узлу цепи, активному, индуктивному, емкостному сопротивлению, источнику электродвижущей силы, источнику тока (рис. 1, 2)).

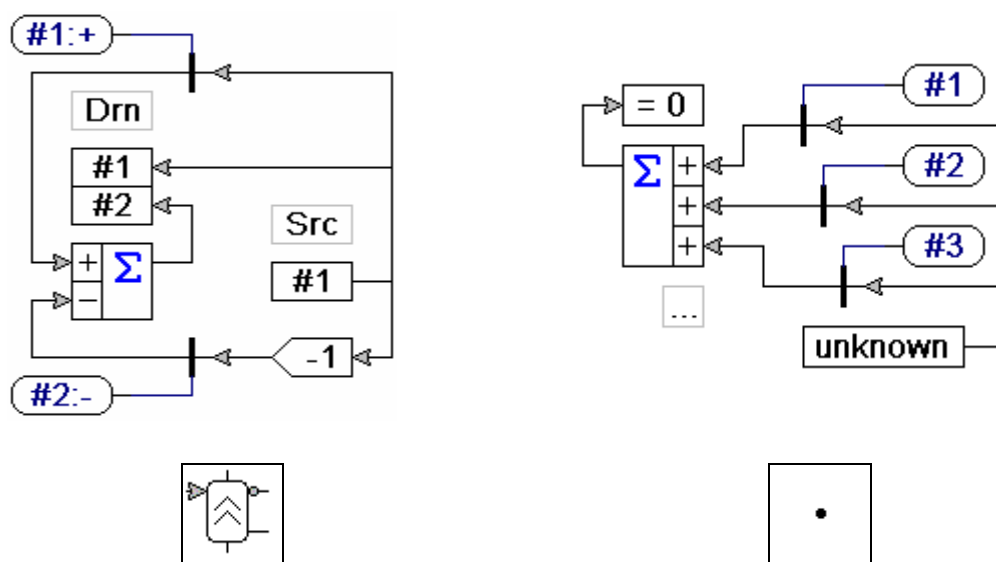


Рис. 1. Модель J-элемента, модель узла

Принципы построения графа физической схемы при использовании метода итерации потенциалов:

1. Выводы технических устройств могут соединяться только с узлами.
2. Узлы и технические устройства соединяются между собой посредством шинных проводников, в которых имеются две линии связи, передающие сигналы.

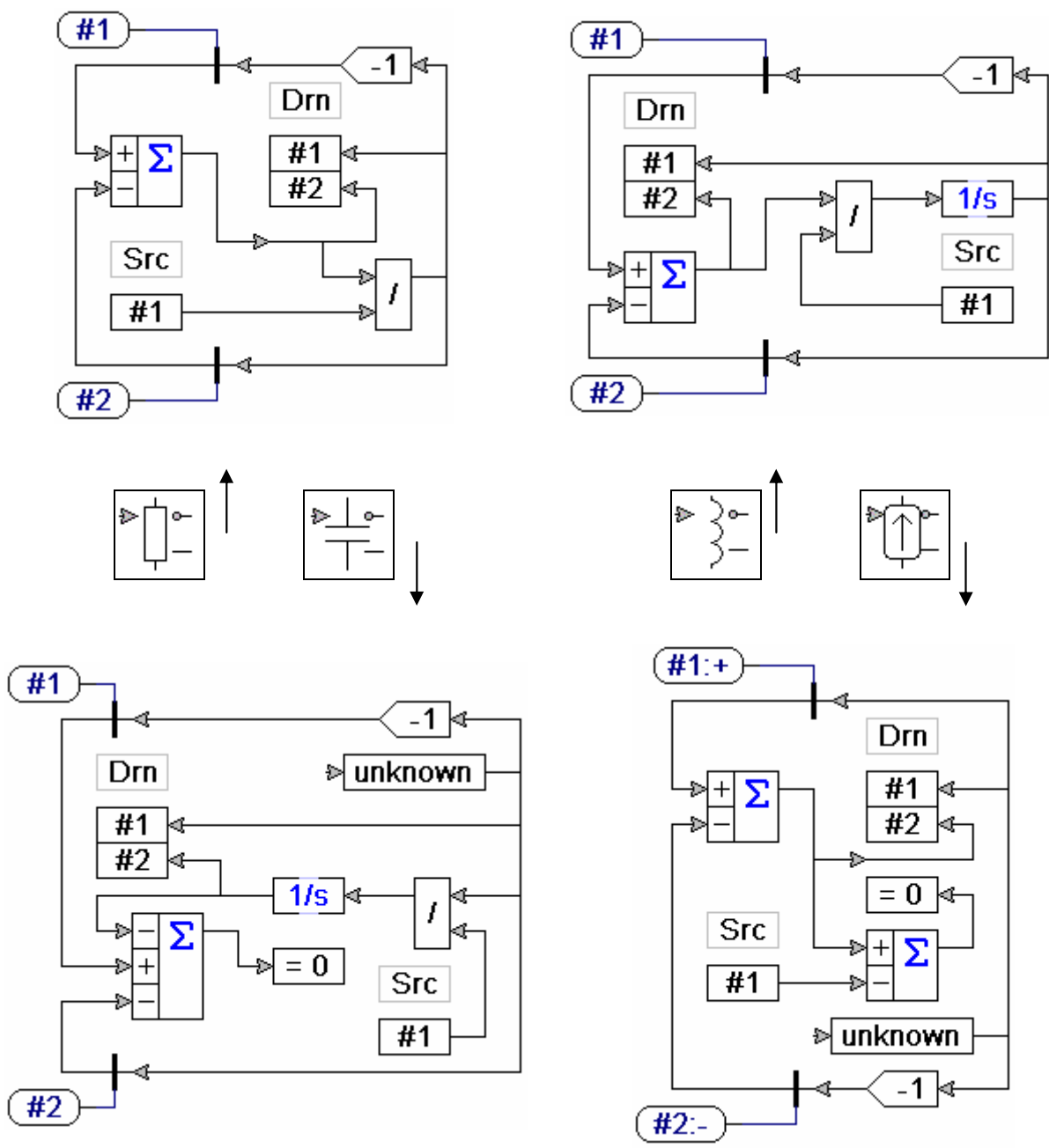


Рис. 2. Модели R, L, C, E-элементов

В третьем параграфе проводится сравнительный анализ методов построения моделей электротехнических систем, формулируются следующие выводы:

–Метод, использующий итерацию токов, работает быстрее при расчете цепей с большим количеством последовательных соединений элементов. Цепи с преимущественно параллельным соединением элементов быстрее рассчитываются с применением метода, использующим итерацию потенциалов.

–Использование метода итерации токов обуславливает дополнительное требование к моделям RLC-элементов: они должны иметь условную полярность. Кроме того, узлы реализуются двумя моделями

(аккумулирующей и распределяющей токи), которые нельзя масштабировать (изменять количество выводов). Метод итерации потенциалов не накладывает подобных ограничений. Позволяет использовать неполярные модели RLC-элементов и единую, масштабируемую модель узла с взаимозаменяемыми выводами.

– При итерации потенциалов используются модели элементов с фиксированной блок-схемой, в то время как при итерации токов незначительные модификации моделей технических устройств могут стать причиной перераспределения существенного количества узлов в схеме, переключения условно-полярных RLC-элементов, изменения знаков у сумматоров в их блок-схемах. Даже если реализовать алгоритм автоматической перестройки модели, это будет неудобно для пользователя, поскольку сложно будет отслеживать все изменения. По той же причине, при итерации токов теряет смысл деинкапсуляция моделей ниже уровня элементов схем замещений.

– Модели, построенные на основе метода с итерацией потенциалов, характеризуются меньшим количеством последовательных вычислений, и в большей степени поддаются распараллеливанию по вычислительным ядрам процессора.

В третьей главе описывается разработанный программный комплекс.

В первом параграфе предлагается модульная структура моделирующего программного комплекса, реализация которой делает возможной сборку конечного продукта из готовых компонентов, и сокращает затраты на разработку.

В структуре моделирующей программы выделяются четыре базовых компонента: графический редактор, система управления базой данных (СУБД), математическое ядро (или библиотека), серверы визуализации и интерактивных воздействий.

Графический редактор – это модуль, который содержит инструментарий для визуального составления математической модели в виде, понятном широкому кругу специалистов. СУБД отвечает за хранение объектов составленной пользователем модели, а также обеспечивает требуемые трансформации структуры хранилища. Математическое ядро берет на себя основную вычислительную нагрузку. Оно реализует исполнение потоков математических функций, в цикле, согласно заданному алгоритму, руководствуясь готовностью аргументов и приоритетностью математических операций. Серверы визуализации и интерактивных воздействий отображают результат и обеспечивают интерфейс между функционирующим математическим ядром и пользователем. Последние два модуля не следует разделять до уровня интерфейсов.

При разработке моделирующей программы SimLib4Visio в качестве основы для графического интерфейса был выбран пакет векторной графики MS Visio. Для управления текстовым хранилищем модели с XML-разметкой взят небольшой, имеющий качественную документацию, и присутствующий на каждой машине с операционной системой Windows, движок реляционной

базы данных MS XML PARSE. Математическое ядро и серверы визуализации написаны на языке C++, объединены в один программный модуль и представлены в виде ActiveX-элемента.

Во втором параграфе описывается графический редактор моделирующей программы и выносимый на защиту графический язык представления моделей.

Редактор MS Visio был дополнен библиотекой условных графических обозначений (в соответствии с предложенным графическим языком), а также набором алгоритмов, контролирующих процесс создания чертежа модели (5000 строк кода на языке VBA). Четкая формализация процесса составления чертежа и малое количество требуемых действий является одной из причин отказа от сохранения рабочих моделей в vsd или vdx форматах, содержащих большое количество излишних данных. Предложенный формат рабочего SimML-файла (Simulation Bond Graphs Markup Language) разработан в соответствии с правилами нормализации баз данных и может быть использован разными моделирующими программами (XML-разметка рабочих файлов предусматривает возможность преобразования разработанных моделей в рабочие файлы других моделирующих программ с помощью XSLT-фильтров).

Предлагаемый графический язык представления моделей технических устройств позволяет объединить на одном чертеже блок-схемы и физические схемы. Библиотека графических элементов языка содержит: математические блоки, условные графические обозначения электротехнических устройств, пограничные элементы, вспомогательные элементы и блоки.

Предложенные модификации условных графических обозначений элементов схем замещений сделали возможным:

- интеграцию блок-схем и физических схем на одном чертеже без появления дополнительных координат в расчетной модели;
- полную деинкапсуляцию моделей физических устройств, с возможностью их модификации пользователем.

Основой интеграции блок-схем и электрических схем являются пять моделей идеальных потребителей и источников энергии – R, L, C и E, J-элементы. В гибридной модели (объединяющей фрагменты блок-схем и физических схем) их условное графическое изображение может варьироваться в зависимости от того, являются ли элементы пограничными или нет (рис. 3). Наибольшее количество терминалов для пограничного элемента – пять: два вывода, один вход, два выхода. Осевые терминалы ассоциируются с выводами, которые имеют физически существующие элементы. Шинные проводники, соединяющие выводы элементов с узлами, состоят из двух ориентированных связей, передающих координаты между моделями. Поперечные терминалы (вход и выходы) используются для контроля над параметром элемента (номиналом) и его состоянием. Состояние элементов характеризуется двумя физическими величинами первого и второго рода (например, ток и напряжение соответственно).

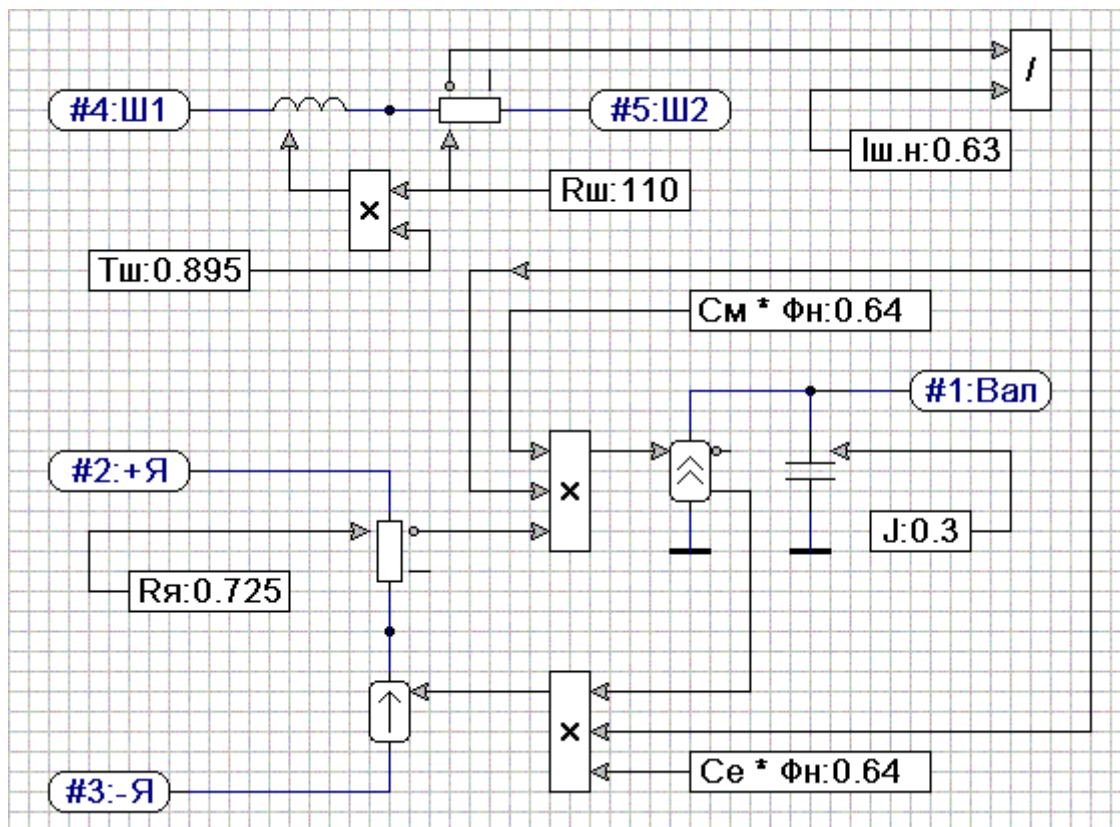


Рис. 3. Связывание фрагментов блок-схем и физических схем в модели машины постоянного тока

Близкие к традиционным, условные графические обозначения физических устройств инкапсулируют соответствующие чертежи моделей в виде математических блок-схем.

В третьем параграфе главы описано разработанное математическое ядро и интерфейс его конфигурации.

Математическое ядро – это программный модуль (14000 строк кода на языке C++), предназначенный для решения алгебраических, дифференциальных, разностных уравнений, уравнений с запаздывающим аргументом.

Для тех случаев, когда целью исследования является движение системы в окрестности установившегося режима, но расчет переходных процессов требует значительных вычислительных ресурсов, в математическом ядре предусмотрен режим моделирования с предустановкой начальных условий (Exclude Transient), который предполагает подмену алгоритмов основных решателей на первом шаге симуляции в соответствии с рис. 4.

Для поддержки функций анализа в ядре K2.SimKernel реализован алгоритм идентификации модели, при выполнении которого вычисляются численные значения коэффициентов линеаризованного образа модели, структура которой и параметры выбраны пользователем произвольно. Результат представляется в виде объединенной ABCD-матрицы. Полученные коэффициенты являются исходными данными для частотного, корневого и других видов анализа, а также позволяют экспортировать

сконфигурированный образ модели в виде матрицы для расчета математическими библиотеками.

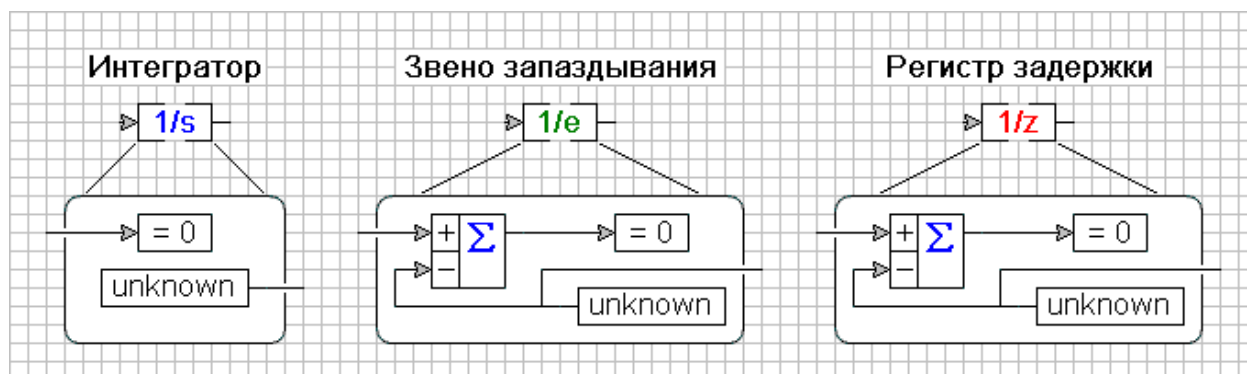


Рис. 4. Подстановки для блоков с эффектом памяти для режима моделирования с предустановкой начальных условий

Особенность реализованного в математическом ядре алгоритма идентификации состоит в том, что получаемая в результате ABCD-матрица составляется относительно всех основных решателей, а не только относительно интеграторов. В частности, в матрицу попадают коэффициенты разностных уравнений, уравнений с запаздывающим аргументом, дифференциальных уравнений, уравнений записанных относительно экстраполяторов нулевого порядка, алгебраических уравнений (программа поддерживает частотный анализ для соответствующих систем).

Поскольку ядро K2.SimKernel вместе с набором серверов визуализации является внутрипроцессорным COM-сервером, оно может быть встроено в любую программу-контейнер для элементов ActiveX. Для этого был разработан интерфейс конфигурации математического ядра с поточной моделью управления, в котором реализованы три метода. Первый метод `createBlock()` создает объекты исполняемого кода, метод `createWire()` настраивает схему передачи аргументов, метод `setBlkParam()` устанавливает параметры экземплярам исполняемого кода. При этом входной информацией может быть чертеж модели любого уровня сложности (содержащий блок-схемы и электрические схемы). Регулярная информационная структура интерфейса упрощает интеграцию математического ядра с другими программными продуктами (MS Internet Explorer, MS Visio, MS PowerPoint).

В четвертом параграфе описываются серверы визуализации и интерактивных воздействий. Они реализованы в виде шкального прибора и осциллографа. Взаимодействие с математическим ядром в период выполнения математических расчетов организовано посредством экспортирования указателя на C++ класс сервера в область видимости C++ классов математического ядра, чем достигается предельное быстродействие.

В четвертой главе диссертации описаны модели технических устройств и систем, входящих в состав ветроэнергетической установки ВЭУ-3, которые были составлены при внедрении программного комплекса на предприятии ООО «ГРЦ-Вертикаль».

Описаны модели: ветряной двигатель, электромагнитный тормоз, электрический генератор; система аэродинамического торможения, система балластной механической нагрузки, система балластной электрической нагрузки, система автоматического регулирования напряжения генератора (рис. 5). Предложенные модели использовались для расчетной проверки инженерных решений и апробации возможных алгоритмов управления устройствами ветроэнергетической установки.

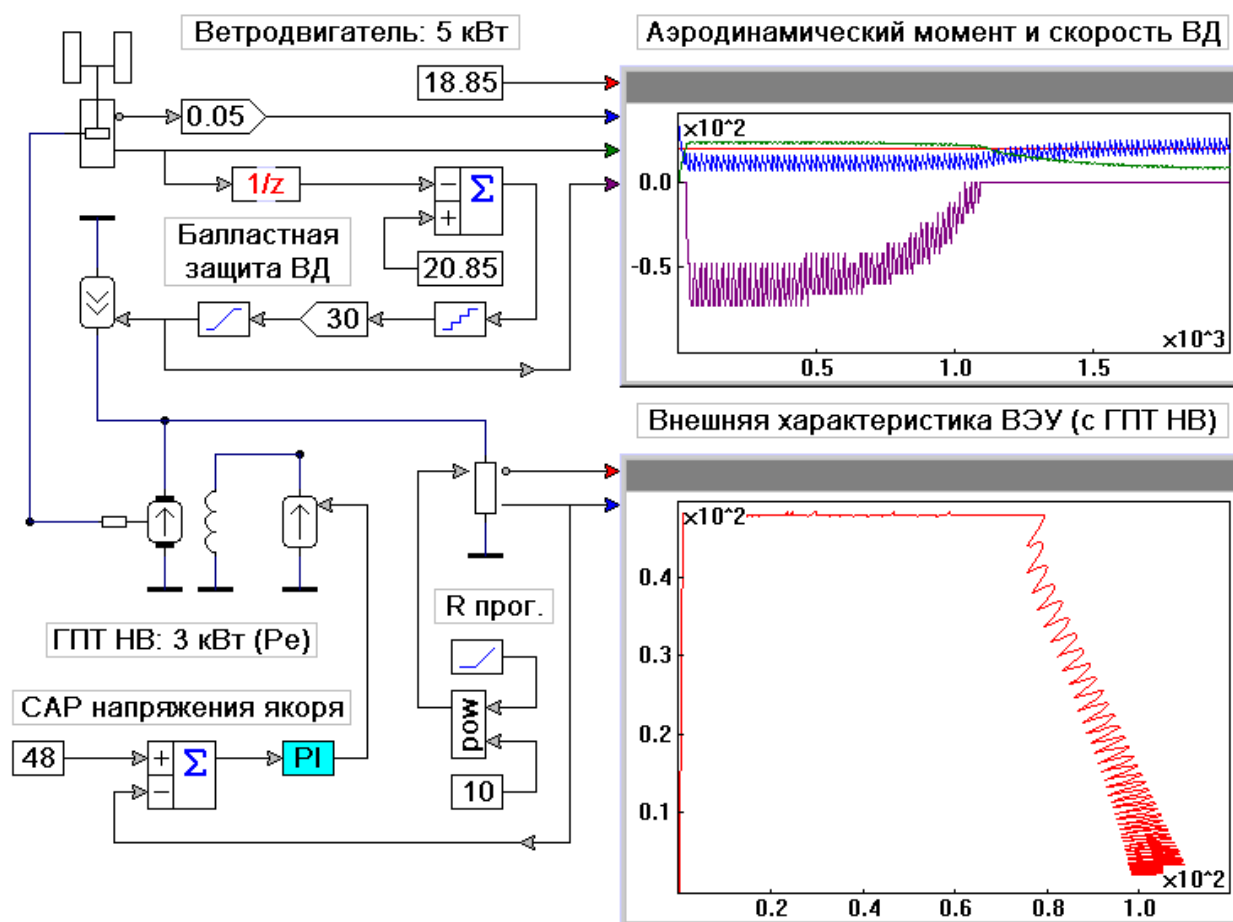


Рис. 5. Модель ветродвигателя с включенной САР генератора

Опыт эксплуатации программного комплекса на предприятии позволил сделать следующие выводы:

1. Предложенный графический язык позволяет сохранить наглядность чертежей моделей, и предоставляет возможность понижать порядок систем уравнений, благодаря использованию блок-схем.

2. Открытая технология меняет классические подходы к построению и отладке моделей технических устройств – простейшие модификации библиотечных моделей позволяют проще получать информацию, традиционно получаемую в ходе проведения классических экспериментов (например, опыт холостого хода и опыт короткого замыкания).

3. Использование решений, реализованных в программном комплексе, позволяет сократить общее время разработки моделей технических устройств и систем.

В заключении перечислены результаты диссертационной работы. Приведены данные об апробации. Сформулированы выводы. Указаны направления дальнейших исследований и разработок.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Предложенный новый графический язык обеспечивает наглядное представление открытых моделей технических устройств. Пользователь получает возможность изучить и модифицировать систему уравнений, составляемую автоматически.

2. Метод построения моделей технических устройств на основе итерации потенциалов в узлах цепи сформулирован в новой форме (в виде графических чертежей).

3. Предложенная модульная структура моделирующей программы позволяет оптимизировать затраты на создание программного продукта.

4. Разработано математическое ядро с поточной моделью управления, оформленное в виде ActiveX-элемента (14 000 строк кода). Поддерживаемые функции:

- расчет моделей цепей во временном домене;
- анализ моделей в частотном домене;
- идентификация линеаризованного образа модели.

5. Разработанный интерфейс конфигурации математического ядра, отличающийся регулярной информационной структурой данных, упростил интеграцию с другими программными продуктами (MS Internet Explorer, MS Visio, MS PowerPoint).

6. Разработан и размещен в сети Интернет программный комплекс для имитационного моделирования электротехнических систем. Получено два свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

7. Разработаны и внедрены на предприятии ООО «ГРЦ-Вертикаль» модели технических устройств и систем, входящих в состав ветроэнергетической установки.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, опубликованные в научных журналах из списка ВАК:

1. *Клиначёва, Н.В.* Интерфейсы конфигурации математических ядер с поточной моделью управления / *Н.В. Клиначёва, Н.В. Клиначев* // Вестник Воронежского государственного технического университета. Серия «Физико-математическое моделирование». – Воронеж: ВГТУ, 2006. – Том2 (№8). – С. 110–112.

2. О способе формализации применения законов Ома и Кирхгофа до уровня программных алгоритмов / *Н.В. Клиначев, Н.В. Клиначёва* // Вестник

Южно-Уральского государственного университета. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2006. – Вып. 4 – №14 (69). – С. 93–96.

3. *Клиначёва, Н.В.* Представление математических моделей электрических машин с помощью графического языка программы Jigrein / *Н.В. Клиначев, Н.В. Клиначёва* // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Энергетика». – 2008. – Вып. 10. – №26 (126). – С. 46–50.

Другие публикации:

4. *Клиначёва, Н.В.* MS VISIO и MS XML PARSER как составные модули моделирующих программ // Технологии Microsoft в теории и практике программирования: Тез. докл. (22–24 февраля 2006 г., г. Новосибирск). – Новосибирск, 2006. – С. 18–20.

5. *Клиначёва, Н.В.* Использование математического ядра K2.SimKernel для создания виртуальных лабораторных работ по дисциплине «Электротехника» // Электротехника, электромеханика и электротехнологии: Труды VI Региональной научно-практической студенческой конференции (6–9 июня 2006 г., г. Томск). – Томск, 2006. – С. 47–51.

6. *Клиначёва, Н.В.* Использование математического ядра K2.SimKernel в сети Интернет / *Н.В. Клиначёва, Н.В. Клиначев* // Технологии Microsoft в теории и практике программирования: Тез. докл. науч. конф. (24–26 февраля 2007 г., г. Новосибирск). – Новосибирск, 2007. – С. 187–189.

7. *Клиначёва, Н.В.* Разработка математического ядра моделирующей программы / *Н.В. Клиначев, Н.В. Клиначёва* – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006 (Препр.).

8. *Клиначёва, Н.В.* Основы построения моделей на базе гибрида из направленных и ненаправленных графов при мультидоменном физическом моделировании / *Н.В. Клиначёва, Н.В. Клиначев* // Практика применения программного обеспечения в образовании и научных исследованиях: Труды Региональной конференции по научному программному обеспечению (2–3 февраля 2006 г., г. С.Петербург.). – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2006. – С. 109–114.

9. *Клиначёва, Н.В.* Модульная структура моделирующих программ / *Н.В. Клиначёва, Н.В. Клиначев* // Физико-математическое моделирование систем: Материалы II Междунар. Семинара. Ч. 2: Моделирование технических систем. Математическое и программное обеспечение систем компьютерного моделирования. (1–2 декабря 2005 г., г. Воронеж). – Воронеж: ВГТУ, 2005. – С. 102–107.

10. *Клиначёва, Н.В.* Использование бинаправленных графов в мультидоменном физическом моделировании / *Н.В. Клиначев, Н.В. Клиначёва* // Физико-математическое моделирование систем: Материалы II Междунар. Семинара. Ч. 2: Моделирование технических систем.

Математическое и программное обеспечение систем компьютерного моделирования (1–2 декабря 2005 г., г. Воронеж). – Воронеж: ВГТУ, 2005. – С. 107–111.

11. *Клиначёва, Н.В.* Интерфейсы конфигурации математических ядер с поточной моделью управления / *Н.В. Клиначёва, Н.В. Клиначев* // Физико-математическое моделирование систем: Материалы III Междунар. Семинара. Ч. 2: Моделирование технических систем. Математическое и программное обеспечение систем компьютерного моделирования (19–20 мая 2006 г., г. Воронеж). – Воронеж: ВГТУ, 2006. – С. 95–98.

Свидетельства о регистрации программ для ЭВМ:

12. *Клиначёва, Н.В.* Математическое ядро K2.SimKernel: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2008614858 / *Н.В. Клиначев, Н.В. Клиначёва.* – 09.10.08. – М.: РОСПАТЕНТ, 2008.

13. *Клиначёва, Н.В.* Библиотека SimLib4Visio: Инструмент программирования математических ядер моделирующих программ: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2008615589 / *Н.В. Клиначев, Н.В. Клиначёва.* – 24.11.08. – М.: РОСПАТЕНТ, 2008.