

УДК 621.311.925:681.3

## РАЗРАБОТКА ПОДСИСТЕМ ГРАФИЧЕСКОГО ВВОДА-ВЫВОДА СИСТЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

ШУИН В.А., д-р техн. наук, МУРЗИН А.Ю., канд. техн. наук, ЛИФШИЦ А.С., инж.

**Рассмотрены принципы создания и реализация графических подсистем ввода-вывода системы моделирования электромагнитных переходных процессов в электроэнергетических системах.**

*Ключевые слова:* графические подсистемы, язык графического программирования, графический редактор примитивов, система управления базой данных.

## DEVELOPING SUBSYSTEMS OF GRAPHICS IN-OUT SYSTEM OF TRANSIENTS SIMULATION IN ELECTRICAL POWER SYSTEMS FOR RELAY PROTECTION

V.A. SHUIN, Ph.D., A.Yu. MURZIN, Ph.D., A.S. LIFSHITS, engineer

**The work represents the principles of developing and realization of in-out system graphics subsystems of electromagnetic transients simulation in electrical power system.**

*Key words:* graphics subsystems, graphics programming language, graphics entity editor, data base control system.

**Введение.** При исследовании свойств различных технических объектов с использованием систем и комплексов автоматизированного моделирования одними из трудоемких и сложных задач, стоящих перед исследователем, являются создание и задание параметров адекватных моделей объектов и анализ полученных результатов моделирования. При описании пользователями моделей большинство исследуемых технических объектов значительную долю информации составляют данные, связанные с графическими образами, характеристиками и т.п. Формирование данных, их поиск, хранение и модификация, организация представления этих данных на графических устройствах (мониторах, плоттерах и др.), а также решение других задач обработки графической информации выполняются в настоящее время графическими подсистемами ввода-вывода (инструментальными системами машинной графики), обеспечивающими режим оптимального и комфортного графического взаимодействия пользователя с ЭВМ.

Специфика объектной ориентации систем моделирования отражается, прежде всего, на моделях объектов моделирования и средствах общения пользователей с ними. Для большинства реальных систем автоматизированного моделирования эта специфика выражается в принципах построения графических моделей объектов моделирования, средствах их формирования и средствах общения с ними (наличие специализированных языков графического описания или моделирования). Например, в системах моделирования, ориентированных на проектирование топологии интегральных схем, печатного монтажа, электрических принципиальных схем, систем автоматического регулирования, графические подсистемы ввода-вывода основаны, как правило, на применении двумерной графики, а входной проблемно-ориентированный язык использует в качестве базовых элементов описания графические образы элементов, из которых конструируются исследуемые схемы [1–3].

**Функции графических подсистем ввода-вывода и требования, предъявляемые к ним.** Решение задач моделирования динамических режимов функционирования электроэнергетических систем (ЭЭС) с использованием ЭВМ предполагает наличие интерактивного инструментария – графических подсистем ввода-вывода, которые позволяли бы пользовате-

лю (специалисту-электроэнергетику) конструировать с определенной степенью простоты и наглядности исследуемые схемы ЭЭС и электроэнергетические объекты (ЭЭО) любой сложности, а также проводить анализ полученных результатов в понятных ему терминах и образах.

Указанное позволяет выделить основные функции, которые должны выполнять подсистемы графического ввода-вывода, применяемые в системах моделирования переходных процессов в ЭЭС:

- создание графического образа схемы электрической сети из базовых компонентов, задание параметров составляющих ее элементов и описание проведения вычислительного эксперимента;
- создание новых графических образов элементов и пополнение базового набора компонентов ЭЭС;
- создание структур данных для проведения вычислительных экспериментов;
- обработку запросов пользователя в реальном режиме времени проведения вычислительного эксперимента;
- поиск и хранение исследуемых электрических схем и данных вычислительных экспериментов;
- вывод, анализ и обработку результатов вычислительных экспериментов.

На рис. 1 представлена структура системы моделирования с подсистемами графического ввода-вывода, обеспечивающими выполнение указанных функций.

В настоящее время при построении объектно-ориентированных систем моделирования, имеющих развитые графические подсистемы ввода-вывода, наиболее приемлемой для различных категорий пользователей считается концепция структурного моделирования, реализующая блочный принцип формирования моделей исследуемых объектов из структурных блоков базовых компонентов [4, 5].

При разработке графических подсистем для системы моделирования с использованием концепции структурного моделирования одной из важных задач является создание входного объектно-ориентированного языка графического программирования, который должен отражать специфику ЭЭС и, соответственно, должен быть максимально приближен к естественному языку специалистов, работающих в области электроэнергетики.

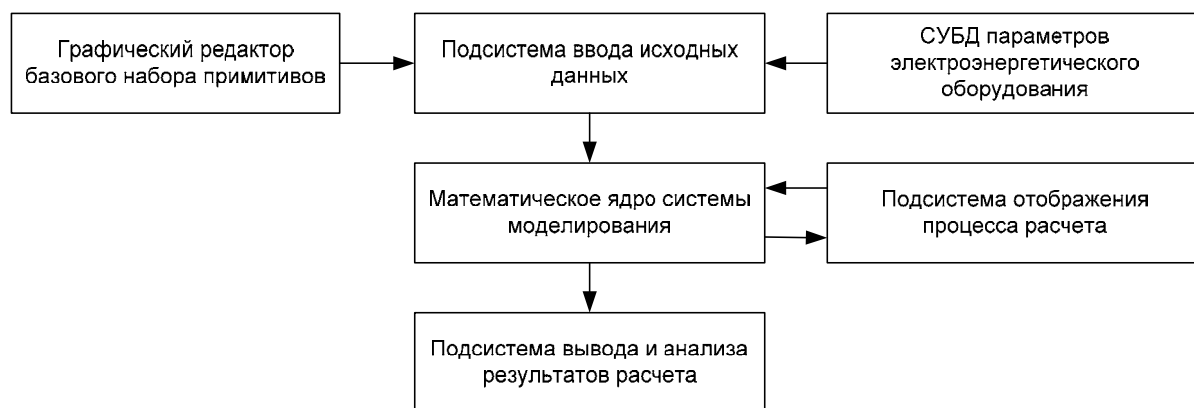


Рис. 1. Структура системы моделирования с подсистемами графического ввода-вывода

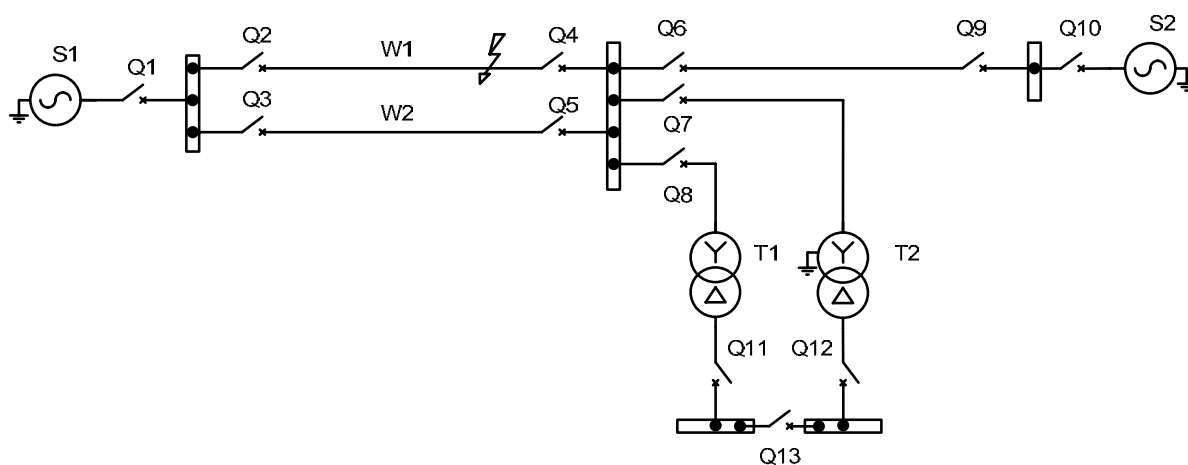


Рис. 2. Представление участка ЭЭС в виде однолинейной электрической схемы, состоящей из базисных блоков

Указанное требование жестко определяет специфический ряд базового набора примитивов ЭЭС – генераторы, линии (кабельные и воздушные), трансформаторы, шины, коммутационные элементы (выключатели, разъединители и т.п.), реакторы, электродвигатели и др., с помощью которого структура анализируемого ЭЭС может быть легко сформирована в форме однолинейной электрической схемы (рис. 2).

Специфика исследования динамических режимов работы ЭЭС и ЭЭС, а также накопленный опыт по созданию автоматизированных моделирующих комплексов и программ для машинного проектирования радиоэлектронных схем и электротехнических объектов [1–3 и др.] позволяют сформулировать следующие общие требования к подсистемам графического ввода-вывода системы моделирования динамических режимов функционирования ЭЭС:

- подсистемы ввода-вывода должны представлять собой специализированный объектно-ориентированный инструмент с высокой степенью наглядности и иллюстративности, предназначенный для организации оптимального взаимодействия пользователя (специалиста-электроэнергетика) с ЭВМ при решении задач многовариантного анализа функционирования ЭЭС и ЭЭС в установившихся, аварийных и послеаварийных режимах;

- подсистемы ввода-вывода должны поддерживать концепцию структурного моделирования;

- язык графического программирования подсистемы ввода исходных данных должен иметь возможность конструировать и описывать достаточно сложные схемы ЭЭС различной конфигурации, содержащие большое количество ЭЭС;

- подсистема графического ввода исходных данных должна содержать базовый набор примитивов, включающий как основные трехфазные и однофазные элементы трехфазных ЭЭС (генераторы, линии, трансформаторы, выключатели и т.д.), так и широкий класс дополнительных трехфазных и однофазных компонентов (продольные и поперечные активно-индуктивные сопротивления и активно-емкостные проводимости и т.п.), позволяющих расширить область исследований при многовариантном анализе функционирования ЭЭС;

- подсистемы ввода-вывода должны обеспечивать оптимальное взаимодействие графической и расчетной частей системы моделирования;

- подсистемы ввода-вывода должны выполнять функции сохранения и удаления моделей отдельных электрических схем и результатов численных экспериментов;

- набор примитивов подсистемы ввода исходных данных должен носить открытый характер, т.е. должна предоставляться возможность расширения (увеличения) базового набора элементов (примитивов) исследуемых объектов;

– подсистемы ввода-вывода должны позволять проводить анализ сложных схем ЭЭС с изменяющейся конфигурацией с учетом состояний коммутационных элементов, анализ простых и сложных, включая развивающиеся во времени, повреждений и коммутаций и т.п.;

– подсистемы ввода-вывода должны включать эффективный аппарат диагностирования ошибок в целях повышения достоверности результатов анализа;

– подсистемы ввода-вывода должны обладать высоким быстродействием при минимальном использовании вычислительных ресурсов ЭВМ;

– при интеграции графических подсистем ввода-вывода с математическим ядром системы моделирования должны обеспечиваться простое формирование и редактирование моделей исследуемых объектов, задание и перезадание режимов вычислительного эксперимента, вывод результатов моделирования в наиболее удобной для анализа форме, обслуживание базы данных моделей и макромоделей базовых элементов и объектов, автоматизация обработки результатов вычислительного эксперимента и т.п.

**Язык графического программирования подсистемы ввода исходной схемы.** При разработке графических подсистем ввода-вывода одной из основных задач является создание удобного средства общения пользователя с системой автоматизированного моделирования.

В большинстве программных комплексов, применяемых в близких к электротехнике областях и имеющих развитые графические подсистемы ввода, например, *LabVIEW*, *MatLab*, *EWB* и др. [1, 2, 3], в качестве средства общения выступают входные объектно-ориентированные графические языки, которые оперируют с графическими элементами или примитивами, обеспечивая формирование и модификацию графической модели. Рассматриваемые графические языки позволяют не только использовать графические изображения и пиктограммы для представления и формирования моделей различных объектов исследования, но и реализовать функции управления процессом моделирования, помощи, работы с информационными базами данных и т.п.

Поэтому актуальной задачей при разработке подсистемы графического ввода исходной схемы системы моделирования режимов функционирования ЭЭС является создание специализированного входного объектно-ориентированного языка пользователя – языка графического программирования.

Разработка языка графического программирования должна базироваться на следующих основных принципах:

– входной язык, отражающий специфику ЭЭС, должен представлять собой графическое средство общения пользователя с системой моделирования и, соответственно, должен быть максимально приближен к естественному языку специалистов, работающих в области электроэнергетики;

– графическими объектами и образами, входящими в состав специализированного языка, должны быть изображения (примитивы), позволяющие работать со стандартными однолинейными трехфазными электрическими схемами;

– топология однолинейных электрических схем должна формироваться не с помощью таблиц узлов и ветвей, а посредством размещения на «наборном» поле графических образов (примитивов) различных

ЭЭО и трехфазных элементов и соединения их между собой линиями или узлами;

– параметры ЭЭО должны задаваться либо самим пользователем, либо формироваться автоматически в соответствии с техническими данными ЭЭО, хранящимися в электронном справочнике и сформированными в соответствии с материалами справочников на электротехническое оборудование;

– входной язык должен позволять пользователю оперировать не только моделями реальных ЭЭО (трансформаторов, генераторов, выключателей и т.п.), но и моделями простейших трехфазных элементов, таких как продольные и поперечные трехфазные активно-емкостные проводимости, активно-индуктивные сопротивления и т.п.;

– входной язык должен предоставлять возможность пользователю достаточно просто описывать как модели сложных электрических систем произвольной конфигурации, так и повреждения и коммутации любой сложности в них;

– при создании мнемосхемы анализируемой электрической сети входной язык должен предоставлять пользователю возможность манипулирования графическими образами элементов: перемещения, вращения, удаления, копирования и т.п. При этом в случае перемещения элемента, имеющего связи с другими элементами, топология схемы не должна нарушаться.

Согласно классификации базисного набора компонентов системы моделирования электромагнитных переходных процессов в целях РЗ (рис. 3) все базисные элементы разбиты на три основные группы:

– реальные ЭЭО (генератор, реактор, линия электропередачи (ЛЭП), двухобмоточные и трехобмоточные трансформаторы с различными группами соединения обмоток, автотрансформатор и т.п.), параметры которых задаются по справочным данным на электроэнергетическое оборудование;

– простейшие трехфазные элементы (трехфазные источники, продольные и поперечные трехфазные индуктивно-активное сопротивление и активно-емкостная проводимость и др.), параметры которых задаются через параметры составляющих их единичных компонентов, таких как активное сопротивление, индуктивность, емкость и т.п.;

– коммутационные элементы (выключатель, ключ короткого замыкания).

Необходимо отметить, что указанная классификация предполагает наличие в системе моделирования для каждого трехфазного и однофазного ЭЭО или простейшего трехфазного элемента соответствующей уникальной математической модели.

Основными элементами языка графического программирования для графической подсистемы ввода исходной схемы системы моделирования режимов функционирования ЭЭС являются:

– унифицированные графические образы (примитивы) базового набора трехфазных и однофазных элементов ЭЭС и простейших трехфазных компонентов, которые располагаются в отдельном «окне примитивов» графической подсистемы и предоставляют пользователю возможность выбирать требуемые элементы для конструирования в «окне мнемосхемы» исследуемой ЭЭС;

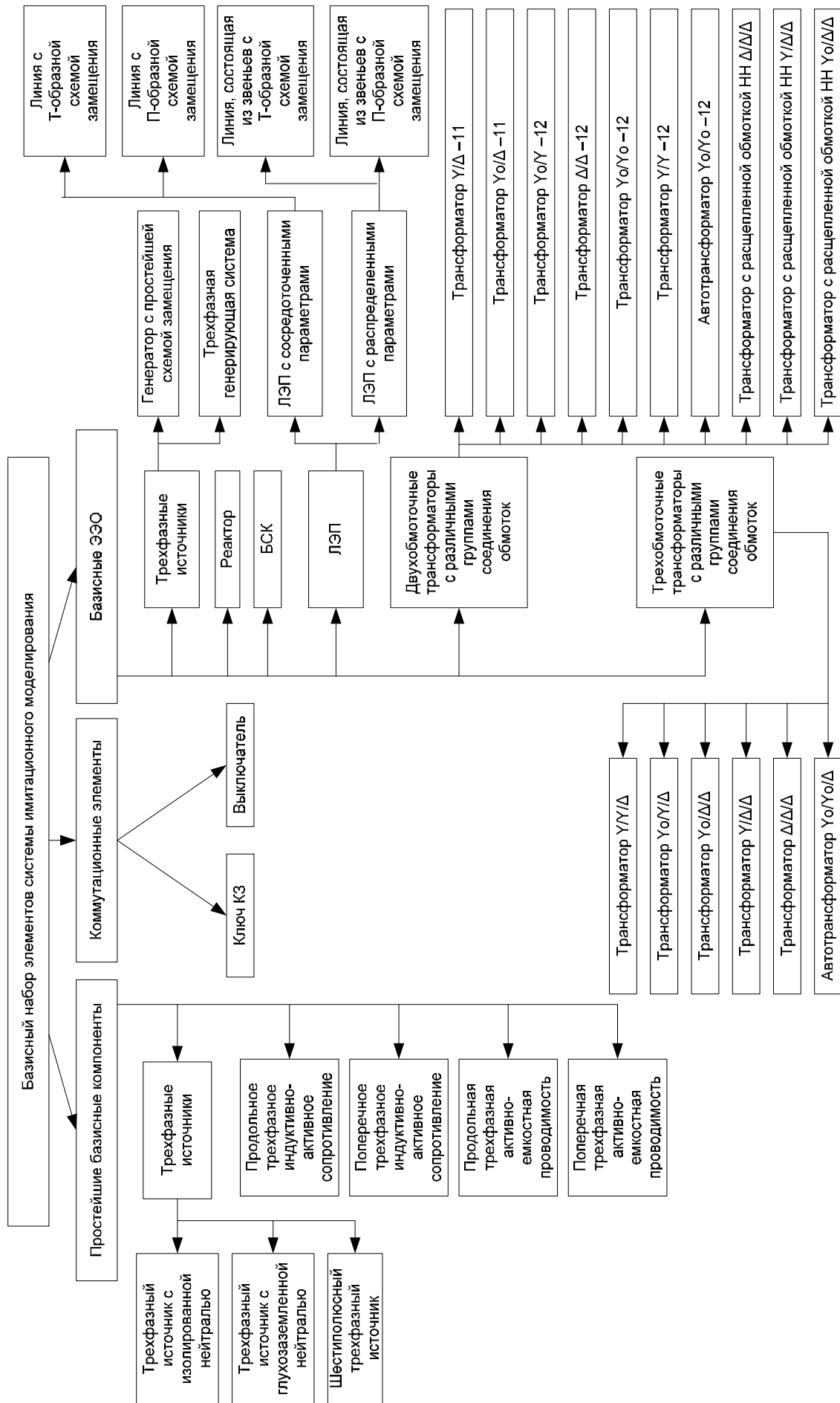


Рис. 3. Базисный набор элементов подсистемы моделирования переходных режимов функционирования электроэнергетических систем

– графические образы конкретных трехфазных и однофазных ЭЭО и простейших трехфазных компонентов, а также связей между ними, отображаемые в «окне мнемосхемы» и содержащие информацию о топологии исследуемой схемы и параметрах составляющих ее элементов. При этом топология схемы должна задаваться пользователем графически (с помощью графического соединения отдельных элементов, а не с использованием таблиц узлов и ветвей), а параметры элементов должны задаваться при помощи «оконных меню».

Главное окно разработанной подсистемы ввода исходной схемы системы моделирования представлено на рис. 4.

В табл. 1, 2 приведены в качестве примера изображения графических образов соответственно некоторых базисных ЭЭО и простейших трехфазных элементов, отображаемых в «окне примитивов» и в «окне мнемосхемы».

Анализ данных (табл. 1, 2) показывает, что количество примитивов отдельных элементов, находящихся в «окне примитивов» и в «окне мнемосхемы», не эквивалентно. Указанное несоответствие допущено в целях минимизации объема графической информации, предоставляемой пользователю. Так, например, количество двухобмоточных трансформаторов с различными группами соединения обмоток в общем случае может достигать до шести

( $Y_0/\Delta$ ,  $Y/\Delta$ ,  $Y_0/Y$ ,  $\Delta/\Delta$ ,  $Y/Y$ ,  $Y_0/Y_0$ ). Тогда количество графических примитивов соответствующих двухобмоточных трансформаторов в «окне мнемосхемы» также должно быть равно шести. Тем не менее в «окне примитивов» достаточно иметь одно упрощенное изображение двухобмоточного трансформатора без указания на схемы соединения обмоток, так как на этапе выбора элемента из «окна примитивов» пользователь оперирует с типом объекта, а не с его параметрами. Задание параметров, в том числе и схемы соединения обмоток трансформатора, производится в «окне мнемосхемы» через «окно параметров» данного элемента. Язык графического программирования содержит не только примитивы элементов, имеющих реальные физические параметры, но и примитивы идеальных элементов без параметров, таких как «узел соединения» и «линия связи», предназначенных для облегчения работы пользователя при конструировании сложных электрических схем. «Линия связи» позволяет сохранить электрическую связь «без потерь» между разнесенными элементами мнемосхемы электрической сети. «Узел соединения» позволяет организовать на мнемосхеме точку пересечения «линий связи», соединение других элементов схемы с «линиями связи» или соединение элементов схемы между собой (эквивалентно элементу «Сборные шины»).

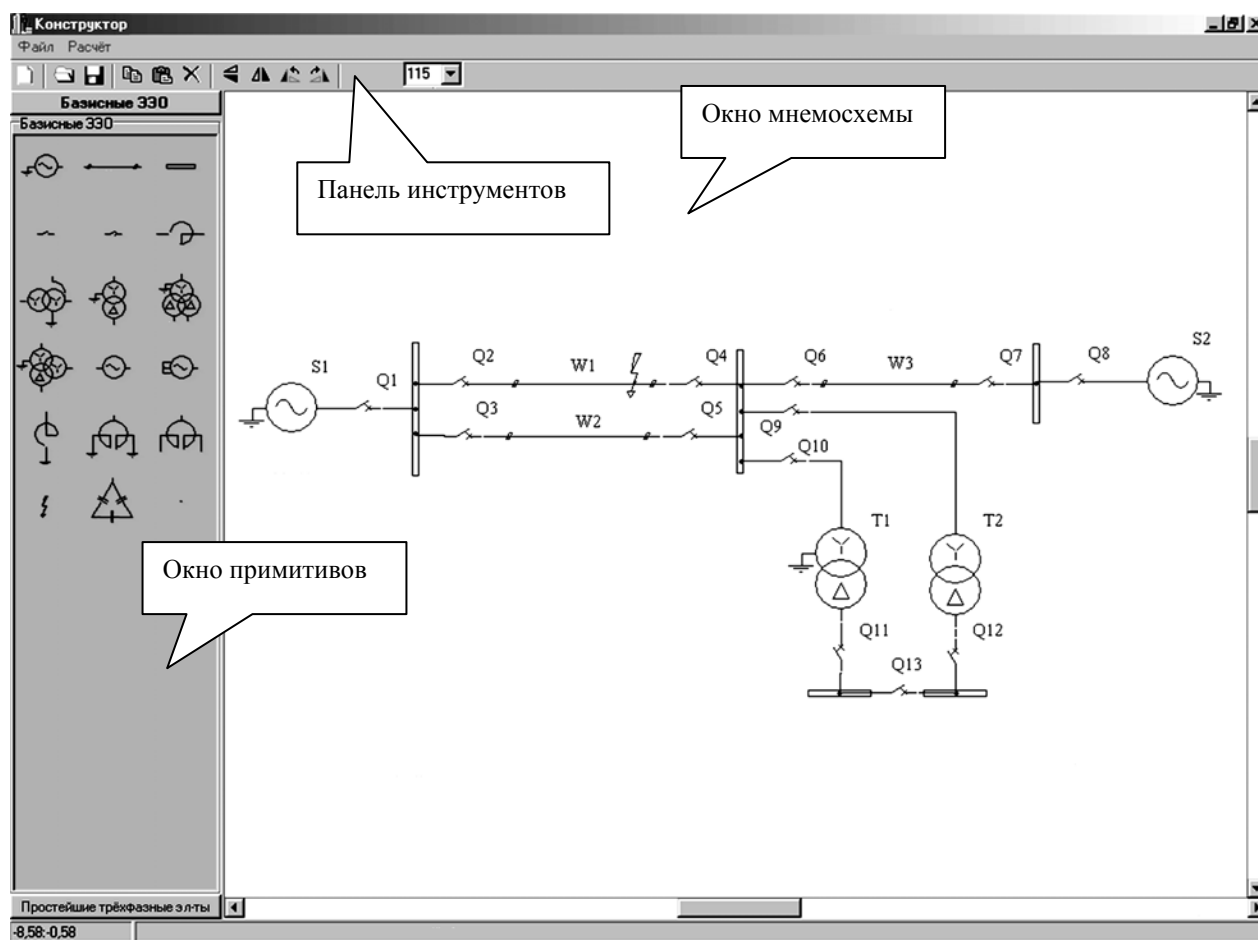


Рис. 4. Главное окно ввода исходных данных системы моделирования

Таблица 1. Пример изображения графических образов некоторых базисных ЭЭО в «окне примитивов» и в «окне мнемосхемы»





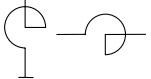
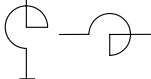
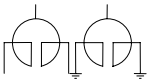
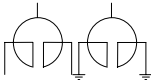
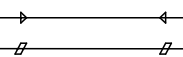
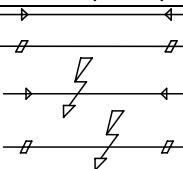
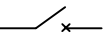
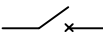

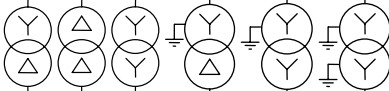

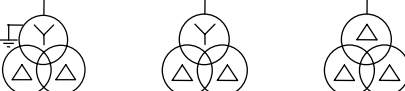

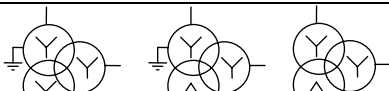










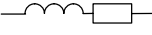

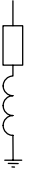

Название ЭЭО	«Окно примитивов»	«Окно мнемосхемы»
Генератор		
Система		
Реактор		
Сдвоенный реактор		
ВЛЭП и КЛЭП		
Выключатель		
Двухобмоточные трансформаторы с различными группами соединения обмоток		
Двухобмоточные трансформаторы с расщепленной обмоткой низшего напряжения		
Трехобмоточные трансформаторы с различными группами соединения обмоток		
Автотрансформатор		
БСК		

Таблица 2. Пример изображения графических образов некоторых простейших трехфазных элементов в «окне примитивов» и в «окне мнемосхемы»

Название ЭЭО	«Окно примитивов»	«Окно мнемосхемы»
Трехфазный источник с выведенной нейтралью		
Трехфазный источник с заземленной нейтралью		
Трехфазный источник с шестью полюсами		
Продольное активно-индуктивное сопротивление		
Поперечное активно-индуктивное сопротивление		

Название ЭЗО	«Окно примитивов»	«Окно мнемосхемы»
Продольная активно-емкостная проводимость		
Поперечная активно-емкостная проводимость		
Сборные шины		
Узел КЗ		
Узел соединений		

**Графический редактор базового набора примитивов.** Для создания и редактирования графических образов элементов ЭЭС и структуры их параметров, используемых в языке графического программирования, необходим графический редактор примитивов. Редактор примитивов должен выполнять следующие функции:

- создание и редактирование графических изображений базовых элементов;
- создание и редактирование структуры параметров базовых элементов;
- создание и редактирование базы данных базовых элементов.

Графический редактор примитивов должен удовлетворять следующим требованиям:

- предоставлять базисный набор графических шаблонов (точек, линий, дуг и т.д.), необходимых для создания рисунков любой сложности;
- создавать пользовательские графические шаблоны;
- создавать удобные и наглядные графические изображения базовых элементов из графических шаблонов редактора примитивов и шаблонов, созданных ранее пользователем;

- осуществлять ведение базы данных созданных пользователем графических примитивов с возможностью их сохранения, загрузки и редактирования;

- обеспечивать совместимость базы данных графических примитивов с графической подсистемой ввода исходных данных системы моделирования.

В реализованной версии графического редактора примитивов (рис. 5) в левой части окна располагается таблица, содержащая информацию о редактируемом элементе, а в правой – графическое изображение редактируемого элемента.

**Система управления базой данных параметров электроэнергетического оборудования.** Для обеспечения возможности ввода параметров ЭЗО в соответствии с его техническими данными, хранящимися в электронном справочнике и сформированными в соответствии с материалами справочников на электротехническое оборудование, необходимо наличие системы управления базой данных (СУБД) параметров электроэнергетического оборудования.

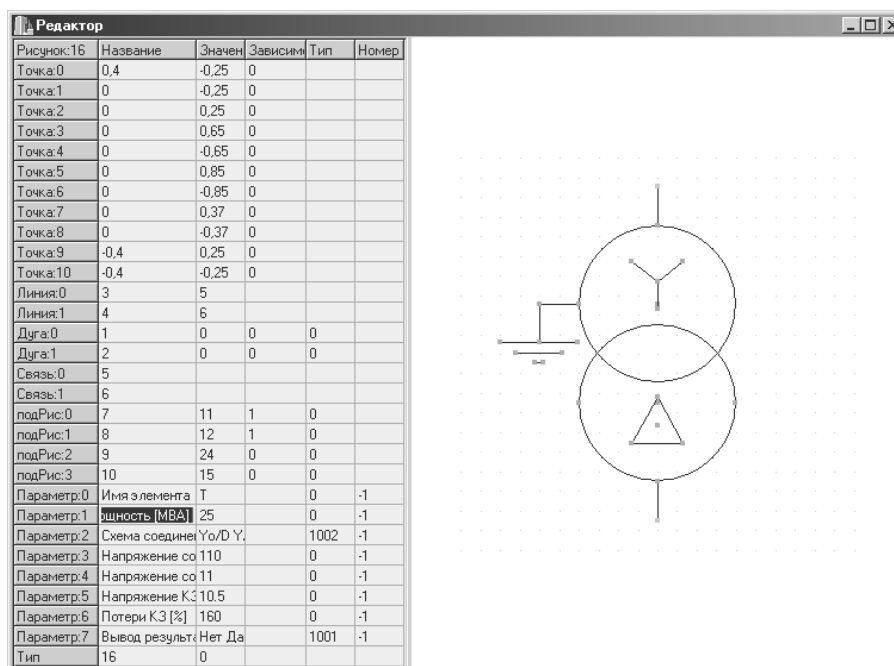


Рис. 5. Реализация редактора примитивов

Рассматриваемая СУБД должна удовлетворять следующим требованиям:

- осуществлять добавление, хранение и редактирование информации о технических параметрах электроэнергетического оборудования;

- представлять каталог электроэнергетического оборудования в соответствии с базисным набором элементов (рис. 3);

- обеспечивать открытость информации (возможность использования хранящихся в базе данных сторонними приложениями и СУБД);

- иметь возможность ограничивать область выбора технических параметров конкретного ЭЭО в соответствии с его типом;

- иметь возможность сортировки по различным техническим параметрам внутри группы справочных данных по конкретному типу оборудования;

- иметь возможность передачи параметров выбранного ЭЭО в систему моделирования.

Учитывая предъявленные требования, СУБД должна обладать следующими характеристиками:

- локальной архитектурой (т.е. и система управления и база данных расположены на одном персональном компьютере);

- иерархическим типом организации хранения информации;

- древовидной формой представления информации;

- отсутствием перекрестных ссылок между элементами дерева.

В случае использования в рассматриваемых целях сторонних СУБД, широко представленных на рынке программного обеспечения, для удовлетворения предъявленных требований возникает необходимость в разработке связующих подпрограмм между СУБД и системой моделирования. Кроме того, затруднительной представляется реализация обратной связи, инициатором которой выступает система моделирования. Принимая во внимание узкую специализацию рассматриваемой СУБД, относительно простую и вместе с тем специфичную организацию хранения данных, разработана оригинальная СУБД (рис. 6).

Устройство	Тип	Сном. кВА	Увлн	Унн	Рх,Вт	Рк,Вт
Последовательные ре- Трансформаторы и ав- Трансформаторы и ав- Трансформаторы мас- Трансформаторы с вь- Трансформаторы суж-	1 ТС3-160/10	160	6	0,23	700	2700
	2 ТС3-250/10	250	6	0,23	1000	3800
	3 ТС3-250/15	250	13,8	0,4	1100	4400
Синхронные генераторы, г- Трансформаторы	4 ТС3-400/10	400	6	0,23	1300	5400
Электрические аппараты Электрические аппараты Электродвигатели пере-	5 ТС3А-400/10-82УХЛ3	400	6	0,23	1300	5400

Рис. 6. Главное окно системы управления базами данных

**Графическая подсистема обработки, анализа и вывода результатов расчета.** При расчете электромагнитных переходных процессов в ЭЭС с использованием системы имитационного моделирования необходима удобная многофункциональная подсистема обработки, вывода и документирования результатов, которая должна обеспечить максимально наглядное представление результатов рас-

чета в форме, понятной для специалистов-электроэнергетиков.

Рассматриваемая подсистема предназначена для решения следующих задач:

- разработка алгоритмов отображения и вывода на печать результатов расчета в виде графических зависимостей электрических величин (токов и напряжений) в функции времени, удобной и понятной для пользователя;

- разработка математического и программного обеспечения формирования векторных диаграмм фазных токов и напряжений промышленной частоты, определения действующих значений, симметричных составляющих электрических величин, выделения гармонических составляющих сигналов;

- разработка алгоритмов организации и ведения базы данных исследуемых электрических величин.

Графическая подсистема должна выполнять следующие функции:

- представление результатов расчета в виде графических зависимостей электрических величин (токов и напряжений) в функции времени;

- формирование и построение векторных диаграмм фазных токов и напряжений промышленной частоты в функции времени;

- расчет действующих значений электрических величин для любого момента времени;

- формирование и графическое представление электрических величин;

- разложение контролируемых сигналов в ряд Фурье с выделением гармонических составляющих и организацию вывода полученных в результате разложения зависимостей на экран;

- организацию базы данных исследуемых электрических величин с сохранением информации в международном формате «COMTRADE»;

- организацию вывода на печать результатов расчета и анализа в виде графиков и векторных диаграмм.

Пример представления результатов вычислительного эксперимента средствами графической подсистемы обработки, анализа и вывода результатов расчета показан на рис. 7.

## Заключение

Сформулированные требования и разработанные принципы построения подсистем графического ввода-вывода системы моделирования динамических режимов функционирования ЭЭС для целей релейной защиты: графической подсистемы ввода исходных данных, графического редактора базового набора примитивов, системы управления базой данных параметров электроэнергетического оборудования и графической подсистемы обработки, анализа и вывода результатов расчета, – нашли отражение в разработанной версии графических подсистем ввода-вывода.

Разработанные графические подсистемы ввода-вывода позволяют пользователю (специалисту-электроэнергетику) конструировать с определенной степенью простоты и наглядности исследуемые схемы ЭЭС и ЭЭО любой сложности, а также проводить анализ полученных результатов в понятных ему терминах и образах.



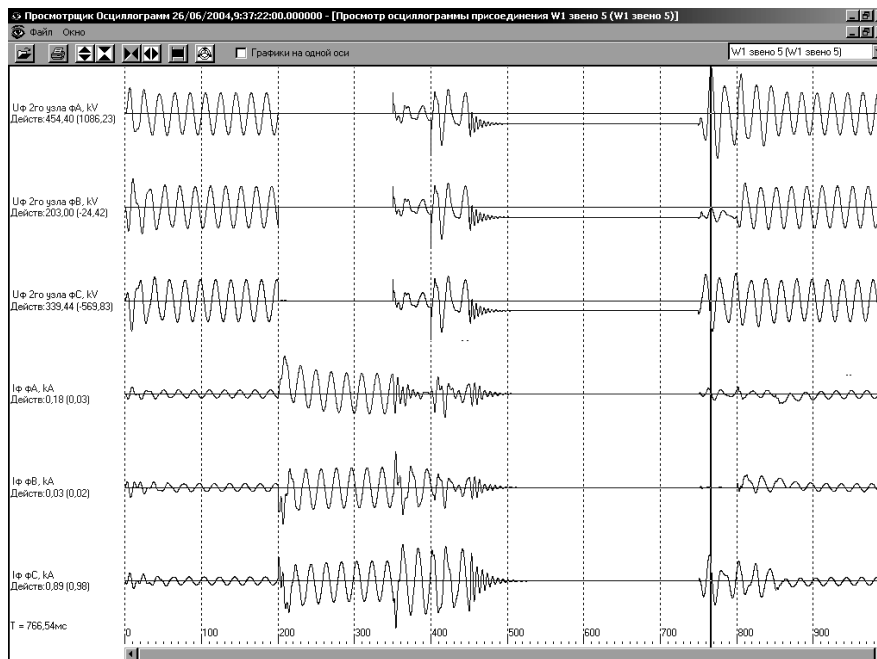


Рис. 7. Пример представления результатов расчета подсистемой графического вывода

#### Список литературы

1. **Кетков Ю.Л.** MATLAB 6.x: программирование численных методов / Ю.Л. Кетков, А.Ю. Кетков, М. Шульц. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004.
2. **Графические системы САПР:** практическое пособие / В.Е. Климов. – 1990.
3. **Электронная лаборатория на IBM PC:** Программа ELECTRONICS WORKBENCH и ее применение / В.И. Карлашук. – М.: СОЛОН-Р, 2001.
4. **Мурзин А.Ю.** Разработка системы имитационного моделирования электроэнергетических объектов и ее приме-

нение для совершенствования защит от замыканий на землю электрических сетей 6–10 кВ: Дис. ... канд. техн. наук. – Иваново: Иван. гос. энерг. ун-т, 1996.

5. **Шуин В.А., Мисриханов М.Ш., Седунов В.Н., Мурзин А.Ю., Фролова О.В.** О подходах к имитационному моделированию электромагнитных переходных процессов в межсистемных электрических сетях. Повышение эффективности работы энергосистем: Тр. ИГЭУ. Вып. 4 / Под ред. В.А. Шуина, М.Ш. Мисриханова. – Иваново, 2001. – С. 81–90.

Шуин Владимир Александрович,  
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина»,  
доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой автоматического управления электроэнергетическими системами,  
телефон (4932) 26-99-04,  
e-mail: shuin@rza.ispu.ru

Мурзин Андрей Юрьевич,  
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина»,  
кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой электрических систем,  
телефон (4932) 26-99-21,  
e-mail: zav\_es@es.ispu.ru

Лифшиц Андрей Семенович,  
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина»,  
инженер кафедры автоматического управления электроэнергетическими системами,  
телефон (4932) 26-99-05,  
e-mail: zav@rza.ispu.ru