

Применение теории нечетких выводов в системе управления статическим преобразователем электроэнергии

А. А. Леута¹, М. А. Кузнецов², К. В. Лямин³

СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

¹leuta@mail.ru, ²kuznmich@mail.ru,

³kostyalayamin@yandex.ru

Ю. Н. Хижняков

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет

Аннотация. Приводится методика формального описания (построения) нечетких систем управления статическими преобразователями.

Ключевые слова: преобразователь электроэнергии, нечеткое управление; нечеткий вывод

I. ВВЕДЕНИЕ

Управление статическими преобразователями электроэнергии осуществляется в целях обеспечения потребителей энергией требуемого качества с помощью встроенных систем управления. Взаимодействие между управляемой схемой силового преобразования электроэнергии и слаботочной управляющей системой в упрощенном виде можно представить так, как показано на рис. 1, где X – вектор параметров входной электроэнергии; Y – вектор параметров выходной электроэнергии; F – вектор параметров управляющего воздействия и Z – вектор параметров, задающих режимы и функции управления.

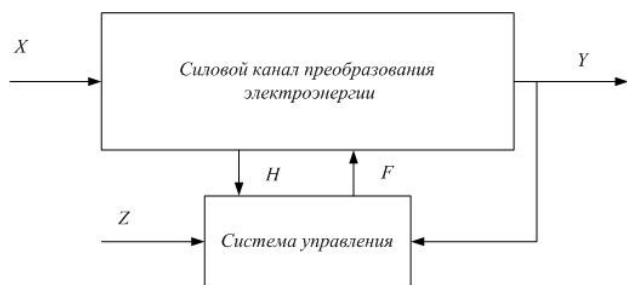


Рис. 1. Взаимодействие системы управления с силовым каналом преобразования электроэнергии

II. ПРОБЛЕМЫ

Для реализации рассматриваемых систем управления обычно применяются традиционные методы и средства классической теории управления с использованием аппарата дифференциального и интегрального исчисления, как в аналоговой, так и в дискретной форме, для чего необходимо составлять систему уравнений, описывающих поведение всех компонентов и связей для объекта, нагрузки и системы управления. При этом, чем выше требования к качеству функционирования

преобразователя, тем точнее должно быть его математическое описание, что может значительно усложнить систему уравнений, а значит и процессы расчетов при моделировании, реализации и настройке. Вместе с тем, в схеме и конструкции преобразователей [1], существуют не только электрические, но и температурные и электромагнитные взаимодействия (процессы), учет которых может еще больше усложнять задачу реализации, как математической модели, так и аппаратной части. В качестве примера, на рис. 2 показаны структура и функциональная схема статического преобразователя

На практике, в современных системах подобного типа, в качестве аппаратной части систем управления все больше и больше находят применения универсальные микроконтроллеры со стандартизованными компонентами ввода и вывода данных, а также схем измерения контролируемых параметров. Решающую роль, при этом, играют применяемые алгоритмы и программы, которые на стадии разработки и отладки реализуются методом проб и ошибок, в большей части интуитивно.

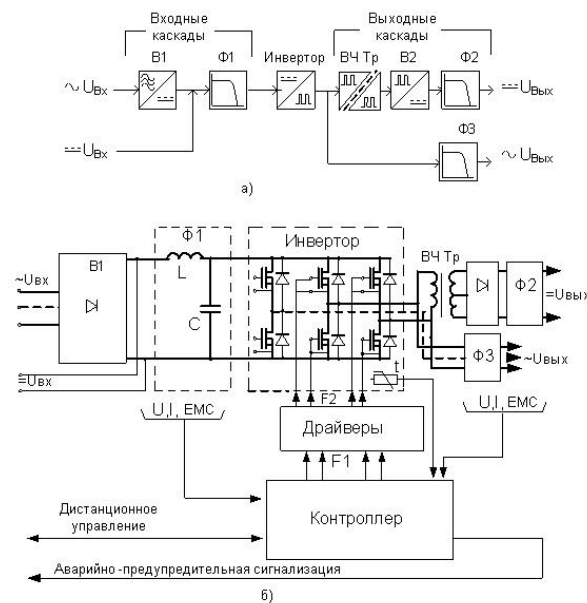


Рис. 2. Структура (а) и функциональная схема статического преобразователя (б)

III. ВАРИАНТ РЕШЕНИЯ

Таким образом, имеется определенный перечень проблем, затрудняющих применение методов и средств традиционной классической теории, в то время как альтернативная теория систем нечетких множеств и нечеткого вывода, специально разработанная с целью расширения сферы приложения средств автоматизации за пределы применимости классической теории, позволяет достаточно просто решать задачи управления, уже рассмотренными микроконтроллерными средствами.

Рассмотрим функционирование преобразователя на рис. 1 в простых и интуитивно понятных терминах в соответствии с теорией нечеткого вывода. В качестве начального и упрощенного примера, будем наблюдать выходное напряжение преобразователя и, в зависимости от этого формировать вывод управляющего воздействия на схему канала силового преобразования с целью поддержания выходного напряжения на определенном уровне (режим стабилизации).

Определим, что лингвистическая переменная «Увых» может принимать следующие значения: НИЗКОЕ, НОРМАЛЬНОЕ, ВЫСОКОЕ. Это позволяет делать такие промежуточные заключения как ОПАСНО, НЕ ОПАСНО и, далее к выводам в следующих терминах: ОТКЛЮЧИТЬ (ПРЕКРАТИТЬ РАБОТУ), ОСТАВИТЬ БЕЗ ИЗМЕНЕНИЙ (ПРОДОЛЖИТЬ РАБОТУ) или РЕГУЛИРОВАТЬ УМЕНЬШАЯ, ОСТАВИТЬ БЕЗ ИЗМЕНЕНИЙ, РЕГУЛИРОВАТЬ УВЕЛИЧИВАЯ.



Рис. 3. Решение задачи стабилизации напряжения в терминах лингвистических переменных человеком и системой нечеткого вывода

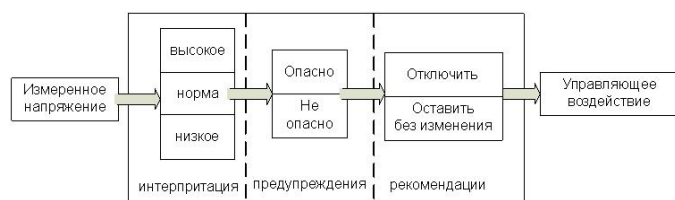


Рис. 4. Решение задачи защитного отключения

Средствами среды компьютерного моделирования MATLAB Fuzzy Logic Toolbox собрана и проверена модель такой системы управления. В соответствии с положениями теории нечетких множеств изначально предполагается, что исходная информация не точна (размыта) в пространстве универсума $X=[0;10]$, в качестве которого выбран замкнутый интервал действительных значений напряжения от 0 В до U_{max} , и может быть соотнесена с некоторыми областями универсума, которые могут иметь

пересечения, как показано на рис. 5 для рассмотренного примера.

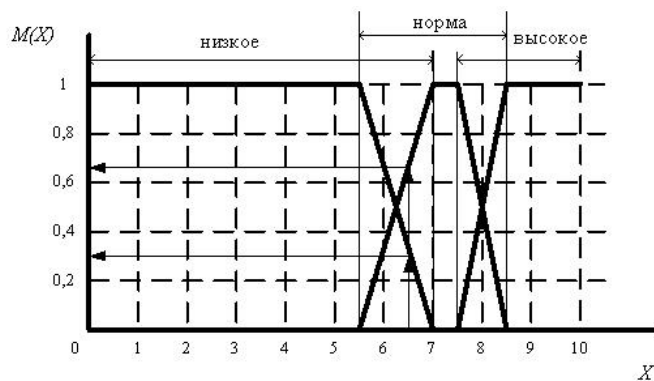


Рис. 5. Вид функций принадлежности для входной переменной (напряжение) и интерпретация измеренного значения $U = 6,5$ (о.е.).

Степень принадлежности измеренного значения параметра (в данном случае напряжения) к конкретной области (областям) определяется специальной функцией (функцией принадлежности $\mu_A(x) = f_i(x; a_i, b_i) = [0,1]$), имеющей одну из типовых форм: Z-образную; Трапецевидную и S-образную. Выбор типа функций принадлежности в каждом конкретном случае решается путем экспертной оценки, исходя из некоторого представления о характере изменения параметра на наблюдаемом интервале. На рис. 17 показано, как отражается конкретное измеренное значение $U=6,5$ на значении функций принадлежности к термам (термам) НИЗКОЕ ($\mu_1(x) = 0,3$) и НОРМА ($\mu_2(x) = 0,68$), при этом видно, что для терма ВЫСОКОЕ – значение $\mu_3(x) = 0$. Дальнейшая обработка данных производится с учетом полученных значений функций принадлежности, правил и методов нечеткого вывода. Если предположить, что в данном примере достаточно использовать три правила обработки данных:

- Если напряжение <ВЫСОКОЕ>, то следует его <УМЕНЬШАТЬ>;
- Если напряжение <НОРМА>, то <ОСТАВИТЬ без изменения>;
- Если напряжение <НИЗКОЕ>, то следует его <УВЕЛИЧИВАТЬ>.

то видно, что правило 1 оказывается не активным из-за нулевого значения функции принадлежности, а правила 2 и 3 активны. Причем их активность пропорциональна соответствующим значениям функций принадлежности по входной переменной. Отразив эти значения на пространстве выходной переменной, получим фигуру, выделенную цветом, как показано на рис. 6, а вычислив центр тяжести этой фигуры (в соответствии с одним из методов нечеткого вывода), получим проекцию на ось выходного параметра, то есть положение регулирующего органа в интервале допустимых значений (от 0 до Максимум). Что и даст конкретное значение результату по шкале выходного параметра (в данном случае 6 из 10 возможных).

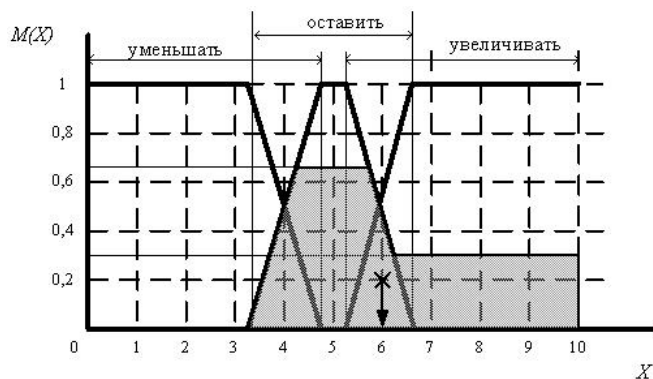


Рис. 6. Функции принадлежности выходного параметра – положения регулятора напряжения и механизм вывода конкретного результата.

Рассмотренный пример показывает, что в результате, положение органа управления, должно соответствовать отметке 6 и может восприниматься как стремление к очень небольшому увеличению напряжения и, таким образом, оно изменится, переместившись в точку за пределами значения 7 или в окрестностях значения 7,25 (на рис. 6). Тогда значение функции принадлежности окажется равной 1 для терма «НОРМА» и нулю для термов «НИЗКОЕ» и «ВЫСОКОЕ». Активным останется только правило 2 и новое значение регулирующего органа будет установлено в положение 5, как центре тяжести фигуры образованной термом «ОСТАВИТЬ» (без изменений). Регулирование возобновится только тогда, когда результат измерения напряжения и обработка покажут необходимость в увеличении или уменьшении напряжения.

Аналогичным образом решается и задача защитного отключения для рис. 4, где выходной переменной является управление, имеющее только две функции принадлежности ОТКЛЮЧИТЬ и ОСТАВИТЬ преобразователь в работе. Решение второй задачи может осуществляться параллельно с первой, так как используются те же исходные данные и предварительные выводы. Естественно предусмотреть в алгоритме приоритетность защитной функции отключения преобразователя.

Качество регулирования зависит от вида и положения функций принадлежности, поэтому настройка системы заключается в подборе функций принадлежности. Выбор вида функций принадлежности не строго регламентирован. Они могут быть заданы как табличным способом, так и аппроксимирующими отрезками прямых или кривых. В качестве примеров на рис. 7 приведены различные наиболее распространенные типы функции принадлежности, а в приложении приведены их аппроксимирующие формулы.

Приведенные виды функций принадлежности характерны для следующих неопределенных высказываний:

- а) и б) «небольшое значение», «низкая (незначительная) величина»;

- с), d) и e) «приблизительно равно», «среднее значение», «расположен в интервале»;
- f) и g) «большое значение», «значительная величина», «высокое значение»;

Рассмотренный пример прост, но очень нагляден для восприятия применимости теории нечеткого вывода в системах управления техническими объектами и, в частности, статическими преобразователями.

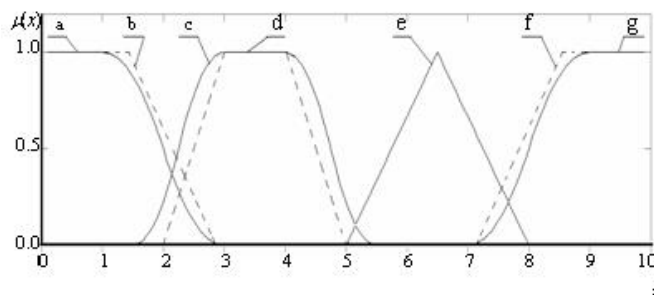


Рис. 7. Вид типовых функции принадлежности

Следует отметить, что реальные системы управления статическими преобразователями должны учитывать не только гораздо большее число входных и выходных переменных, но и сами эти переменные могут быть представлены большим числом функций принадлежности для более качественного решения задач управления. Так, например, регулируемое выходное напряжение может быть представлено большим числом термов с соответствующим видом функций принадлежности, показанным на рис. 8,

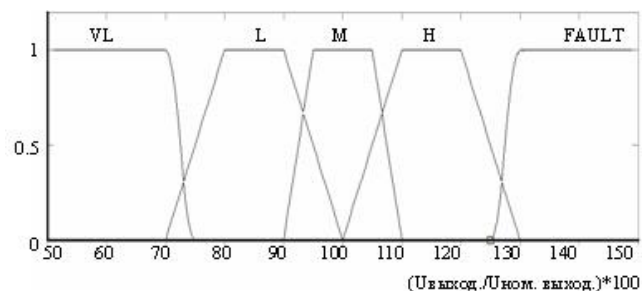


Рис. 8. Расширение понятия «напряжение на выходе статического преобразователя»

где VL – очень низкое (Very Low) – Z-образная функция принадлежности с параметрами (70 75); L – низкое (Low) – трапецидальная функция с параметрами (70 75 90 95); M – нормальное или среднее (Middle) – трапецидальная функция с параметрами (90 95 105 110); H – высокое (High) – трапецидальная функция с параметрами (105 110 125 130); Fault – аварийное (Fault) – S-образная функция принадлежности с параметрами (125 130);

В качестве входных переменных должны быть добавлены:

- выходной ток статического преобразователя (нормальный, повышенный (перегрузка) –

отключаемый с выдержкой времени, аварийный – отключаемый мгновенно);

- температура силовых полупроводниковых приборов (нормальная, аварийная);
- входное напряжение (аналогично напряжению на выходе).

Из-за наличия выдержки времени на защитное отключение должны быть добавлены внутренние переменные: таймер по температуре; таймер по величине тока; таймер по нахождению выходного напряжения в зоне повышенных значений.

Полезным может оказаться значение производной регулируемого напряжения.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение следует отметить, что решение задач управления статическими преобразователями полностью укладывается в положения и выводы теории нечетких систем, а для получения качественного функционирования требуется тщательная подготовка на стадии формального описания системы, с учетом экспертных оценок параметров в терминах данной теории, и проведение исследований для их уточнения и корректировки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Леута А.А., Нгуен М.Д., Нгуен Ч.Ч. Информационная поддержка принятия решений по оперативному управлению объектами судовой электроэнергетики с применением методов нечеткой логики // Известия государственного электротехнического университета. Сер. «Автоматизация и управление». СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2012. №1. С. 61–67.