

УДК 621.313.322

Заболотный И.П., Павлюков В.А.

Донецкий государственный технический университет, кафедра ЭС

МЕТОД ОПЕРАТИВНОГО ФОРМИРОВАНИЯ МОДЕЛЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ

© Заболотный И.П., Павлюков В.А., 2000

У статті викладені результати обробки методики оперативного формування деталей, які використовуються під час розв'язання задач управління автоматизованими системами, управління окремими об'єктами електроенергетичних систем. У статті наведені результати удосконалення графічного інтерфейсу користувача.

Реализация постоянно растущих требований к управлению объектами электрических систем требует применения высокоэффективных компьютерных технологий для обработки информации. Один из вариантов таких технологий был предложен авторами в [1].

При построении программного обеспечения реализуется концепция трехуровневой архитектуры: первый уровень – информационное обеспечение (уровень данных, охватывающий базы данных и знаний и систему управления ими), второй уровень – прикладное (технологическое) программное обеспечение; третий уровень – это координирующий уровень, реализованный в виде графического интерфейса пользователя (рис.1).



Рис.1. Архитектура программного обеспечения.

Реализация этой концепции даст возможность подключать новые программы без каких-либо специальных знаний о базе данных и знаний о интерфейсе, автоматизировать создание моделей данных прикладных задач.

В этой статье изложены результаты дальнейшей разработки методики оперативного формирования моделей, которые используются при решении задач управления автоматизированными системами управления отдельными объектами электроэнергетических систем. Основой для работы с программным обеспечением является графический интерфейс пользователя. От его реализации зависит как удобство работы с программным обеспечением, так и возможности оперативного решения текущих и перспективных задач эксплуатации. При его совершенствовании было учтено, что

1. Реализация методики оперативного формирования моделей должна обеспечить эффективное использование информационно-логической модели электрической системы

при работе программного обеспечения автоматизированных систем управления в таких режимах:

- информационно-справочной установки, обеспечивающей получение по запросам пользователя разнообразной информации;
- решения задач управления (задачи планирования, оперативного управления, повышения квалификации оперативного персонала);
- экспертной системы диагностики (контроль состояния оборудования и режимов работы, контроль переключений, анализ работы релейной защиты и автоматики).

2. Во всех отмеченных режимах, которые обеспечивают программное обеспечение, пользователь работает с графическими изображениями. К изображениям относятся схемы конфигурации сетей; схемы участков сетей, электрических станций, подстанций, распределительных пунктов и т.д.; схемы заземлений и планы зданий; схемы релейных защит; трассы кабельных линий, поопорные схемы воздушных линий и т.д. При этом детализация графического изображения, например схемы электрической станции или подстанции, зависит от выбранного пользователем режима работы программного обеспечения. Принципиальные схемы используются при работе программного обеспечения в режиме информационно-справочной установки. Графическая информация характеризуется большими объемами, что требует оптимизации ее рассредоточения по отдельным разделам (файлам или слоям). При этом каждый раз для конкретных условий того или иного рабочего места требуется поиск оптимального соотношения между количеством файлов, слоев и их размерами. Последние определяют скорость регенерации чертежей в AutoCad и тем самым определяют скоростные характеристики комплекса в целом и объем используемой памяти.

3. Все технологические задачи привязаны либо к участку сети, определяемому возможными источниками питания (конфигурацией сети и возможными режимами работы), либо к объекту (электрическая станция, подстанция и т.д.). Автоматизация создания модели данных задачи, состоящей из расчетной схемы замещения участка сети и ее параметров, невозможна без решения проблемы деления сети на участки и эквивалентирования тех участков, которые оказывают незначительное влияние на процессы в анализируемом участке электрической сети.

4. Необходимость учета работы устройств релейной защиты и автоматики, различных по сложности моделей элементов электрической системы, состояния элементов при моделировании различных задач управления.

Информационно-логическая модель электрической системы построена в виде диаграммы Бахмана (рис.2) при использовании реляционной модели данных для представления символьной информации и взаимосвязанных многослойных графических изображений. Концептуальная модель электрической системы включает в себя ряд множеств потоков информации в виде схем объектных отношений, которые характеризуют такие объекты как электрические станции, подстанции, трансформаторные пункты, распределительные пункты, воздушные и кабельные линии. Каждый поток информации является разветвляющимся. Потоки информации связаны между собой с помощью схем связных отношений. При этом через отношение “Присоединение” обеспечивается связь с информационными моделями узлов электрической системы, что обеспечивает создание единой информационной модели электрической системы.

Использование объектных и связных отношений, описывающих не только объекты электрической системы и различные связи между ними, но и конструктивные узлы

отдельных объектов, признаки задач и их моделей позволило создать интегрированную информационную модель. Эта модель состоит из графической и символьной баз данных и базы знаний.

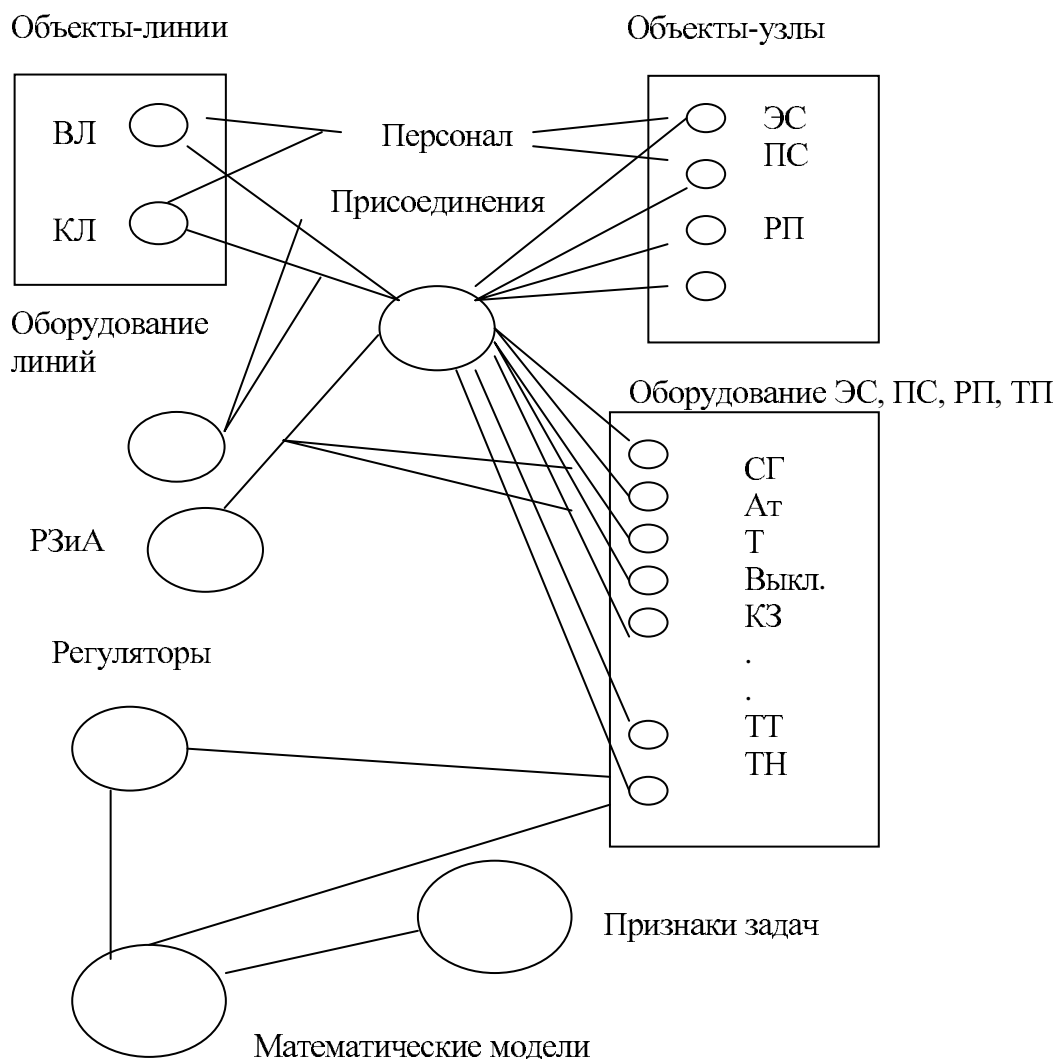


Рис.2. Модель электрической системы в виде диаграммы Бахмана.

Описание устройств релейной защиты и автоматики содержит их перечень, функциональное описание и исходное состояние. К устройствам автоматики относятся регуляторы, пороговые регуляторы, блокировки, защиты и сигнализация.

Описание регулятора содержит контролируемый параметр, исполнительный орган, исходную уставку и пределы изменения положения исполнительного органа.

Математическая модель автоматического регулятора, который используется для стабилизации значения контролируемого параметра p_k за счет изменения положения исполнительного органа, характеризуемого параметром p_l , имеет вид

$$b_1^{t+} = a(\delta_k^t - \delta d) \mid p_l \in M_{2k}, p_k \in M_k,$$

$$\delta_{l_{\min}} < \delta_1^t < \delta_{l_{\max}} \mid q \in MA_k, q = 1, \dots, m,$$

где d – уставка регулятора (δd – относительное значение); δ_{\min} , δ_{\max} – границы изменения в отн. ед. исполнительного органа; a – коэффициент усиления регулятора; M_{2k} – подмножество контролируемых параметров; MA_k – подмножество регуляторов.

Описание порогового автомата содержит контролируемый параметр, пороги срабатывания и исполнительный орган.

Математическая модель пороговых автоматов на включение, которое происходит при достижении контролируемым параметром p_k значения d , имеет вид

$$(p_l \in M_-) \wedge (y_k^t = d) \Rightarrow (b_l^{t+1} = h) \wedge (p_l \in M_+) | q \in MA_{\Gamma+}, q = 1, \dots, m, \\ | p_l \in M_{2\delta}, \\ | p_k \in M_\delta,$$

где h – заранее заданное изменение состояния исполнительного органа; $M_{2\delta}$ – подмножество исполнительных органов блокировок; M_δ – подмножество параметров, при достижении пороговых значений которых работают автоматические блокировки; $MA_{\Gamma+}$ – подмножество пороговых элементов (блокировок) на включение; Y_k^t – значение контролируемого параметра.

Математическая модель пороговых автоматов на отключение

$$(p_l \in M_+) \wedge (y_k^t = d) \Rightarrow (b_l^{t+1} = (\delta_l^t - 1)) \wedge (p_l \in M_-) | q \in MA_{\Gamma-}, q = 1, \dots, m, \\ | p_l \in M_{2\delta}, \\ | p_k \in M_\delta,$$

где $MA_{\Gamma-}$ – подмножество пороговых элементов (блокировок) на отключение.

Математическая модель элемента релейного типа, который находится в состоянии “включено” или “отключено”, такая:

$$b_i^t > d_i \Rightarrow p_i \in M_+ \quad | p_i \in M_p, \\ \delta_i^{t-1} + b_i^t < -1 \Rightarrow p_i \in M_- |,$$

где d_i – значение порога включения; M_p – подмножество параметров релейного типа; M_+ – подмножество включенных элементов; M_- – подмножество отключенных элементов; δ_i – относительное отклонение параметров; b_i^t – влияющий фактор (возмущение) на параметры элемента, приведенный к относительным отклонениям.

Математическая модель для анализа переходных процессов и управления ими включает в себя модели элементов и их систем регулирования. Используется две модели генераторов электрических станций: полные уравнения Парка-Горева и многоконтурные схемы замещения и модель оптимальной сложности, позволяющая адекватно отражать физические процессы в роторе генератора [2]. Режим работы пассивной сети описывается системой алгебраических уравнений, полученных с помощью метода узловых напряжений. Расчет установившегося режима выполняется путем решения этой же системы алгебраических уравнений, в которой генераторы учитываются активными и реактивными мощностями.

В графический интерфейс пользователя добавлены новые компоненты и расширены возможности существующих компонент.

Графический редактор работает с библиотеками графических образов элементов сети. Для графических образов элементов сети введен ряд параметров, позволяющих повысить эффективность формирования моделей данных задач управления.

Параметр состояния отражает состояние элемента с помощью модификации графического образа на экране дисплея. Форма, цвет, мигание фигур зависят от актуального состояния элемента. Фигура на экране дисплея определяется из ряда состояний по таблице решений. Значения параметра состояния определяются или сигналами, переданными дистанционно, или введенными вручную, или полученными расчетным путем. Типовые значения параметра состояния для выключателя: включен, отключен, отключен аварийно, неисправен, отказ отключения.

Параметр связи позволяет для сложного графического изображения выделять цветом или типом линий те графические образы, для которых установлена связь с другими разделами баз данных.

Параметр математической модели элемента даст возможность устанавливать связь между графическим образом и математическими моделями элемента и режима.

Параметр функции позволяет установить связь между формой графического образа и режимом работы программного обеспечения автоматизированной системы управления. Обеспечивается оптимальная степень насыщенности графического изображения. На рис.3 показаны примеры изображений элементов сети при работе программного обеспечения в режиме информационно-справочной установки (а) и в режиме решения технологических задач(б).

Для графического изображения предлагается ввести параметр зоны увеличения, с помощью которого в процессе увеличения при определенном масштабе индицируемый уровень автоматически изменяется на следующий; параметр масок, который содержит значения параметров элементов сети; цвета графических образов. Параметр масок формируется на основе меню решаемых задач и меню математических моделей некоторых элементов. Цвет графических образов элементов сети определяется такими факторами: принадлежностью к токоведущим участкам сети (фрагменты разделенной сети окрашены в разные цвета); принадлежностью к сетевой группе одинакового уровня напряжения; рабочим состоянием: под напряжением, без напряжения, заземлено. Функция окрашивания сети активизируется автоматически при неисправности выключателя, после выполнения коммутационных операций, которые вызывают изменение топологии сети.

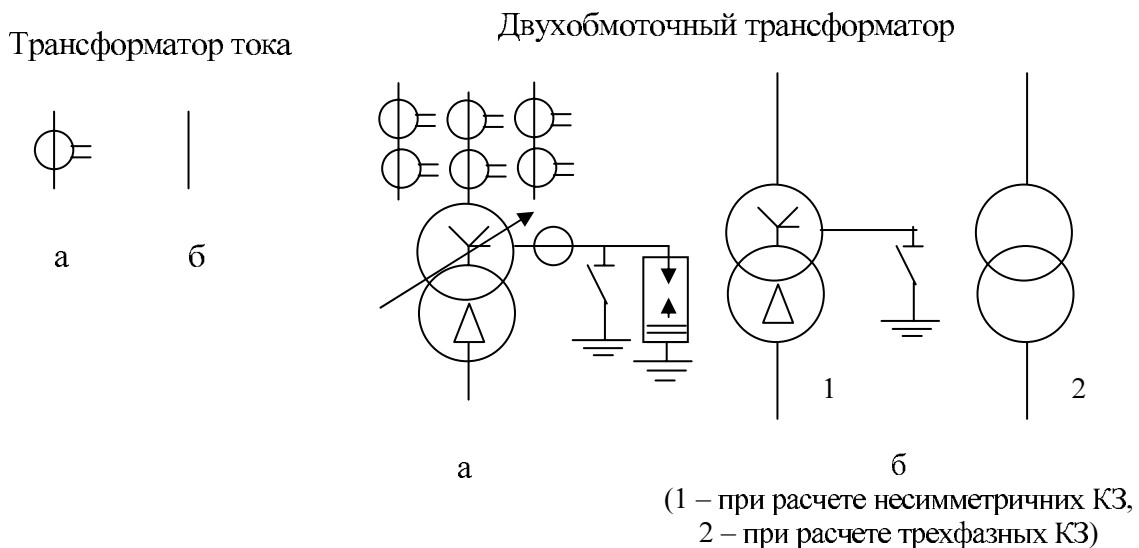


Рис.3. Примеры из библиотеки графических образов элементов сети.

Редактор формирования режимов работы электрической сети, электрической станции, подстанции реализован с помощью приемов динамической графики путем переключения всех представленных на схеме коммутационных аппаратов. Для фиксации того или иного режима работы сети создается список состояния коммутационных аппаратов для данного режима. Набор описанных выше списков даст возможность накапливать наиболее характерные режимы работы сети для их последующего использования при выполнении расчетов и анализа этих режимов. Кроме того в указанный набор может быть включен список текущего состояния коммутационных аппаратов, если информация о их положении будет поступать из устройств телемеханики.

Конвертор выделения участков сети обеспечивает для задач анализа режимов сети разделение сети на множество участков. Он обеспечивает для выбранного узла на основе анализа списка состояния выключателей формирование электрической схемы участка в выбранном режиме работы сети с автоматическим подавлением (гашением) участков, которые не подсоединены к выделенному участку сети.

Конвертор эквивалентирования выполняет свертку схемы. Математическая модель конвертора построена на основе теории множеств. В зависимости от признака задачи может работать в подрежимах:

1. Эквивалентировывает схемы, расположенные в смежных по иерархии уровнях (слоях) по отношению к рассматриваемому i -му (слой i – детальное представление, а слой $i+1$ и $i-1$ – эквивалентирование).
2. Эквивалентировывает часть схемы слоя уровня графического изображения.

Конвертор “Схема” предназначен для автоматического создания расчетной схемы замещения на основе графического изображения и связанных с ним данных оборудования и режимов. Работа конвертора “Схема” основана на распознавании графических образов с целью установления связей между ними. Анализируются пересечения координат точек вставок и привязок элементов, выполненных в виде блоков AutoCAD, множества линий (сборных шин, опиловок, воздушных или кабельных линий). Конвертор создает описание схемы в виде матрицы списков связей блоков.

Моделирование установившихся и переходных режимов электрических систем основывается на многократном решении систем линейных алгебраических уравнений. В настоящее время общепризнанным способом повышения быстродействия процедур, используемых при решении систем алгебраических уравнений, является учет и использование свойств слабой заполненности матриц при векторе неизвестных. Предложен новый способ кодирования ненулевых и новых ненулевых элементов. Способ основан на использовании списков AutoCAD, позволяющих включать разнородную информацию и создавать сложную структуру информации.

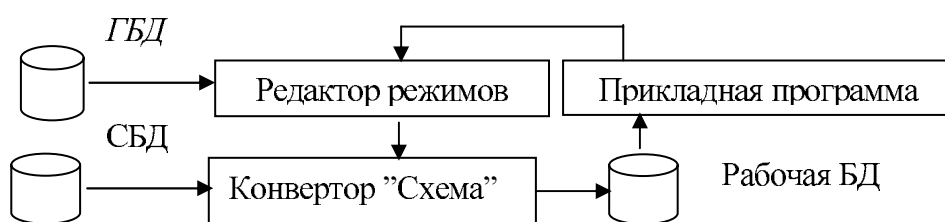


Рис.4. Схема подготовки модели данных.

На рис.4 показана схема подготовки модели данных задачи с составлением матрицы списков. На основе информации БД и с помощью редактора режимов формируется принципиальная схема режима. Эта схема обрабатывается конвертором “Схема”, который создает матрицу списков. При необходимости используется и конвертор “Эквивалентирование”. Режим подготовки модели данных задачи определяет прикладная программа.

Таким образом, обеспечивается использование модульной архитектуры прикладного программного обеспечения. Графический интерфейс содержит универсальные подпрограммами обмена с базой данных и обеспечивает автоматизацию ведения информации.

1. Заболотный И.П., Павлюков В.А. Применение компьютерных технологий для управления электрическими системами // *Технічна електродинаміка: Спец. вип. К.*, 1998. С.90–99. 2. Заболотный И.П., Дия Ибрагим. Разработка минимальной сложности математической модели генератора для анализа длительных переходных процессов в энергосистемах // *Тр. Донецкого государственного техн. ун-та. Сер. Электротехника и энергетика.* 1998. Вып.2. С.181–188.

УДК 621.311.1.019.3

Кінаш Б.М., Топольницький М.В.
ДУ “Львівська політехніка”, кафедра ЕМС

МОДЕЛЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ ПОКРИВАННЯ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЄЮ ЗАДАНОГО ГРАФІКА НАВАНТАЖЕННЯ

© Кінаш Б.М., Топольницький М.В., 2000

Розроблено методику визначення усередненого дефіциту потужності електростанції при її роботі на заданий графік навантаження. Враховано особливості зміни навантаження, надійність основного устаткування та вплив схеми видачі потужності.

Кожна електростанція (ЕС) електроенергетичної системи (ЕЕС) повинна забезпечувати надійне покриття заданого їй графіка навантаження. Основний показник надійності покриття графіка – це абсолютний P_d або відносний P_d^* (по відношенню до максимуму навантаження P_d / P_{Hmax}) дефіцит потужності ЕС, усереднений на проміжку часу тривалості графіка. Для ЕС він показує реальність виконання плану виробництва електроенергії, а для ЕЕС – небезпеку порушення балансу потужності системи. Станції з високим значенням відносного дефіциту потужності підвищують імовірність виникання та розвитку системних аварій.