

РАЗВИТИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ И СОЗДАНИЕ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ЛОКАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Заболотный И. П.

Донецкий национальный технический университет, электротехнический факультет

E-mail ivp@elf.dgtu.donetsk.ua

Abstract

Zabolotniy I.P. Development of fundamental theory and making of consulting models for conditions and electric's of local plants of an electrical system. On the basis of the analysis of present consulting models are extended both are advanced and the new principles of making of consulting models for the analysis of conditions and state of an electric of local plants of electrical systems are offered at build-up of a knowledge base on so-called "surface" and "deep" knowledge. The data's on practical embodying are reduced

Для управления локальными объектами электрических систем уже недостаточно классических методов. С 1985 г. в международном масштабе начаты интенсивные исследования по привлечению к решению всего комплекса проблем экспертных систем.

В настоящее время усилия по созданию экспертных систем распределены следующим образом: диагностирование повреждений электрооборудования линий электропередач, подстанций, электрических станций; интерпретация аварийной телеинформации, оперативное управление режимами работы: оценка состояния и идентификация режима, регулирование напряжения и реактивной мощности, контроль оперативных переключений, восстановление энергоснабжения погашенных районов; планирование; обучение и повышение квалификации персонала, что отражено в [1-11] и ряде других работ отечественных и зарубежных ученых.

Проведенный анализ существующих электроэнергетических экспертных систем позволяет выявить проблемы, среди которых в первую очередь следует отметить:

- позадачный подход построения информационной модели (баз данных и знаний) и математической модели локального объекта или элемента электрической системы;
- направленность на раздельное решение таких типов задач, как интерпретация, диагностика, мониторинг, прогнозирование, проектирование, планирование;
- использование при формировании баз знаний неструктурированных знаний или недостаточная их структуризация;
- малая степень интеграции различных способов представления знаний и возможных форм знаний;
- надстройка экспертных систем над прикладным программным обеспечением и наоборот.

Для решения указанных проблем необходимо развитие теоретических основ построения экспертных систем с учетом интеграции в автоматизированную систему управления локальными объектами электрических систем. В настоящей статье излагаются результаты этой работы. Концепция построения инструментальной экспертной системы включает в себя обобщение и развитие существующих и использование новых принципов:

1. Декомпозиция локального объекта (элемента) на совокупности множеств по различным условиям на этапе его описания.

Учитывая, что локальные объекты электрической системы состоят из относительно высоконадежных элементов, то вероятность отказа более чем трех элементов можно считать

незначительной, поэтому при разработке экспертной системы можно использовать принцип декомпозиции.

Декомпозиция предусматривает на начальном этапе анализ локального объекта (элемента), что является трудоемким процессом. Следует учесть, что вероятность его повторного проведения мала, а результаты позволяют упростить процесс создания экспертной системы. При проведении декомпозиции следует учитывать следующее:

- конструкцию элементов локального объекта, типы и расположение датчиков, устройств регулирования и защиты;
- описание структуры и физических явлений в подсистемах и отдельных узлах, в первую очередь тех, которые ненаблюдаемы;
- влияние режимов работы локального объекта (элемента) на возможные ситуации в пространстве измеряемых и полученных с помощью математического моделирования диагностических параметров.

В результате декомпозиции имеем пересекающиеся множества M_1, M_2, \dots, M_n . Декомпозиция позволяет построить причинно-следственные зависимости, учитывающие пересечения подмножеств и вероятностную оценку значимости возможных ситуаций, описывающих пространство состояний при той или иной декомпозиции. Ситуация описывается в виде деревьев. Вершины деревьев части ситуаций связаны с датчиками контроля реального состояния объекта.

Множество ситуаций представлены в виде графа подчиненности ситуаций. В этом случае экспертная система порождает определенную последовательность локальных задач, реализующих глобальную задачу системы. При определенном изменении условий функционирования объекта происходит изменение степени значимости, приоритета отдельных локальных задач при формировании решения глобальной задачи. Изменение степени значимости, приоритетов отдельных локальных задач порождает изменение очередности, порядка их решения в процессе решения глобальной задачи. Локальные задачи, входящие в состав указанных систем, должны предполагать возможность их решения в различном порядке. В качестве модели таких задач возможен функционал, разрешимый относительно любого подмножества своих аргументов [12]. Для каждого подмножества локальной задачи $\Lambda \subset X$ существует такая функция f_Λ , которая отображает подмножество Λ на его дополнение $X_\Lambda = X \setminus \Lambda$ во множестве X . Сделанное предположение означает, что каждое подмножество Λ отображается функцией f_Λ на подмножество всех оставшихся элементов X_Λ из множества X относительно выбранного подмножества Λ . Формально указанное условие имеет вид [12]:

$$(\forall \Lambda \subset X)(\exists f_\Lambda (\Lambda) = X_\Lambda) \tag{1}$$

При таком подходе семейство всех подмножеств множества X $\{\Lambda: \forall \Lambda \subset X\}$, соответствует семейству отображающих функций $\{f_\Lambda\}: \Lambda \leftrightarrow f_\Lambda$. Для всех $\forall \Lambda \subset X$ соответствующая функция f_Λ в условии (1) определена своей моделью (математической, логической) с определенным набором данных. Если предположить, что элементы какого-либо подмножества $\Lambda \subset X$ является известными величинами, которые конкретизированы решениями предыдущих по сети локальных задач, то согласно (1) можно вычислить значения элементов соответствующего дополнения X_Λ .

Универсальность локальной задачи обусловлена тем, что согласно (1) указанная возможность имеет место для $\forall \Lambda \subset X$. В качестве примера сети ситуаций на рис. 1 представлен процесс диагностики нагрева генератора в установившемся режиме (закрашены узлы сети, соответствующие тем ситуациям, по которым имеются сработавшие датчики в конкретном состоянии объекта).

На рис. 1 отображен граф подчиненности ситуаций, в котором имеется информация для определения стратегии поиска в базе знаний.

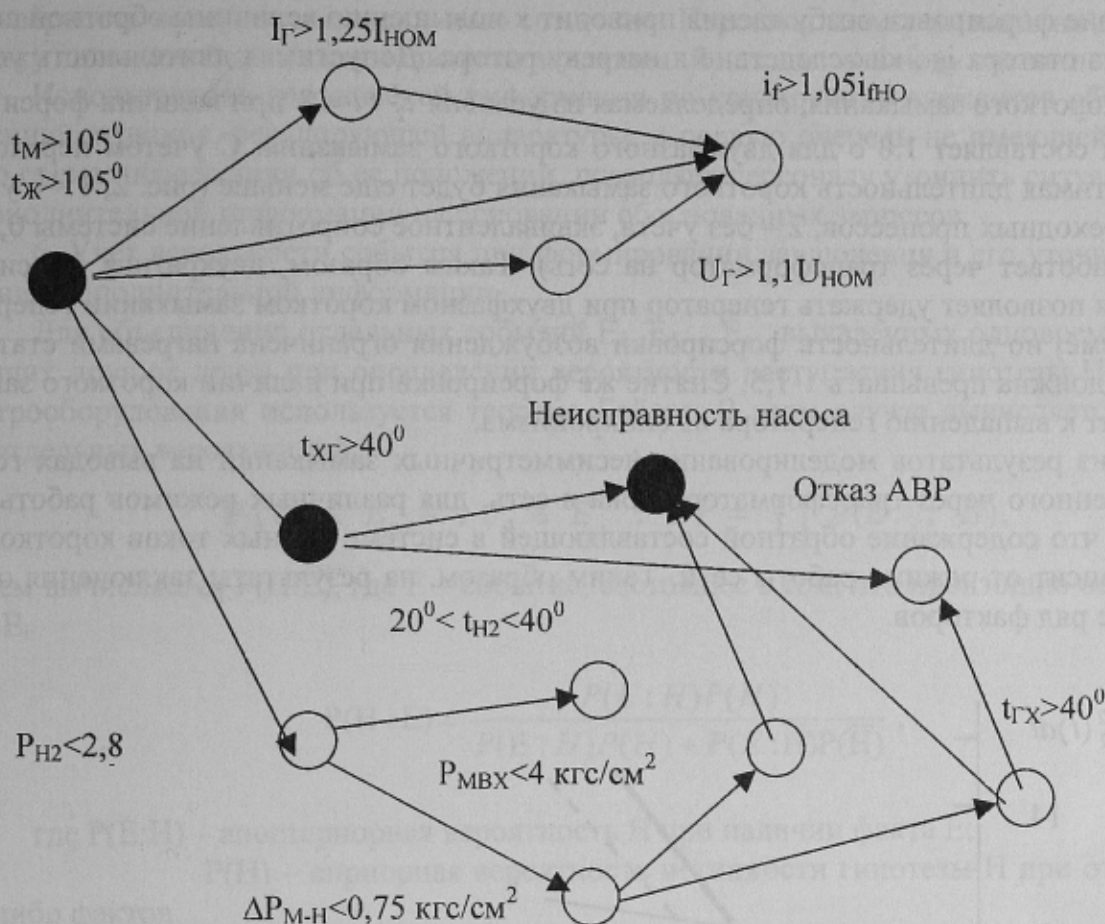


Рисунок 1 – Возможный граф ситуаций нагрева генератора в установившемся режиме работы

Таким образом, декомпозиция обеспечивает структурирование области знаний, позволяющее сократить область поиска на начальном этапе, предоставляет возможность обоснованного выбора начала поиска, обеспечивает связь в процессе поиска причины между отдельными множествами возможных ситуаций.

2. Использование графических представлений локального объекта с заложенными механизмами для автоматизации выделения подобласти знаний, необходимой для решения конкретной технологической задачи, в том числе и для анализа допустимости согласно различным нормативным документам режимов по результатам моделирования [13-15].

Использование механизма ссылок с графическими изображениями, обобщенного описания моделей релейной защиты и автоматики повышают эффективность решение задачи интерпретации.

3. Использование в базе знаний "поверхностных" и "глубоких" знаний.

В «поверхностных» знаниях используются эмпирические правила причинно-следственных связей, данные статистики, эвристические оценки. Основу «глубоких» знаний

составляют описания локального объекта: его структуры, состояния отдельных компонентов оборудования, заданных целевых функциях, физических процессов, связывающих между собой динамические переменные. Динамическая модель включает в себя: математические модели элементов и режимов, модели различных аварийных ситуаций и их проявлений с правилами распознавания.

Например, использование математического моделирования несимметричных коротких замыканий на выводах генератора мощностью 800 МВт позволило получить информацию, используемую для контроля нагрева ротора и статора при различных режимах работы сети. Действие форсировки возбуждения приводит к повышению величины обратной составляющей тока статора i_2 , как следствие к нагреву ротора. Допустимая длительность установившегося короткого замыкания, определяемая из условия $i_2^2 * t = 8$ при наличии форсировки снижается и составляет 1.8 с для двухфазного короткого замыкания. С учетом переходных токов допустимая длительность короткого замыкания будет еще меньше (рис. 2, 1 – с учетом влияния переходных процессов, 2 – без учета, эквивалентное сопротивление системы 0,3 о.е., генератор работает через трансформатор на сеть). Таким образом, двукратная форсировка возбуждения позволяет удержать генератор при двухфазном коротком замыкании генератора в синхронизме, но длительность форсировки возбуждения ограничена нагревами статора и ротора и не должна превышать 1-1,5. Снятие же форсировки при наличии короткого замыкания приводит к выпадению генератора из синхронизма.

Анализ результатов моделирование несимметричных замыканий на выводах генератора, включенного через трансформатор блока в сеть, для различных режимов работы сети показывает, что содержание обратной составляющей в системе фазных токов короткого замыкания зависит от режима работы сети. Таким образом, на результаты заключения оказывает влияние ряд факторов.

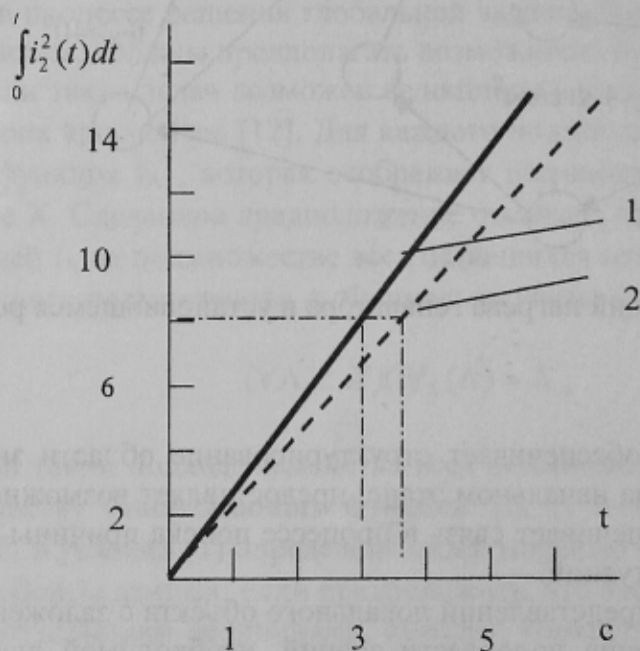


Рисунок 2 – Зависимость значений теплового импульса во времени

Эта информация полезна также для настройки и анализа работы резервных защит генератора

4. Обеспечение своевременной, быстрой оценки оператором степени опасности ситуации на локальном объекте. Для этого в базе знаний каждая ситуация имеет признак при-

надлежности к возможной группе: отклонение от нормы, тревожная ситуация, локальная авария, общая авария с градацией норма, требуется внимание, требуется немедленное вмешательство.

5. Повышение достоверности, однозначности и объективности оценки, создание предпосылки для наиболее правильных оперативных воздействий, в том числе и в сложных, редко возникающих ситуациях на основе автоматической адаптации моделей, концепция построения которых приведена в [14].

Предложенные в пункте 9 модели позволяют персоналу исключить любой параметр, достоверность которого вызовет у него сомнения. Персонал может вызвать на дисплей трассировку логической последовательности заключений, легших в основу сделанной оценки.

Использование графической информации по конструкции элементов объекта, расположению датчиков, регулирующей аппаратуры, в первую очередь не имеющей автоматического съема информации об ее положении, позволяет персоналу уточнить ситуацию на основе дополнительной информации на основании обоснованных запросов.

6. Учет вероятности события при формировании заключения и его уточнение при получении дополнительной информации

Для объединения отдельных событий E_1, E_2, \dots, E_n , выявленных одновременно и не зависящих друг от друга при определении вероятности наступления гипотезы H о состоянии электрооборудования используется теорема Байеса. В этом случае вычисляется произведение отдельных вероятностей

$$P(E_1 \& E_2 \& \dots \& E_n : H) = \prod_{i=1}^n P(E_i : H),$$

а затем вычисляется $P(H:E)$, где E – событие, состоящее в том, что произошло осуществление всех E_i :

$$P(H : E) = \frac{P(E : H)P(H)}{P(E : H)P(H) + P(E : \bar{H})P(\bar{H})},$$

где $P(E:H)$ – апостериорная вероятность H при наличии факта E ;

$P(H)$ – априорная вероятность истинности гипотезы H при отсутствии каких либо фактов.

Уточнение гипотезы производится на основе дополнительной информации по мере получения оценок отдельных E_i . Выполняется отдельное суммирование свидетельств и расчет их влияния на условную вероятность. По максимальному значению апостериорной вероятности гипотезы $P(H : E)$ выполняется заключение о состоянии оборудования

7. Использование фреймов в базе знаний. Верхние слоты заполнены известной информацией: контролируемые узлы, места расположения датчиков и т.д. Нижние – деревья решений для представления причинно - следственных связей. Конкретная ситуация представлена в базе знаний в виде совокупности пяти файлов: «Действий», «Условий», «Правил – действий - условий», «Объяснений» и "Форматов общения".

8. "Отбраковка" информации в случае, если в течении некоторого времени значение от датчика не меняется даже в младшем разряде, если значение достигло предельных значений, установленных по физическим соображения, если получен сигнал неисправности от датчика. Система диагностики может не учитывать информацию, получаемую от датчиков, диагностированных как неисправные. При неисправном датчике значение условия правила автоматически 2.

9. Правило считается выполненным, если характеристики $F1$ и $F2$ j -го правила совпадают. Подсчет характеристик $F1$ и $F2$ j -го правила выполняется для каждого условия поразрядно по выражению

$$F_j = \sum_{i=1}^m a_i, \quad i = 1, \dots, m,$$

где a_i – значение логического условия разряда текущего состояния правила (при обработке текущей ситуации по данным датчиков) $p_i(i)$ или эталонного правила $p_3(i)$ БЗ, m – число условий правила.

Значения a_i для F1 равны:

$$p_i(i) = \text{True} \Rightarrow a_i = 1, \quad p_i(i) = \text{False} \Rightarrow a_i = 0, \quad i = 1, \dots, m,$$

где m – число условий в j -м правиле.

Значения a_i для F2 равны:

$$\begin{aligned} (p_3(i) = 2) \vee (p_3(i) \neq 2 \wedge p_3(i) = p_i(i)) &\Rightarrow a_i = 1, \\ (p_3(i) \neq 2 \wedge p_3(i) \neq p_i(i)) &\Rightarrow a_i = 0, \\ i &= 1, \dots, m, \end{aligned}$$

10. При оценке результатов поиска решения используются выражения

$$\begin{aligned} P_t = P_{3J} &\Rightarrow J \in M_c, \\ J &= 1, \dots, N, \\ M_c &\neq 0, \end{aligned}$$

где M_c – множество сработавших правил;

J – правило ТР БЗ; N – число правил.

11. Использование обобщенных описаний устройств релейной защиты и автоматики

12. Выполнение аварийных происшедших событий на основе информации о действовавших устройствах РЗ и ПА, информации об отключившихся и включившихся выключателях; моделирования работы РЗ и ПА и сопоставление с информацией на нескольких логических уровнях: элемент оборудования, уровень присоединения, уровень подстанции, ..., уровень сети.

На первом уровне производится логическая проверка правильности функционирования конкретного типа оборудования и РЗиА. На уровне присоединения анализируется взаимосвязь функционирования элементов оборудования подстанции. На уровне подстанции за счет избыточности информации, получаемой от всех РЗ, выявляется поврежденное присоединение или секция СШ. При этом появляется возможность локализовать возможный неисправный элемент оборудования. Анализ выполняется путем: оценки одиночного повреждения, при возникновении которого все РЗ и выключатели действовали правильно; оценки одиночного повреждения, сопровождающегося отказом выключателя (выключателей), отказом или излишним срабатыванием устройств РЗ; оценки многократных повреждений.

Разработанные принципы в различной степени реализованы в инструментарии программных средств создания экспертных систем диагностики электрооборудования локальных объектов электрической системы. На основе инструментальной программной оболочки созданы исследовательские (первые версии) прикладных экспертных систем для генераторов, трансформаторов, двигателей.

Так, экспертная система генератора позволяет определять причины, вызывающие изменение температуры активных частей генератора, давления водорода в корпусе генератора, напряжения на выводах генератора, тока статора и ротора, перепада давления "масло-водород" на уплотнениях генератора и т.д. на основе «поверхностных» знаний; оценивать динамику изменения эксплуатационного состояния агрегата, оперативно определять устой-

чивость режима генератора, определять наличие внутренних повреждений в обмотке генератора, нагревы обмоток на основе «глубоких» знаний и графических форм представления информации.

Литература

1. Интегрированные экспертные системы диагностирования в электроэнергетике/ Стогний Б.С., Гуляев В.А., Кириленко А.В. и др. — К.: Наук. думка, 1992. — 248с.
2. Вазюлин М.В. Экспертные системы для анализа действий релейной защиты// Электричество.—1993.—№6.—С. 1-8.
3. Кириленко А.В., Буткевич А.Ф., Павловский В.В. Экспертные процедуры диагностирования при оперативном управлении электрическими сетями в аварийных ситуациях//Техн. Электродинамика.1995.—№1.—С. 66-73.
4. CORA: An Expert System for Verification Relay Protection System//Personal Communication with Westinghouse Electric Corporations Productivity and Quality Center, 1985. - 66р.
5. Fukui C., Kawakami J. An expert system for fault section estimation using information from protective relays and circuit breakers/ IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.1 No.4, 1986.
6. Fujiwara R., Sakaguchi T., Kohno Y., et al. An intelligent load flow engine for power system planing/ IEEE Trans. on Power Systems, Vol.1, No.3, 1986.
7. Hotta K., Nomura H., Takemoto H. Implementation of a real-time expert system for a restoration guide in a dispatching center/ IEEE Trans. on Power Systems, Vol.5, No.3, 1990.
8. Hsu Y., Ho K., Liang C. et al. Voltage control using a combined linear programming and rule-based approach/ IEEE Trans. on Power Systems, Vol.1, No.3, 1996.
9. Kimura T., Nishimatsu S., Ueki Y., Fukuyama Y. Development of an expert system for estimating fault section in control center based on protective system simulation/ IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.7 No.1, 1992
10. Knowledge-based systems in distributed control. /Zinser, Klaus ,Welsang, Claus//Mod. Power Syst. -1990,Suppl. - С. 63, 65, 67
11. Ekspertni sustav za odretivanje rasporeda remonta agregata elektroenergetskog sustava. /Fustar, Stipe//Energija. -1991. - т. 40,N 2. - С. 65-75.
12. Леви Л.И. Формализация и решение универсальных локальных задач в автоматических системах управления с изменяющейся иерархической структурой // Вісник Східноукраїнського національного університету. – Луганськ: СНУ, №3 [37]. – 2001. – С. 207-210.
13. Заболотный И.П., Павлюков В.А. Применение компьютерных технологий для управления электрическими системами // Технічна електродинаміка, спеціальний випуск, К.: 1998. – с.90-99.
14. Заболотный И.П., Павлюков В.А. Метод оперативного формирования моделей электрических систем // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – Львів: Львівська політехніка, №403. – 2000. – С. 56-62.
15. Заболотный И.П., Павлюков В.А. Автоматизированная система оперативного управления локальными объектами электрических систем // Наукові праці Донецького державного технічного університету. Серія: електротехніка і енергетика, випуск 21 - Донецьк: ДонДТУ. - 2000. – С. 25-28.