

МОДЕЛЬ ФАЗЗИ-КОНТРОЛЕРА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО УЗЛА НАГРУЗКИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Литвинов В.В., Костерев Н.В., Денисюк П.Л.

НТУУ «КПИ»

v.v.litvinov1985@mail.ru

This article is devoted to the creating supervisor control model of power system load bundle for providing the transient stability of induction motor, which is the important user of electrical energy according to the technological process. Fuzzy-logic mathematical staff is used for solving the problem of control model creating. Obtained results show that fuzzy-controller solutions promote to increase the transient stability of power system load bundle.

На сегодняшний день, в условиях формирования новых отношений между субъектами электроэнергетического рынка, в условиях физического износа электрооборудования энергосистем и промышленных предприятий, остро стоит проблема надежности функционирования промышленных предприятий с непрерывными технологическими процессами [1-4].

Для промышленных предприятий с непрерывными технологическими процессами важным условием надежного и бесперебойного функционирования электрического оборудования является устойчивая работа промышленной энергосистемы, основными элементами которой являются узлы нагрузки с асинхронными двигателями. Существует ряд исследований и разработок [2-5], направленных на повышение надежной и бесперебойной работы двигательной нагрузки промышленных предприятий. Однако, эти разработки не учитывают объективно существующую неполноту и нечеткость исходной информации об энергосистеме, ее элементах и режимах их работы [6]. Таким образом, учет неполноты и нечеткости информации является важным условием как при определении состояния оборудования так и при принятии решений по управлению энергообъектами, в том числе при обеспечении надежной работы промышленного узла нагрузки.

В работе предлагается метод обеспечения статической устойчивости промышленного узла нагрузки, основанный на нечеткой логике, что позволяет принимать решения при наличии нечетких предпосылок или условий. При этом допускается субъективность знаний, используемых специалистом, и уменьшение неполноты информации при помощи предпочтений пользователя [7].

Для решения поставленной задачи предлагается модель контроллера для обеспечения устойчивости промышленного узла нагрузки энергосистемы, содержащего:

- группу асинхронных двигателей, один из которых является ответственным с точки зрения технологического процесса промышленного предприятия;
- нелинейную статическую нагрузку;
- источник реактивной мощности (батарея статических конденсаторов).

Узел нагрузки соединен с питающей энергосистемой через понижающий трансформатор, снабженный устройством РПН.

Входной величиной контроллера, обеспечивающего статическую устойчивость узла нагрузки, структурная схема которого представлена на Рис.1, является напряжение на шинах узла нагрузки, а датчиком входной величины – трансформатор напряжения.

Здесь четкая входная величина, которой является напряжение, приводится к нечеткости, затем с помощью базы правил проводится операция нечеткого логического вывода, а нечеткая выходная величина приводится к четкости с помощью модели нечеткого вывода Мамдани [8]. Четким выходом является величина управляющего воздействия. Применительно к данному узлу нагрузки можно принимать следующие решения, способствующие повышению запаса статической устойчивости:

1. включение источника реактивной мощности;
2. изменение положения РПН трансформатора;
3. отключение менее ответственных потребителей;
4. комбинации вышеперечисленных решений.



Рисунок.1 - Структурная схема фаззи-контроллера

В качестве лингвистической переменной выбрана величина **«напряжение узла нагрузки»**. Значением этой лингвистической переменной могут быть пять нечетких переменных: **критическое снижение напряжения, большое снижение напряжения, малое снижение напряжения, допустимое снижение напряжения, повышение напряжения**. Эти нечеткие переменные составляют базовое терм-множество [8]. Учитывая не-

большой объем вычислений при обработке в реальном масштабе времени по фаззи-алгоритму, для описания нечетких переменных применены треугольные функции принадлежности (λ -типа) и для дефаззификации метод центра тяжести Мамдани [9].

Функция принадлежности λ -типа переменной x множеству X имеет следующий вид:

$$\mu(x) = \begin{cases} 1 - \frac{a-x}{\alpha}; & a - \alpha \leq x \leq a; \\ 1 - \frac{x-a}{\beta}; & a < x \leq a + \beta; \\ 0; & x < a - \alpha, \quad x > a + \beta. \end{cases} \quad (1)$$

Для построения функций принадлежности нечетких переменных воспользуемся нормами качества потребляемой электроэнергии [11] и расчетными данными напряжения нарушения статической устойчивости ответственного асинхронного двигателя в узле нагрузки.

1. Допустимое напряжение (ДН).

В соответствии с [11], асинхронный двигатель должен работать при $U_{ном}$, а предельно допустимое отклонение напряжения составляет $\pm 10\%$. Принимаем в качестве среднего значения нечеткого числа номинальное напряжение, а в качестве области рассуждения – область предельно допустимых значений в соответствии с нормами качества электрической энергии.

2. Повышение напряжения (ПН).

В соответствии с [11], под повышением напряжения в узле нагрузки понимается превышение напряжением величины $1,1U_{ном}$. Принимаем эту величину в качестве среднего значения нечеткого числа, в качестве левой границы – номинальное напряжение. Ввиду того, что переменная «повышенное напряжение» является крайней справа и выходит за пределы интервала рассуждений, правая граница отсутствует.

3. Снижение напряжения.

В соответствии с ГОСТ 13109-97, это снижение напряжения ниже $0,9U_{ном}$. Поскольку, именно при снижении напряжения, возникает угроза нарушения устойчивости, появляется необходимость определения управляющего воздействия (включение БСК, регулировка РПН, отключение неответственной нагрузки) и его величины, то данный интервал разбит на три нечетких подинтервала.

3.1. Критическое снижение напряжения (КСН).

Эта нечеткая переменная является крайней справа, и ее левая граница отсутствует. Средним значением нечеткого числа является напряжение, при котором происходит нарушение устойчивости ответственного асинхронного двигателя, правая граница определяется из условия линейности синтезируемого контроллера. Для этого интервал между значением напряжения, при котором происходит нарушение устойчивости ответственного асинхронного двигателя и $U_{ном}$ разбивается на три равных под-интервала – по количеству нечетких термов, соответствующих снижению напряжения. Каждая граница под-интервала является средним значением для одного из термов, левой границей для терма, находящегося справа и правой – для терма находящегося слева.

3.2. Малое снижение напряжения (МСН).

Эта нечеткая переменная описывает снижение напряжения от минимально допустимого значения до значения напряжения, являющегося правой границей для первого под-интервала разбиения переменной **снижение напряжения**. Средним значением является правая граница для второго под-интервала.

3.3. Большое снижение напряжения (БСН).

Эта нечеткая переменная описывает снижение напряжения от значения, являющегося правой границей для второго под-интервала разбиения переменной **снижение напряжения** и до значения напряжения при котором происходит нарушения статической устойчивости. Средним значением является правая граница для первого под-интервала.

В результате, получаем следующие функции принадлежностей нечетких входных переменных (Рис.2).

После приведения входной величины к нечеткости, осуществляется процедура нечеткого логического вывода. Основой для проведения нечеткого логического вывода является база правил, содержащая нечеткие высказывания в форме «ЕСЛИ - ТО» и функции принадлежности соответствующих лингвистических термов.

При этом соблюдаются следующие условия:

- существует хотя бы одно правило для каждого лингвистического терма выходной переменной;
- для любого терма входной переменной имеется хотя бы одно правило, в котором этот терм используется в качестве предпосылки [8].

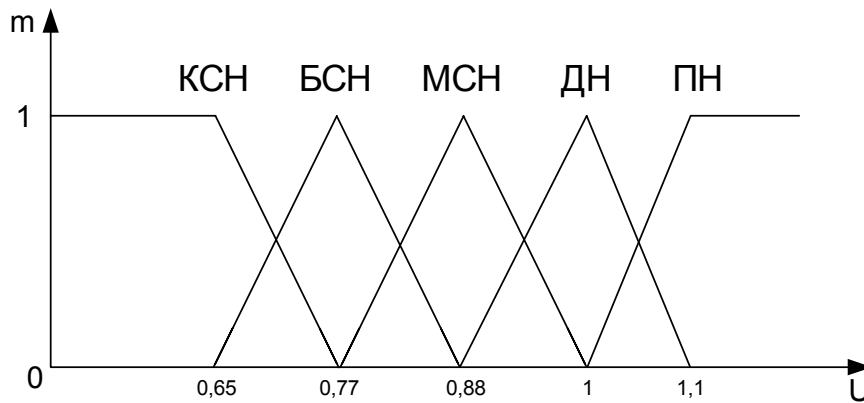


Рисунок 2 - Нечеткие термы входной величины

Для задачи обеспечения статической устойчивости промышленного узла нагрузки база правил имеет следующий вид (Табл.1).

Таблица 1 - База правил принятия решения

ЕСЛИ	ТО
U= «повышение напряжения»	УВ= «Положительное» (П)
U= «допустимое напряжение»	УВ= «Нулевое» (Н)
U= «малое снижение напряжения»	УВ= «Отрицательное малое» (ОМ)
U= «большое снижение напряжение»	УВ= «Отрицательное среднее» (ОС)
U= «критическое снижение напряжения»	УВ= «Отрицательное большое» (ОБ)

Выходной величиной фаззи-контроллера является величина (дозировка) управляющего воздействия при отклонении напряжения в узле нагрузки. Выходная лингвистическая переменная описывается нечеткими термами по типу принимаемых решений, функции принадлежности которых имеют следующий вид (Рис.3):

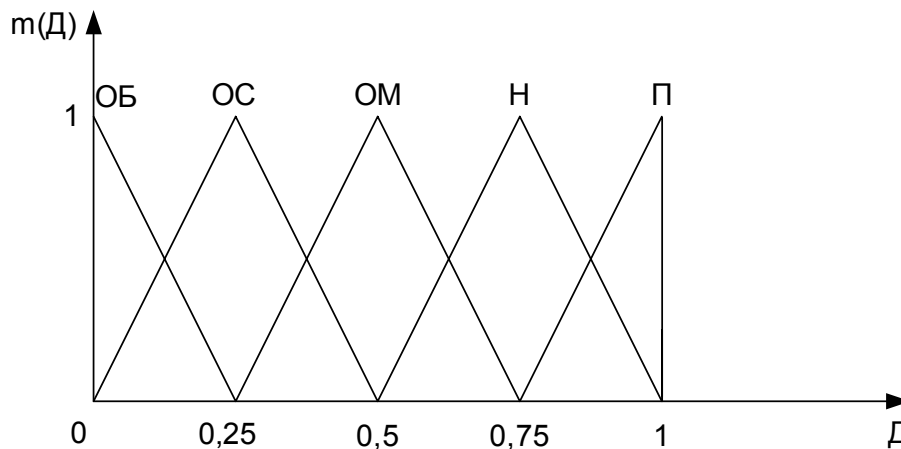


Рисунок 3 - Нечеткие термы выходной величины

Приведение величины управляющего воздействия к четкости осуществляется по методу Мамдани, использующем минимальную композицию нечетких множеств [1]. Дефаззификация проводится в следующей последовательности:

- 1) определение уровней «отсечения» для левой части каждого из правил;
- 2) определение «усеченных функций принадлежности»;
- 3) объединение полученных усеченных функций с помощью максимальной композиции нечетких множеств;
- 4) приведение к четкости методом среднего центра (центроидный метод):

$$y_c = \frac{\sum_i^M \mu(y_{Ci}) y_{Ci}}{\sum_i^M \mu(y_{Ci})} \quad (2)$$

Значение полученного центра тяжести U_C определяет управляющее воздействие, принимаемое для обеспечения статической устойчивости узла нагрузки, и его дозировку в соответствии с таблицей 2.

Таблица 2 - Принятие решения и определение величины управляющего воздействия

U_C	Принимаемое решение
0,825-1	Перемещение РПН в положение +9*1,78
0,625 – 0,825	Ничего не изменять
0,375 – 0,825	Включение БСК
0,125 – 0,375	Включение БСК и перемещение РПН в положение -9*1,78
0 – 0,125	Включение БСК, перемещение РПН в положение -9*1,78 и отключение неотвественных потребителей

На разработанной модели фаззи-контроллера было проведено моделирование послеаварийного режима в питающей сети вследствие которого напряжение в узле нагрузки снизилось до $0,66U_{ном}$, что является недопустимым для мощных асинхронных двигателей. Реализация принятых контроллером решений позволила поднять напряжение в узле нагрузки до $0,93U_{ном}$, следовательно и повысить запас статической устойчивости двигателя по напряжению.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бирюков Е.В., Корнев М.С. Практическая реализация нечеткой нейронной сети при краткосрочном прогнозировании электрической нагрузки. Сборник трудов научной сессии МИФИ, 2005.
2. Меньшов Б.Г., Ершов М.С., Егоров А.В. Исследование новой системы электроснабжения, обеспечивающей повышение устойчивости двигательной нагрузки. Электричество, №8/1997.
3. Ершов М.С., Егоров А.В., Федоров В.А. Некоторые вопросы повышения устойчивости электроприводов многомашинного комплекса с непрерывным технологическим процессом при возмущениях в системе электроснабжения. Промышленная энергетика, №5/1997.
4. Ершов М.С., Егоров А.В. Вопросы повышения устойчивости электрической нагрузки промышленных систем электроснабжения. Промышленная энергетика, №3/1994.
5. Гуревич Ю.Е., Файбисович Л.Д., Хвошинский З.Г. Особенности электроснабжения промышленных предприятий с непрерывными технологическими процессами. Электричество, №1/1990.
6. Веников В.А., Будзко И.А., Левин М.С. и др. О методах решения многокритериальных оптимизационных задач электроэнергетики с неопределенными величинами. Электричество, №2/1987.
7. Сазыкин В.Г. Использование нечетких чисел в задачах электроснабжения. Электричество, №3/95.
8. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976.
9. Архангельский В.И. и др. Системы функции-управления. К.: Техніка, 1997.
10. Домарев В.В. "Безопасность информационных технологий. Системный подход" - К.: ООО ТИД «Диасофт», 2004.
11. ГОСТ 13109-97 «Нормы качества электроэнергии в системах электроснабжения общего назначения».

Рекомендовано д.т.н. Толочко О.И.