

## ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ТЭС

Заболотный И.П., Диа Ибрагим

Донецкий государственный технический университет

r504@scita.dn.ua

The information model of an electrical part of electrical station represents the integrated set of the symbolical and graphic information and is uniform for the applied software. The technique of automatic construction of mathematical models given for the applied programs being used at management of an electrical part of thermal electrical stations is developed.

Одной из проблем создания автоматизированной системы оперативного управления на основе современных информационных технологий является разработка методов автоматического формирования моделей данных для прикладных программ. Автоматизированная система оперативного управления должна работать на единой информационной основе. Поэтому динамическая информационная модель электрической станции должна быть пригодна для использования прикладными программами для решения технологических задач, для использования информационно-справочными системами, для использования экспертными системами диагностики.

В настоящей работе предлагается использование информационно-логической модели электрической станции в виде диаграммы Бахмана (рис. 1).

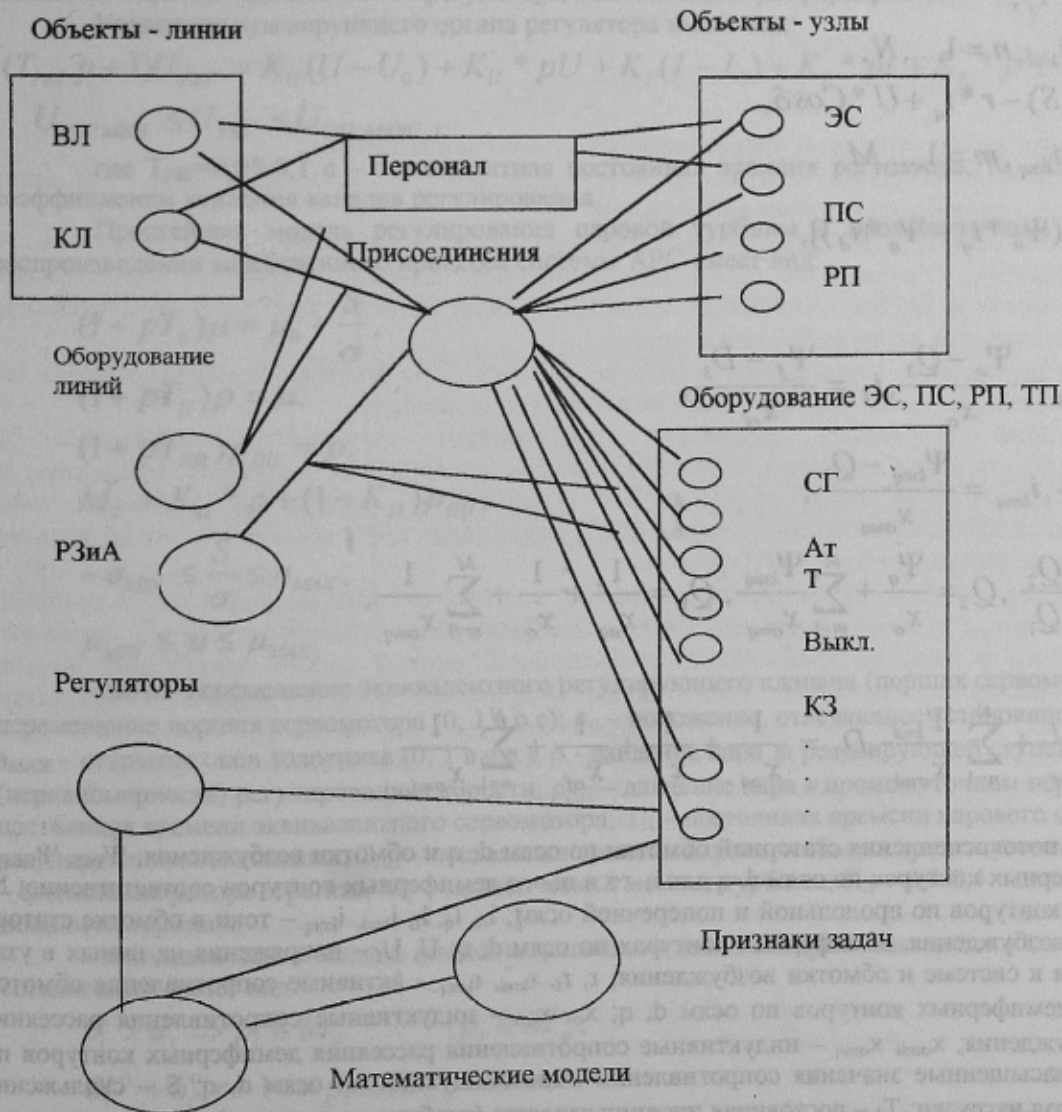


Рисунок 1 – Модель электрической системы в виде диаграммы Бахмана

При этом через отношение «Присоединение» обеспечивается связь с информационными моделями остальных узлов электрической системы, что обеспечивает создание единой информационной модели электрической системы.

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.

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

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 символической баз данных и базы знаний. Тем самым обеспечено использование информационной модели и созданной в работе экспертной системы диагностики состояний генераторов и силовых трансформаторов и заложены возможности для диагностики работы устройств релейной защиты и автоматики и регулирующих устройств.

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

$$p\Psi_d = \Psi_q(1+S) - r * i_d + U * \text{Sin}\delta,$$

$$p\Psi_f = U_f - r_f * i_f,$$

$$p\Psi_{knd} = -r_{knd} * i_{knd}, n = 1, \dots, N,$$

$$p\Psi_q = -\Psi_d(1+S) - r * i_q + U * \text{Cos}\delta,$$

$$p\Psi_{kmq} = -r_{kmq} * i_{kmq}, m = 1, \dots, M,$$

$$pS = \frac{1}{T_J} [M_T - (\Psi_d * i_q - \Psi_q * i_d)],$$

$$p\delta = S,$$

$$i_d = \frac{\Psi_d - D_3}{x_\sigma}, i_q = \frac{\Psi_q - Q_3}{x_\sigma}, i_f = \frac{\Psi_f - D_3}{x_{of}},$$

$$i_{knd} = \frac{\Psi_{knd} - D_3}{x_{\sigma nd}}, i_{kmq} = \frac{\Psi_{kmq} - Q_3}{x_{\sigma mq}},$$

$$D_3 = \frac{D_2}{D_1}, Q_3 = \frac{Q_2}{Q_1}, Q_2 = \frac{\Psi_q}{x_\sigma} + \sum_{m=1}^M \frac{\Psi_{kmq}}{x_{\sigma mq}}, Q_1 = \frac{1}{x_{aq}} + \frac{1}{x_\sigma} + \sum_{m=1}^M \frac{1}{x_{\sigma mq}},$$

$$D_2 = \frac{\Psi_d}{x_\sigma} + \frac{\Psi_f}{x_{of}} + \sum_{n=1}^N \frac{\Psi_{knd}}{x_{\sigma nd}}, D_1 = \frac{1}{x_{ad}} + \frac{1}{x_\sigma} + \frac{1}{x_{of}} + \sum_{n=1}^N \frac{1}{x_{\sigma nd}},$$

где  $\Psi_d, \Psi_q, \Psi_f$  – потокосцепления статорной обмотки по осям d, q и обмотки возбуждения;  $\Psi_{knd}, \Psi_{kmq}$  – потокосцепления демпферных контуров по осям d, q для n-го и m-го демпферных контуров соответственно; N, M – число демпферных контуров по продольной и поперечной осям;  $i_d, i_q, i_f, i_{knd}, i_{kmq}$  – токи в обмотке статора по осям d и q, обмотке возбуждения, демпферных контурах по осям d, q; U,  $U_f$  – напряжения на шинах в узле подключения генератора к системе и обмотки возбуждения;  $r, r_f, r_{knd}, r_{kmq}$  – активные сопротивления обмоток статора, возбуждения, демпферных контуров по осям d, q;  $x_\sigma, x_{\sigma f}$  – индуктивные сопротивления рассеяния обмоток статора и возбуждения;  $x_{\sigma nd}, x_{\sigma mq}$  – индуктивные сопротивления рассеяния демпферных контуров по осям d, q;  $x_{ad}, x_{aq}$  – ненасыщенные значения сопротивлений взаимной индукции по осям d, q; S – скольжение ротора генератора;  $\delta$  – угол нагрузки;  $T_J$  – постоянная инерции агрегата (турбина и генератор);  $M_T$  – вращающий

момент турбины;  $p = \frac{d}{dt}$ .

При исследовании режимов с разомкнутой обмоткой возбуждения напряжение, наводимое на кольцах ротора в аномальных режимах, определяется по выражению

$$U_f = x_{ad} * p(i_d + \sum_{n=1}^N i_{knd});$$

- модель оптимальной сложности, позволяющая адекватно отражать физические процессы в роторе генератора [1].

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.

Математическая модель системы независимого возбуждения генераторов электромашинного и полупроводникового типов имеет вид [2]:

$$(T_B p + 1)E_r = E_{r0} + U_{REG} + U_{ФОРС},$$

$$E_{rmin} \leq E_r \leq E_{rmax},$$

$$E_{rmax}^* = E_{qmax},$$

где  $T_B$  - постоянная времени системы возбуждения, равная 0,2-0,3 с для электромашинных систем и 0,02-0,05 с - для полупроводниковых;  $E_r$  - напряжение системы возбуждения;  $E_{rmin}$ ,  $E_{rmax}$  - верхнее и нижнее ограничения, зависящие от технических возможностей системы;  $E_{rmax}^* = E_{qmax}$  - вводится в полупроводниковых системах, если в переходном процессе достигается максимальное значение ЭДС. Ограничение снимается после снижения ЭДС или под действием регулятора, вызывающего расфорсировку.

Уравнение суммирующего органа регулятора имеет вид:

$$(T_{REG} p + 1)U_{REG} = K_U(U - U_0) + K'_U * pU + K_I(I - I_0) + K'_I * pI + K''_I * p^2I + K'_\delta * p\delta + K''_\delta * p^2\delta,$$

$$U_{REGMIN} \leq U_{REG} \leq U_{REGMAX},$$

где  $T_{REG}$  = 0,05-0,1 с - эквивалентная постоянная времени регулятора;  $K_U$ ,  $K'_U$ ,  $K_I$ ,  $K'_I$ ,  $K''_I$ ,  $K'_\delta$ ,  $K''_\delta$  - коэффициенты усиления каналов регулирования.

Простейшая модель регулирования паровой турбины с промежуточным пароперегревателем при воспроизведении качественного процесса системы АРС имеет вид:

$$(1 + pT_s)\mu = \mu_0 - \frac{S}{\sigma},$$

$$(1 + pT_\Pi)\rho = \mu,$$

$$(1 + pT_{III})\rho_{III} = \rho,$$

$$M_T = K_\Pi * \rho + (1 - K_\Pi)\rho_{III},$$

$$-a_{MIN} \leq \frac{S}{\sigma} \leq a_{MAX},$$

$$\mu_{MIN} \leq \mu \leq \mu_{MAX},$$

где  $\mu$  - перемещение эквивалентного регулирующего клапана (поршня сервомотора);  $\mu_{MIN}$ ,  $\mu_{MAX}$  - перемещение поршня сервомотора (0, 1 в о.е.);  $\mu_0$  - положение, отвечающее установившемуся режиму;  $a_{MIN}$ ,  $a_{MAX}$  - открытие окон золотника (0, 1 в о.е.);  $\rho$  - давление пара за регулирующей ступенью турбины;  $\sigma$  - статизм (неравномерность) регулирования скорости;  $\rho_{III}$  - давление пара в промежуточном перегревателе;  $T_s$  - постоянная времени эквивалентного сервомотора;  $T_\Pi$  - постоянная времени парового объема за регулирующими клапанами;  $T_{III}$  - постоянная времени парового объема промежуточного пароперегревателя;  $S$  - скольжение ротора агрегата;  $M_T$  - механический момент турбины;  $K_\Pi = 0,3-0,4$  - доля мощности ЧВД в общей мощности турбины.

Математическая модель элемента релейного типа, который находится в состоянии «включено» или «отключено» имеет вид:

$$b'_i > d_i \Rightarrow p_i \in M_+, \quad |p_i \in M_p,$$

$$\delta_i^{t-1} + b'_i < -1 \Rightarrow p_i \in M_-$$

где  $d_i$  - значение порога включения;  $M_p$  - подмножество параметров релейного типа;  $M_+$  - подмножество включенных элементов;  $M_-$  - подмножество отключенных элементов;  $\delta_i$  - относительное отклонение параметров;  $b'_i$  - влияющий фактор (возмущение) на параметры элемента, приведенный к относительным отклонениям.

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:

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

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

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

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

$$(p_l \in M_-) \wedge (y_k^t = d) \Rightarrow (b_i^{t+1} = h) \wedge (p_l \in M_+) \mid q \in MA_{\Pi+}, q = 1, \dots, m,$$

$$\mid p_l \in M_{2\delta},$$

$$\mid p_k \in M_{\delta},$$

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

Математическая модель пороговых автоматов на отключение имеет вид:

$$(p_l \in M_+) \wedge (y_k^t = d) \Rightarrow (b_i^{t+1} = (\delta_l^t - 1)) \wedge (p_l \in M_-) \mid q \in MA_{\Pi-}, q = 1, \dots, m,$$

$$\mid p_l \in M_{2\delta},$$

$$\mid p_k \in M_{\delta},$$

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

База данных состоит из графической и символьной частей (рис. 2). Символьная часть базы данных представляет собой два разветвляющихся потока информации.

Отношения символьной базы данных связываются через связное отношение «Присоединения». Это отношение содержит атрибут «Уникальный номер присоединения», который образуется автоматически. Аналогичные ключи имеются в других отношениях символьной базы данных. Для различных отношений символьной базы данных меняется длина поля-ключа записи.

Все элементы графического изображения в режиме ведения базы данных связываются через поле «Метка AutoCAD» с соответствующими отношениями символьной базы данных.

В [3] приведены результаты разработки графического интерфейса пользователя для автоматизированного рабочего места инженера электрика. Работа с интерфейсом позволила определить, что существующий конвертор «Схема» имеет существенные ограничения: изображение ошиновки только ортогонально; отсутствие графических образов нагрузки, ЛЭП; упрощенная привязка образов, что не позволяет создавать направленный граф сети с учетом ЛЭП, нагрузок.

В данной работе предлагается графический интерфейс, который состоит из графического редактора, редактора режимов, конвертора «Схема», конвертора «Эквивалентирование», конвертора связи с символьной БД и вывода информации в окна на графическое изображение. В данной работе реализовано создание многослойного многоуровневого изображения с единой привязкой объектов. В случае размещения фрагментов чертежа в отдельных слоях последние могут быть включены или отключены, индицируя при этом на экране монитора тот или иной участок общей схемы. Применяя систему взаимосвязанных рисунков имеется возможность не только разместить в них фрагменты одной и той же схемы, но и выполнить присоединение других схем, (планов, технологических схем и т.д.) к любому графическому элементу исходной схемы. Таким образом могут быть созданы кортеджи рисунков в соответствии с иерархией размещаемой в них графической информации.

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

1. Эквивалентировывает схемы, расположенные в смежных по иерархии уровнях (слоях) по отношению к рассматриваемому ((Слой  $i$  – эквивалентирование)(Слой  $i+1$  – детальное представление)(Слой  $i+2$  – эквивалентирование)). Таким образом создается упрощение математической модели решаемой задачи.

2. Эквивалентрирует часть схемы слоя уровня графического изображения. Та часть схемы, которая представляется в расчетной модели детально выделяется рамкой.

В библиотеку графических образов введены ЛЭП, нагрузки. Работа конвертора «Схема» основана на распознавании образов с целью установления связей между ними. Анализируются пересечения координат точек

вставок и привязок элементов, выполненных в виде блоков AutoCAD, множества линий (ошиновка, ВЛ, КЛ), сборных шин.

Конвертор создает описание схемы в виде матрицы списков связей блоков. Такая модель расчетной схемы замещения большого размера намного компактнее и эффективнее по сравнению с моделями в виде матриц соединений. На рис. 3 приведена схема подготовки модели 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 подпрограммы обмена с базой данных и обеспечивает автоматизацию ведения информации независимо от функционального программного обеспечения. Индивидуальные программы могут добавляться или модернизироваться.

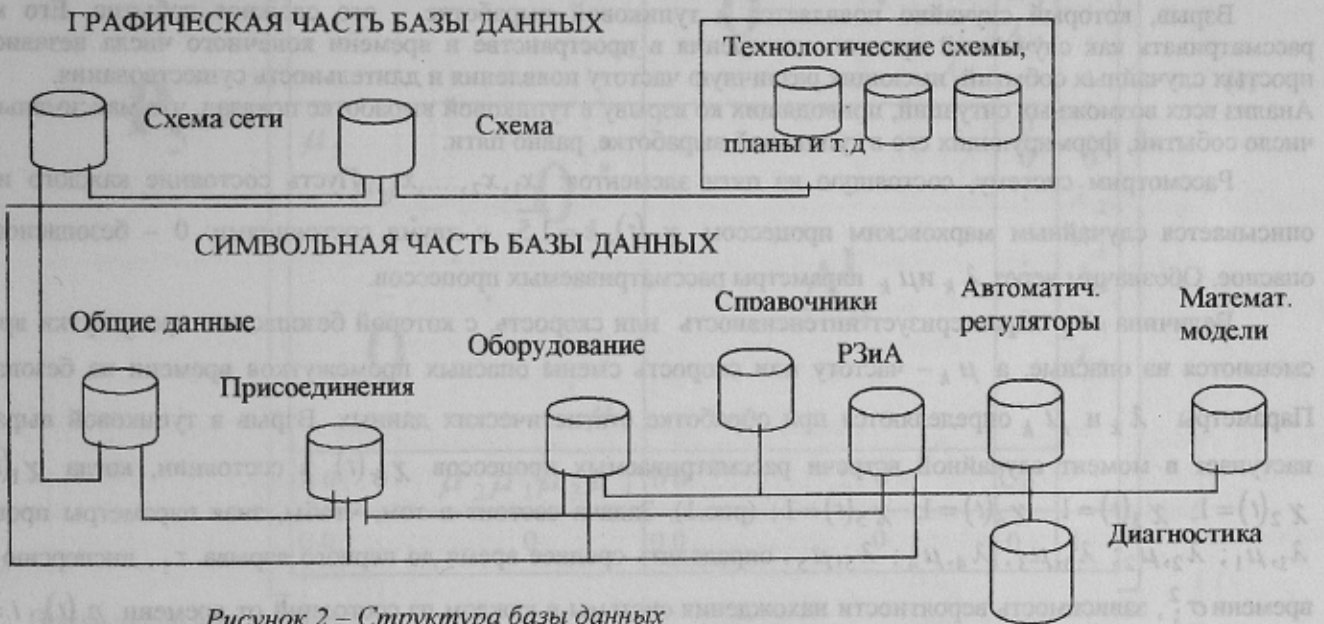


Рисунок 2 – Структура базы данных

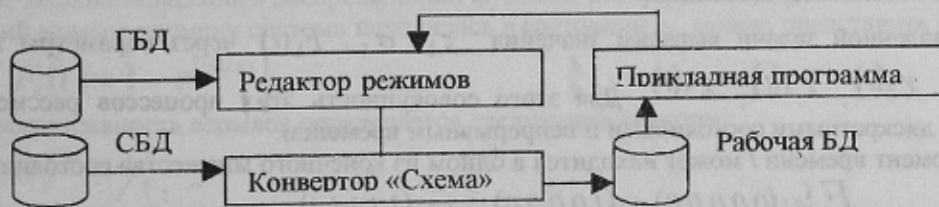


Рисунок 3 – Схема подготовки модели данных

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Заболотный И.П., Диа Ибрагим. Разработка минимальной сложности математической модели генератора для анализа длительных переходных процессов в энергосистемах. – Труды Донецкого государственного технического университета. Серия: электротехника и энергетика, выпуск 2, Донецк: ДонГТУ, 1998. – с. 181-188.
2. Применение цифровых вычислительных машин в электроэнергетике./О.В. Щербачев, А.Н. Зейлигер, К.П. Кадомская и др. – Л.: Энергия, 1980. – 240 с.
3. Заболотный И.П., Ларин А.М., Павлюков В.А. Разработка графического интерфейса автоматизированного места инженера-электрика Изв. Вузов Электромеханика 1-2, 1997.