

УДК 681.518:519.718

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОКОВОЙ ЗАЩИТЫ С ПОМОЩЬЮ ТЕОРИИ
НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ**

В.С. Ноздренков, А.Ю. Хатунцев, А.А. Костян
Сумский государственный университет, г. Сумы

Разработана математическая модель реализации токовой защиты с помощью теории нечетких множеств и нечеткой логики. Обоснована целесообразность применения аппарата теории нечетких множеств и нечеткой логики для моделирования устройств релейной защиты. Предложенные модели были реализованы в программном комплексе Matlab 6.0.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Системы электроснабжения являются сложными производственными объектами кибернетического типа, все элементы которых участвуют в едином производственном процессе, основными специфическими особенностями которого являются быстротечность явлений и неизбежность повреждений аварийного характера. Поэтому надежное и экономичное функционирование систем электроснабжения возможно только при автоматическом управлении ими. Для этой цели используется комплекс автоматических устройств, среди которых первостепенное значение имеют устройства релейной защиты и автоматики. Рост потребления электроэнергии и усложнение систем электроснабжения требуют постоянного совершенствования этих устройств.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Микропроцессорные защиты, в том числе и токовые, должны удовлетворять основным требованиям, предъявляемым к защитам независимо от их элементной базы. Это – селективность, чувствительность, быстродействие и надежность [1]. У токовых защит это достигается соответствующим выбором тока срабатывания и выдержки времени. При выборе тока срабатывания защиты $I_{c.з}$ следует использовать выражения для соответствующих ступеней [1]. Согласование выдержек времени заключается в выборе обратнoзависимых от тока временных характеристик. Так, например, в современных микропроцессорных терминалах SPAC801.01 имеется возможность выбора одной из шести зависимых от тока характеристик [2], которые определяются вычислением по следующему алгоритму:

$$t_{c.з} = \frac{k\beta}{\left(\frac{I_k}{I_{c.з}}\right)^\alpha - 1}, \quad (1)$$

где k – временной коэффициент, измеряемый от 0,05 до 1; α и β – коэффициенты, определяющие крутизну характеристик, имеют

следующие значения: $\alpha=0,02$, $\beta=0,14$ (международная инверсная типа L); $\alpha=1$, $\beta=120$ (международная длительно инверсная типа N).

Однако, несмотря на значительный прогресс в возможности выбора параметров $t_{c.з} = f\left(\frac{I_k}{I_{c.з}}\right)$, существует необходимость в создании более

гибкой модели настройки вида и параметров рассматриваемой функции. Перспективным является применение теории нечетких множеств и основанной на ней нечеткой логике. Адекватность применения данного математического аппарата доказана рядом теорем [3], а наглядность в представлении функций позволяет гибко настраивать их параметры.

Исходя из вышесказанного, можно сформулировать постановку задачи. Необходимо разработать математическую модель токовой защиты, основанную на методе нечеткого логического вывода, т.е.

реализовать функциональную зависимость $t_{c.з} = f\left(\frac{I_k}{I_{c.з}}\right)$ в виде

совокупности нечетких предикатных правил, что позволит гибко настраивать вид и параметры данной функции.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Система нечеткого вывода представляет собой совокупность следующих элементов:

- блок введения нечеткости (fuzzification);
- второй блок – основа системы – база нечетких знаний, формируемая специалистами предметной области в виде совокупности нечетких предикатных правил;
- механизм логических выводов решений;
- блок приведения к четкости (defuzzification).

Функциональная структура системы нечеткого вывода, применяемая для моделирования токовой защиты и называемая в литературе системой Мамдани-Заде, приведена на рис. 1.

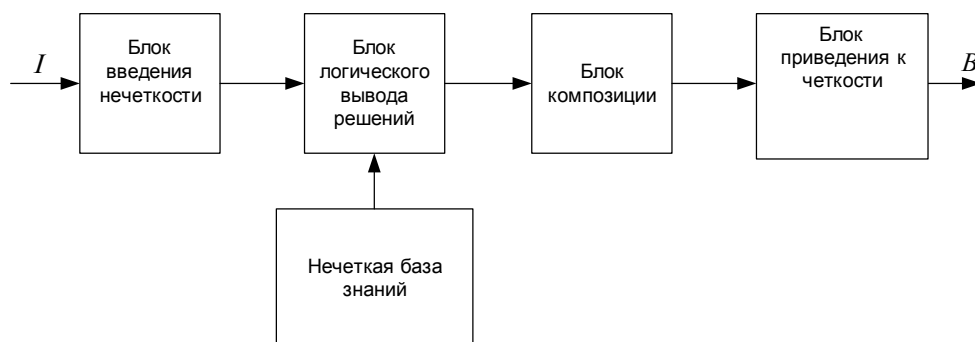


Рисунок 1– Функциональная схема системы нечеткого вывода

В блоке введения нечеткости производится преобразование входного тока I в нечеткое множество, которое характеризуется функцией принадлежности $\mu(I)$.

Одним из методов моделирования многомерных зависимостей в сложных задачах принятия решений является их описание нечеткими базами знаний, предназначенными для формализации причинно-следственных связей между переменными „вход-выход”, которые характеризуют ту или иную конкретную зависимость.

Нечеткая база знаний представляет собой совокупность правил „ЕСЛИ <входы> – ТО <выход>”, которые отображают опыт эксперта и его понимание причинно-следственных связей, характерных для моделируемого объекта или процесса. Нечеткая база знаний воплощает в себе описание этих связей на естественном языке с применением нечетких множеств и лингвистических переменных. В блоке приведения к четкости формируется однозначное решение относительно значения выходной переменной на основании нечетких выводов, полученных в результате логического вывода решений. В зависимости от количества ступеней токовой защиты лингвистическая переменная $V = \text{“Выходная ступень”}$ может быть задана различными терм-множествами, т.е. множествами значений.

Задание лингвистической переменной $V = \text{“Выходная ступень”}$

Терм-множества лингвистической переменной $V = \text{“Выходная ступень”}$		
$T_1(O)$	{“I ступень”, “II ступень”}	Двухступенчатая защита
$T_2(O)$	{“I ступень”, “II ступень”, “III ступень”}	Трехступенчатая защита
$T_3(O)$	{“I ступень”, “I ступень”, “III ступень”...“N ступень”}	N-ступенчатая защита

$$I \Rightarrow \mu(I) \Rightarrow \mathbf{T} = \begin{pmatrix} \cdot \\ \tau_1 \\ \cdot \\ \tau_2 \\ \cdot \\ \dots \\ \cdot \\ \tau_N \end{pmatrix} \Rightarrow V, \quad (2)$$

где I – входной ток;

\mathbf{T} – матрица, характеризующая истинность каждого правила нечеткой базы знаний,

V – выходное значение.

На рис. 2 представлена графическая иллюстрация функции принадлежности переменной *Значение тока* для трех нечетких значений („Низкое”, „Среднее ” и „Высокое ”).

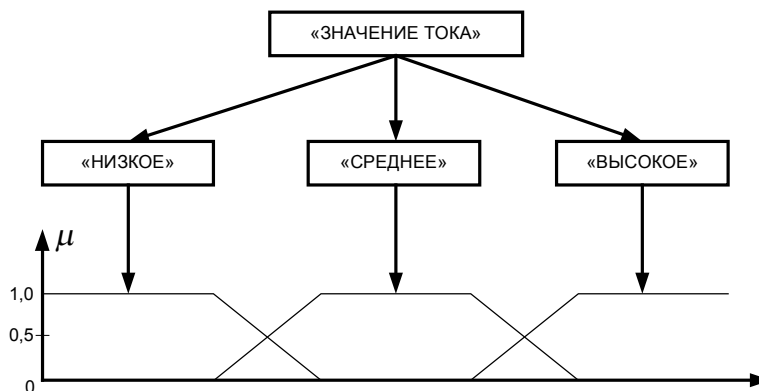


Рисунок 2– Функции принадлежности нечетких множеств

Определим набор нечетких предикатных правил функционирования системы моделирования токовой защиты, заданной на терм-множестве $T_2(O)$.

$$\begin{aligned}
 R^{(1)} &: IF \text{ "Значение тока" is "Низкое" THEN } B = 10; \\
 R^{(2)} &: IF \text{ "Значение тока" is "Среднее" THEN } B = 0,5; \\
 R^{(3)} &: IF \text{ "Значение тока" is "Высокое" THEN } B = 0.
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

Четкое значение выходной переменной

$$B = \frac{\sum_{i=1}^N \tau_i B^i}{\sum_{i=1}^N \tau_i}.
 \tag{4}$$

Для моделирования токовой защиты с помощью теории нечетких множеств можно воспользоваться программным комплексом Matlab, который позволяет выполнить модификацию нечеткого логического вывода Sugeno. Результат работы программы приведен на рис. 3.

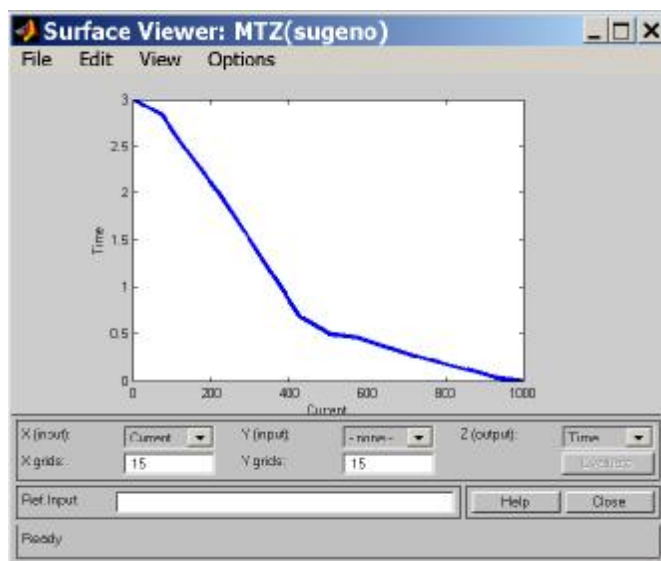


Рисунок 3 – Зависимость $t_{c.з} = f\left(\frac{I_k}{I_{c.з}}\right)$

ВЫВОДЫ

Современное развитие электронной вычислительной техники обуславливает все более широкое применение микропроцессорных средств в устройствах релейной защиты автоматики. В работе получены следующие результаты:

1. Разработана математическая модель реализации токовой защиты с помощью теории нечетких множеств и нечеткой логики.
2. Обоснована целесообразность применения аппарата теории нечетких множеств и нечеткой логики для моделирования устройств релейной защиты.

3. Предложенные модели были реализованы в программном комплексе Matlab 6.0.

4. Дальнейшее развитие темы может быть выполнено при реализации более сложных типов защит, а именно дистанционной или дифференциальной.

SUMMARY

FUZZY MODELS OF CURRENT PROTECTION

V.S. Nozdrenkov, A.Y. Khatunzev, A.A. Kostan

In the given work the approach to calculate time delay with use of fuzzy information technology is offered. The structure of fuzzy expert system of time delay is offered, set of fuzzy predicate rules of system functioning is developed, the fuzzy logic conclusion according to modified Takagi- Sugeno's algorithm is realized.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев В.А. Релейная защита и автоматика в системах электроснабжения. -М.: Высшая школа, 2006.
2. Шабад М.А. Расчеты релейной защиты и автоматике распределительных сетей. -М.: Энергоатомиздат, 2005.
3. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации. - Винница: Универсум, 1999. – 300 с.

Ноздренков В.С., канд. техн. наук, СумГУ, г. Сумы;
Хатунцев А.Ю., канд. техн. наук, СумГУ, г. Сумы;
Костян А.А., студент, СумГУ, г. Сумы

Поступила в редакцию 25 ноября 2008 г.