

Ш. Н. НАСИРОВ (Азербайджанский Технический Университет, Баку, Азербайджан)

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ В ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЯХ ПОСТОЯННОГО ТОКА

У статті визначені архітектура та алгоритм функціонування експертної системи, що забезпечує ефективність роботи електричного обладнання тягової підстанції, а також отримана функція приналежності з чотирма параметрами.

В статье определены архитектура и алгоритм функционирования экспертной системы, обеспечивающей эффективность работы электрического оборудования тяговой подстанции, а также определена функция принадлежности с четырьмя параметрами.

In the article the architecture and algorithm of operating an expert system providing the efficiency of functioning the electric equipment for traction substation as well as the four-parameter belonging function are determined.

В настоящее время на электрифицированных участках Азербайджанской Государственной Железной дороги применяется постоянной ток с номинальным напряжением 3,3 кВ, в трассе которой функционируют около двухсот тяговых подстанций полуоткрытого типа, где выполняется двойная трансформация напряжения. Впервые нами разработана экспертная система для тяговой подстанции железнодорожного транспорта с нечеткими узлами.

В сети тяговых подстанций к аварийным режимам относятся трехфазные и двухфазные короткие замыкания и однофазные замыкания с землей, фазовое приращение на сопрягаемых местах появления свободности возникновения повреждений резисторов, симметрирующих напряжения и точек в выпрямительных блоках, пробоя и обгорания самого вентиля и т.д. Кроме того, могут произойти более сложные процессы и аварийные случаи.

К примеру, в случае пробоя или обгорания одного или нескольких из последовательно соединенных вентилях, проводимость этой ветви может упасть до нуля, и напряжение может увеличиться в остальных вентилях ветви, что станет причиной резкого увеличения напряжения в соседних ветвях и появления асимметрии в фазах питающего трансформатора.

Многолетняя статистика по аварийным режимам показывает, что на тяговых подстанциях относительная частота различных видов повреждений составляет: трехфазные короткие замыкания – 2 %, двухфазные короткие замыкания – 7 %, однофазные замыкания на землю – 45 %, двойные замыкания на землю – 15 %, аварийные случаи на выпрямительных блоках – 31 %. Известно, что частота замыкания на землю и повреждения в выпрямительных блоках

равна 91 %. Режимы однофазного замыкания на землю могут быть устойчивыми или неустойчивыми. Неустойчивые режимы могут устраняться или переходить при определенных условиях в устойчивые [1].

В силовых и измерительных трансформаторах, как в кабелях, повреждения в большинстве случаев возникают вследствие специфических свойств бумажной – масляной изоляции.

Необходимо подчеркнуть, что устойчивый аварийный режим при однофазных замыканиях на землю составляет только 17 %.

При небольших токах однофазные замыкания на землю в сетях 6 кВ 30 А, в сетях 10 кВ 20 А и в сетях 35 кВ 15 А являются определяющими интенсивность и характер горения электрической дуги в местах повреждения.

Статистическая обработка аварийных происшествий в тяговых сетях 35 - 3,3 кВ показывает, что частые и тяжелые последствия режима однофазного дугового замыкания на землю ставит его в разряд наиболее опасных режимов, поэтому в статье уделено внимание исследованию этого режима.

Как известно, при исследовании аварийных режимов применяются различные методы: математические, физические, экспериментальные.

Математическое моделирование включает в себя составление уравнений, характеризующих исследуемые аварийные режимы, применение их на ЭВМ.

В статье рассмотрено математическое моделирование дуговых замыканий на землю.

Наличие нелинейных элементов влияет на результаты, и появляются погрешности в расчетах.

Как пример можно показать то, что при расчетах перенапряжений в режиме перемежаю-

щихся замыканий на землю, учет нелинейности активных проводимостей утечек очень сложен.

Уточнение существующих методов расчета с некоторым упрощением требует экспериментальной проверки.

Физическое моделирование по отношению к другим методам исследования обладает следующим достоинством: возможностью имитации любого режима и многократного его воспроизведения; возможностью регистрации процессов и получения информации; возможностью непосредственного подключения к физической модели устройства с помощью согласующих элементов; низкими затратами на изготовление модели; временем для получения информации, значительно меньшим, чем в других методах.

Экспериментальные исследования различных аварийных режимов в реальных сетях 35 - 3,3 кВ проводились в работах [6, 7].

Эксперименты не могут охватить широкий диапазон изменений параметров сети и останутся справедливыми лишь для данных конкретных условий. Для получения достаточно полных сведений требуется громадный объем экспериментов в разных точках сети при варьировании параметров сети, момента начального замыкания и последующих размыканий и за-

мыканий в заданной последовательности и соответствующей высоковольтной коммутирующей аппаратуры.

### 1. Архитектура нечеткой диагностической экспертной системы тяговой подстанции

Проведение экспериментов на рабочем напряжении обычно связано с организационными и техническими трудностями из-за опасности работ под высоким напряжением. Измерения в этих условиях являются сложной задачей. Экспертная система тяговой подстанции на электрифицированных железных дорогах является прогнозирующей и управляющей многофункциональной системой [3].

Эта система состоит из следующих блоков (рис. 1): база данных; база знаний; блок принятия решений с разъяснениями; блок логического вывода; блок ввода знаний; блок анализов рабочих режимов электрических оборудования тяговой подстанции; пользовательский интерфейс; блок формирования рабочих режимов вышесказанных оборудования; блок лингвистических анализаторов; блок, оценивающий показатели рабочих режимов; блок пользовательской информации.



Рис. 1. Архитектура экспертной системы

## 2. Форма представления знаний в системе

Работа системы выполняется по следующему алгоритму (рис. 2).

Информация об электрических оборудованных тяговой подстанции поступает в блок анализа рабочих режимов этих оборудований.

В блоке анализа рабочих режимов электрических оборудований изучаются и анализируются параметрические изменения в этих режимах. Этот блок состоит из подблоков оценки состояния процесса и подготовки результирующей информации.

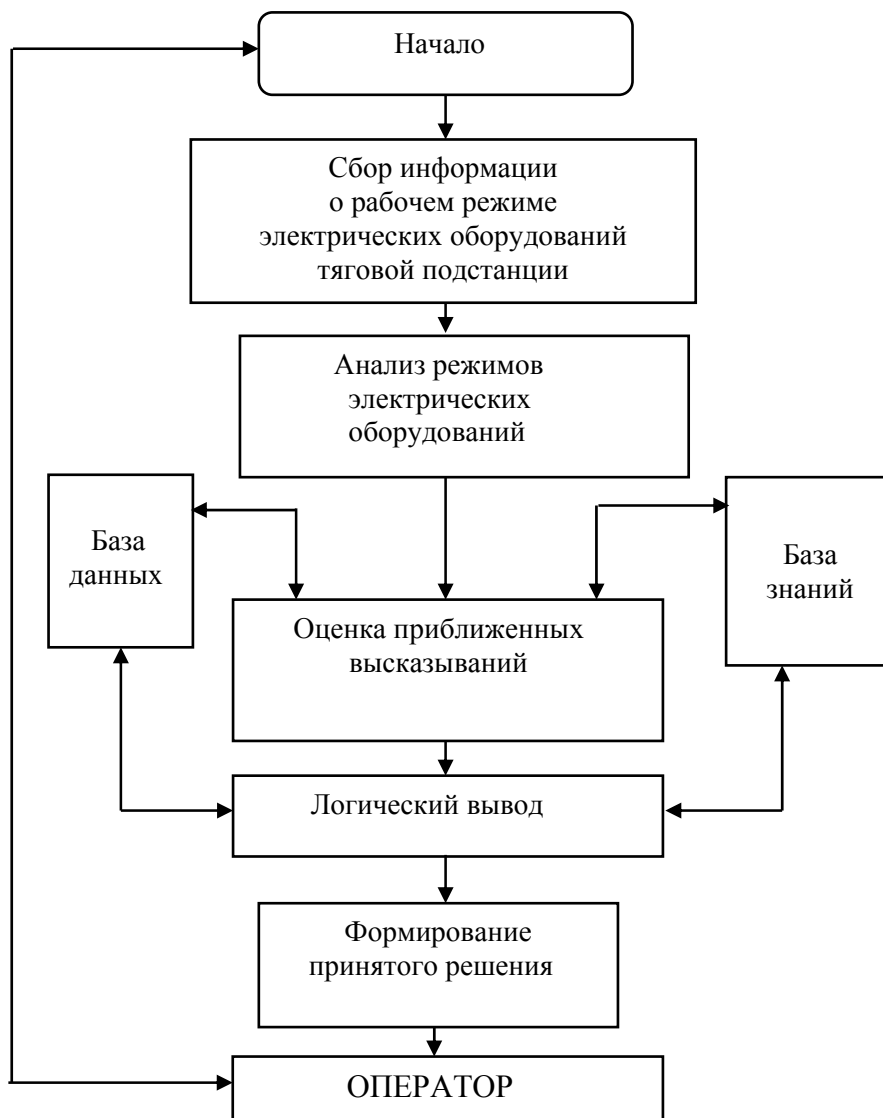


Рис. 2. Алгоритм функционирования экспертной системы

В блоке оценки рабочего состояния выполняется измерение комплексных параметров, а также измеряются отклонения параметрических показателей, характеризующих текущий процесс. Подготовленные сведения в подблоке анализа рабочих режимов электрических оборудований тяговой подстанции служат начальными условиями оценки показателей рабочих режимов и принятия решений. Впоследствии эти сведения поступают в экспертную подсистему базы знаний.

Предопределение рабочего режима электрических оборудований тяговой подстанции, требуемое оптимальное управление осуществляется в экспертной системе за счет знаний в базе знаний.

Блок формирования рабочих режимов электрических оборудований тяговой подстанции отображает на дисплее результаты принятых решений.

Рассмотрим работу этой подсистемы подробно. Сведения о параметрах режима текуще-

го процесса электрических оборудований тяговой подстанции посредством блока системного управления поступают из блока анализа рабочих режимов в блок оценки отклонений показателей, а потом эти сведения поступают в базы данных и знаний. Информация с выходов этих баз поступает в блок оценки рабочих режимов электрических оборудований тяговой подстанции и логического вывода принятия решений.

База знаний экспертной системы подразумевается набором правил

«ЕСЛИ .....ТОГДА».

Между словами «ЕСЛИ.....ТОГДА» находятся высказывания (соображения) и часть текста условий правил. Элементарные условия разделяются с помощью «И» [4, 5].

После слова «ТОГДА» идут результаты следствий из правил.

Семантика высказываний такова:

«ЕСЛИ» условия корректны и правильны, «ТО» надо выполнять их результаты.

### 3. Нечеткий логический вывод

Одним из преимуществ, является возможность работы над нечеткими высказываниями и знаниями. Это отличие объясняется возможностью представления лингвистически нечеткими выражениями, управляющих и управляемых параметров таких как «норма», «выше нормы», «ниже нормы», «увеличена», «уменьшена» и т.д.

В блоке обработки лингвистических выражений обеспечивается автоматическая интерпретация лингвистических значений. Основным отличием в системе ESPLAN является возможность пользователя лингвистических выражений подобно высказываниям из правил, для чего необходимо интерпретация с целью манипуляций этими лингвистическими значениями. Для этой цели в ESPLAN использован аппарат теории множеств. Здесь каждая переменная сопровождается функцией принадлежности соответствия лингвистическому значению.

Для внутреннего описания этой переменной используется формат параметрической LR (left – right). Здесь определена трапецеидальная функция принадлежности со своими 4-мя параметрами:

- $\alpha$  – (left) левое отклонение;
- $ml$  – (left) наибольшее левое значение;
- $\beta$  – (right) правое отклонение;
- $mr$  – (right) наибольшее правое отклонение;

$$\mu_a(u) = (\alpha_a, ml_a, mr_a, \beta_a);$$

$$\mu(u) = \begin{cases} 1 - \frac{ml - u}{\alpha}, & \text{если } ml - \alpha \leq u \leq ml; \\ 1, & \text{если } ml \leq u \leq mr; \\ 1 - \frac{u - mr}{\beta}, & \text{если } mr \leq u \leq mr + \beta; \\ 0, & \text{в других случаях;} \end{cases}$$

$\mu(u) - ml$  и  $mr$  – как точки вершины и как точки с нормами  $\alpha$  и  $\beta$  отклонений, соответственно.

Такое описание определяет единичную функцию принадлежности «единичная МОДА». В тоже время язык описания позволяет определить значения конструкции «И/ИЛИ», например, «Мало или ближе к  $n$ » и т.д.

Результат такой интерпретации будет (max) дизъюнкцией функции принадлежности всех входящих элементов:

$$\mu_{a \text{ или } b}^{(a)} = \max (\mu_a(u) \cdot \mu_b(u)).$$

Вычислительный блок и блок обработки лингвистических значений наряду с обеспечением автоматической интерпретации таких лингвистических переменных, как МЕНШЕ, БОЛЬШЕ, СРЕДНЕЕ, БЛИЖЕ и т.д., также соответствует значениям  $\alpha$ ,  $ml$ ,  $mr$ ,  $\beta$  – универсальному множеству значений объекта. Универсальное множество каждого объекта отображается в базе данных, как функция непрерывных интервалов. Здесь оператор имеет возможность описать новую функцию принадлежности.

После заполнения базы знаний оператор вводит необходимые начальные переменные (например, ток короткого замыкания, аварийное напряжение и т.д.) или сообщение о текущем техническом состоянии контролируемого объекта.

### 4. Решение задачи диагностики аварийных ситуаций в тяговой подстанции

Допустим, что  $I$  и  $S$  – соответственно максимальное и минимальное значения нормального диапазона отдельных элементов тяговой подстанции. Тогда функция принадлежности исходящих значений будет:

$$Z = (S - I)/2 = (10 - 8)/2;$$

$$\mu_{\text{норма}} = (Z, I, I + 2Z, Z);$$

$$\mu_{\text{мин.норма}} = (Z, I - 3Z, I - 2, Z).$$

Для решения задачи по разработанному нами алгоритму требуется высококвалифицированные специалисты. Совокупность эвристики, формулируемая экспертами, записывается на языке представления знаний ESPLAN и заносится в базу знаний системы. Приведен для ясности фрагмент диагностики аварийных ситуаций на тяговых подстанциях.

Напряжения после выпрямителя (В) = 3300

Ток после выпрямителя (А) = 30000

Температура на выпрямительном блоке (°С) = 95

Частота тока до выпрямителя (Гц) = 50

-----  
Напряжение (В) = «Мало»

Ток (А) = «Предельный»

Температура = «Предельная»

Частота (Гц) = «В норме»

-----  
либо напряжение в первичной стороне меньше нормы – достоверность 5 %

или ток нагрузки больше нормы – достоверность 60 %

трансформатора 35/3,3

или во вторичной обмотке имеются неполадки –

достоверность 5 %

или в выпрямительном блоке имеются неполадки –

достоверность 25 %

или в шинах имеются неполадки –

достоверность 5 %

-----  
Если в ветви № 1 «меньше нормы»

ОТОБР («.....РЕКОМЕНДАЦИЯ.....»)

Проведенные исследования показали достоверность использования системы ESPLAN.

Проведен структурный синтез интеллектуальной автоматизированной системы управления на всех уровнях, проанализированы функции и задачи системы и определены требования к электрооборудованию тяговой подстанции.

### Заключение

Интеллектуальная нечеткая экспертная система диагностики аварийных ситуаций на тяговых подстанциях постоянного тока, созданная на основе fuzzy ESPLAN, позволяет определить архитектуру и алгоритм функционирования этой системы, обеспечивающей эффективность работы электрического оборудования подстанции.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Липкин, Б. Ю. Электроснабжение промышленных предприятий и установок [Текст] / Б. Ю. Липкин. – 4-е изд., перераб. и доп. – М., 1990. – 368 с.
2. Мусленко, И. А. Организация БЗ для ЭС диагностирования сложных объектов [Текст] / И. А. Мусленко // Диагностика энергетических и электрических систем: АН УССР. Ин-т проблем моделирования в энергетике. – К., 1990. – С. 98-102.
3. Усков, А. А. Интеллектуальные системы управления на основе методов нечеткой логики [Текст] / А. А. Усков, В. В. Круглов. – Смоленск: Смоленская городская типогр., 2003. – 177 с.
4. Заде, Л. А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных значений [Текст] / Л. А. Заде [пер. с англ.]. – М.: Мир, 1976. – С. 165.
5. Заде, Л. А. Основы нового подхода к анализу сложных систем и процессов принятия решений [Текст] / Л. А. Заде. – В кн.: Математика сегодня. – М.: Знание, 1974. – С. 5-49.
6. Марквардт, К. Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог [Текст] / К. Г. Марквардт. – М.: Транспорт, 1982. – 528 с.
7. Барыбин, Ю. Г. Справочник по проектированию электроснабжения [Текст] / Ю. Г. Барыбин. – М., 1990. – 575 с.

Поступила в редколлегию 08.09.2009.

Принята к печати 16.09.2009.