

Используя соотношение (4), данные экспериментов таблицы 2, а также программный пакет Matlab 6.1, получим следующую математическую модель процесса анодного эффекта в стационарном режиме.

Функция частоты анодных эффектов имеет вид:

$$X_{77} = K_1 X_0 +$$

$$W_{16}X_4 + W_{19}X_5 + W_{22}X_6 + W_{24}X_7 + W_3X_{14} + W_{35}X_{76}$$

Компоненты уравнения (3) равны:

Результат расчета

$$X = \begin{bmatrix} 1 & 2,31 & 7,33 & 0,89 & 17,2 & 169,5 & 960,5 \\ 1 & 2,36 & 7,39 & 0,84 & 17,1 & 169,5 & 961,0 \\ 1 & 2,36 & 7,39 & 0,84 & 16,7 & 169,5 & 960,2 \\ 1 & 2,36 & 7,39 & 0,84 & 17,0 & 169,5 & 965,0 \\ 1 & 2,31 & 7,44 & 0,87 & 17,8 & 169,2 & 963,6 \\ 1 & 2,31 & 7,44 & 0,87 & 17,4 & 169,5 & 962,5 \\ 1 & 2,35 & 7,40 & 0,85 & 17,5 & 169,5 & 966,5 \end{bmatrix}$$

$$Y = \begin{bmatrix} 121 \\ 50 \\ 57 \\ 74 \\ 78 \\ 93 \\ 72 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 182,09 \\ -2421,3 \\ -456,39 \\ -1290,9 \\ -28,1 \\ 31,96 \\ 5,3 \end{bmatrix}$$

Математическая модель частоты анодных эффектов принимает вид:

$$X_{77} = 182,09 - 2421,3X_4 - 456,39X_5 -$$

$$-1290,9X_6 - 28,1X_7 + 31,96X_{14} + 5,3X_{76}$$

Полученная математическая модель позволит разработать алгоритмы управления анодными эффектами, возникающими при электролизе алюминия, что может сократить нежелательные технологические влияния анодного эффекта и уменьшить затраты на производство.

Литература

1. Теоретические основы электрометаллургии алюминия / Г. А. Абрамов, М. М. Ветюков, И. П. Гупало, А. А. Костюков, Л. Н. Ложкин. М.: Metallurgizdat, 1953. 583 с.
2. Алпатов Ю. Н. Синтез систем управления методом структурных графов. Иркутск : ИГУ, 1988. 144 с.
3. Громько А. И., Шайдуров Г. Я. Автоматический контроль технологических параметров алюминиевых электролизеров. Красноярск : КрасГУ, 1984. 235 с.
4. Янко Э. А., Лозовой Ю. Д. Производство алюминия в электролизерах с верхним токоподводом. М.: Metallurgia, 1976. 160 с.
- 5.

УДК 621.879

М.А. Приходько, Ю.Н. Булатов, И.В.Игнатьев*

РАЗРАБОТКА БЛОКА АВТОНАСТРОЙКИ АРЧМ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

В работе рассматриваются вопросы создания блока автонастройки автоматического регулятора частоты и активной мощности (АРЧМ) в MATLAB на основе нечеткой логики. Показано повышение эффективности и робастности АРЧМ при работе совместно с блоком автонастройки.

Ключевые слова: электроэнергетическая система, моделирование, автоматический регулятор частоты и активной мощности, ПИД-регулятор, фаззи-блок автонастройки, нечеткая логика

* – автор, с которым следует вести переписку

Частота переменного электрического тока является одним из важнейших показателей качества электрической энергии. От частоты зависит производительность вращающихся механизмов (станков, насосов, вентиляторов и т.д.). При снижении частоты их производительность понижается, повышение же частоты приводит к перерасходу электроэнергии. Таким образом, всякое отклонение частоты от номинального значения наносит ущерб как потребителям электроэнергии, так и самим электроэнергетическим системам (ЭЭС). Поэтому частота переменного тока нормируется ГОСТ 13109-97.

В отдельные периоды отклонение частоты может быть существенным, в особенности в часы переменной части графика нагрузки. Для поддержания частоты с требуемой точностью необходимо постоянно устранять отклонения потребляемой и генерируемой активной мощности от запланированного графика нагрузки. В связи с этим обеспечение высокого качества электроэнергии по частоте и оптимизация распределения активной мощности между параллельно работающими синхронными генераторами и электроэнергетическими системами (ЭЭС) является сложной и актуальной задачей, которая решается путем настройки современных автоматических регуляторов частоты и активной мощности (АРЧМ), основанных, как правило, на пропорционально-интегрально-дифференциальном (ПИД) законе регулирования.

Однако, как показали исследования, классический ПИД-регулятор имеет плохие показатели качества при управлении такими сложными объектами, как ЭЭС. Изменение свойств такого объекта регулирования приводит к необходимости коррекции коэффициентов регулятора. Настройка ПИД-регулятора, выполненная традиционным образом, часто не является оптимальной и может быть улучшена с помощью дальнейшей подстройки [1]. Подстройка может быть выполнена оператором на основании эвристических

правил или автоматически с помощью блока нечеткой логики (рис. 1).

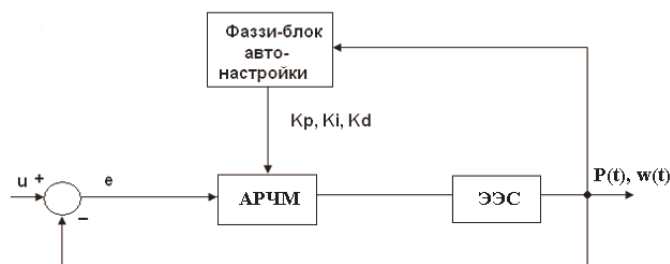


Рис. 1. Структурная схема АРЧМ с блоком автонастройки на основе нечеткой логики.

В предлагаемом авторами методе настройки АРЧМ можно выделить несколько шагов: выбираются диапазоны входных (частота и активная мощность) и выходных сигналов (K_p , K_i , K_d) блока автонастройки, форма функций принадлежности искоемых параметров, правила нечеткого вывода, механизм логического вывода, метод дефаззификации и диапазоны масштабных множителей, необходимых для пересчета четких переменных в нечеткие. Формирование базы правил фаззи-блока, т. е. поиск параметров настройки регулятора для различных режимов, выполняется известными методами оптимизации, например методом Нелдера-Мида [2].

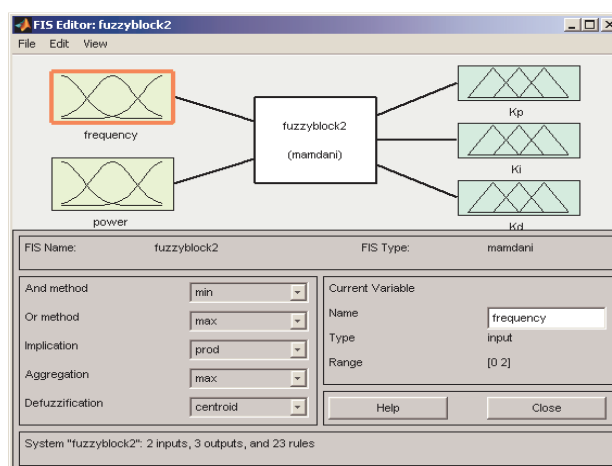


Рис. 2. Главное окно FIS-редактора.

Блок автонастройки коэффициентов АРЧМ, который был создан авторами с

помощью FIS-редактора в программной среде разработки и моделирования MATLAB, представлен на рис. 2. Интерфейс главного окна редактора позволяет задавать необходимые параметры нечеткой системы: метод нечеткого логического И (And method) – значение «min», метод нечеткого логического ИЛИ (Or method) – значение «max», метод импликации (Implication) – значение «min», метод агрегирования (Aggregation) – значение «max» и метод дефаззификации (Defuzzification) – значение «centroid».

При создании фаззи-блока был использован алгоритм нечеткого вывода – Мамдани. Алгоритмы нечеткого вывода различаются главным образом видом используемых правил, логических операций и разновидностью метода дефаззификации.

Для каждой входной и выходной величины были подобраны функции принадлежности, определены их начальные и конечные значения, выбраны соответствующие диапазоны частоты и мощности (низкие, средние, нормальные, высокие и т. д.). Редактор предоставляет пользователю возможность не только выбрать любую из 11 встроенных функций принадлежности, но и задать собственную функцию принадлежности. Авторами был использован треугольный тип функций принадлежности (рис. 3).

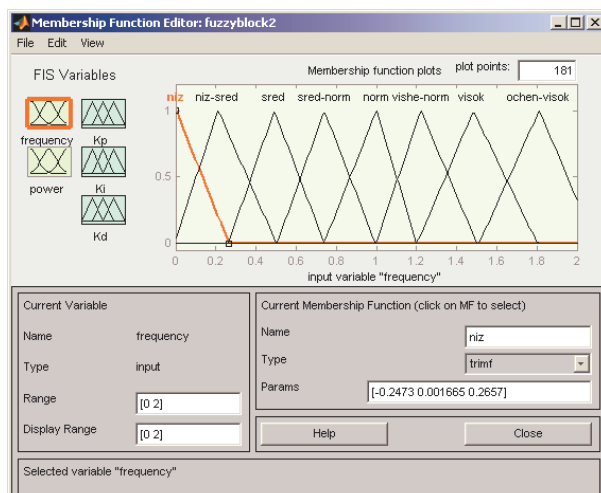


Рис. 3. Интерфейс редактора функций принадлежности нечеткой системы.

Блок нечеткой логики использует набор правил, который создается экспертом и изменяется в редакторе Rule Editor (рис. 4). При введении каждого правила необходимо определить соответствие между каждой функцией принадлежности входного сигнала (*frequency* и *power*) и числовым значением каждого из коэффициентов регулятора (K_p , K_i , K_d).

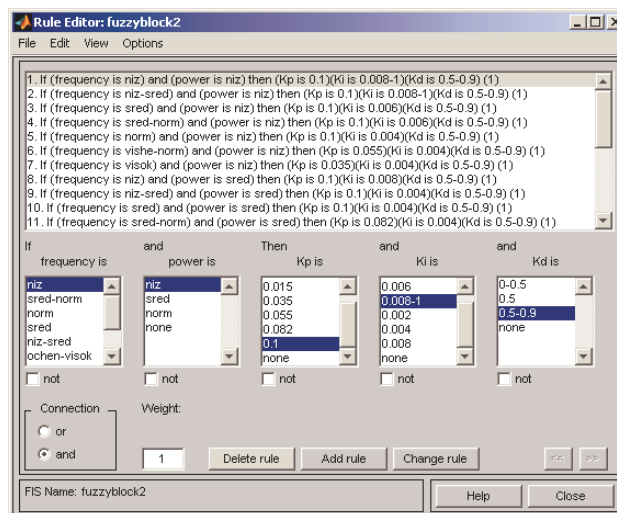


Рис. 4. Интерфейс редактора правил нечеткой системы.

Процесс формирования базы правил блока автонастройки АРЧМ начинается с поиска начальных приближений коэффициентов K_p , K_i , K_d . Обычно это делается методом Зиглера-Никольса, исходя из периода собственных колебаний в замкнутой системе и петлевого усиления. Далее формулируется критериальная функция, необходимая для поиска оптимальных значений параметров настройки АРЧМ. В качестве искоемых параметров выбирают положение максимумов функций принадлежности и масштабные коэффициенты на входе и выходе фаззи-блока. К задаче оптимизации добавляют ограничения на диапазон изменения позиции функций принадлежности. Оптимизация критериальной функции была выполнена с помощью метода Нелдера-Мида [2].

Для проведения виртуального эксперимента авторами с помощью библиотеки Fuzzy Logic Toolbox была создана модель нечеткого блока автонастройки коэффици-

циентов АРЧМ (Fuzzy Logic Controller), схема подключения которого показана на рис. 5. Следует отметить, что используемая при эксперименте модель ЭЭС была дополнена моделью гидравлической турбины (Hydraulic Turbine) с учетом гидроудара для более детального изучения процессов регулирования частоты и активной мощности [3].

С использованием разработанного блока автонастройки АРЧМ было выполнено моделирование переходных процессов на модели ЭЭС в MATLAB. Сравнительный анализ показывает, что в результате подключений крупных потребителей в моменты времени $T=30$ с. и $T=50$ с. наблюдалось лучшее демпфирование колебаний частоты вращения ротора синхронного генератора при использовании блока автонастройки АРЧМ, чем без его использования (рис. 6).

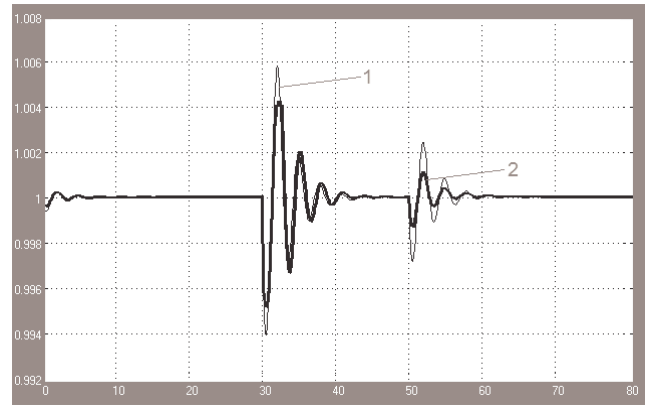


Рис. 6. Оциллограммы изменения частоты вращения ротора генератора:
1 – без использования блока автонастройки; 2 – с использованием блока автонастройки.

Таким образом, разработанный блок автонастройки на основе нечеткой логики позволяет уменьшить перерегулирование, снизить время переходного процесса, повысить робастность и демпферные свойства АРЧМ.

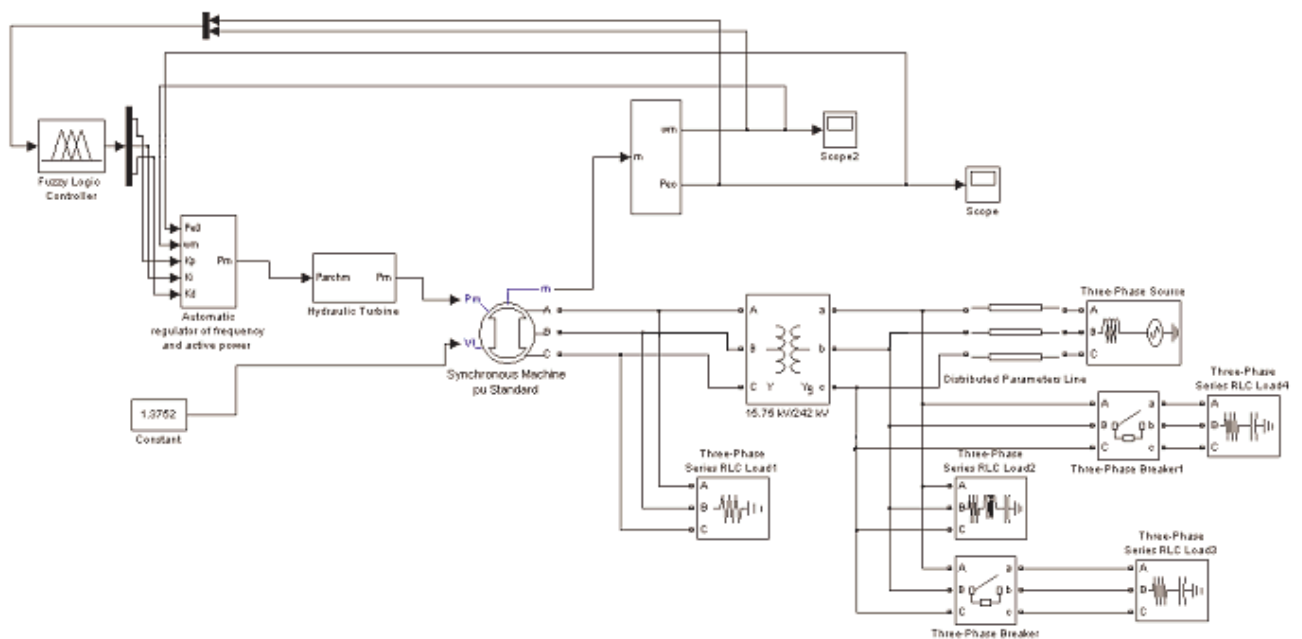


Рис. 5. Схема ЭЭС с подключением нечеткого блока автонастройки АРЧМ в MATLAB.

Литература

1. В. Денисенко ПИД-регуляторы: принципы построения и модификации // СТА. – №1, 2007. – С. 84-85.

2. М.А. Приходько, И.В. Игнатъев, Ю.Н. Булатов Оптимизация коэффициентов регулирования системы АРЧМ с помощью метода Нелдера–Мида // Труды Братского государственного университе-

та: Сер.: Естественные и инженерные науки – развитию регионов Сибири: В 2 т. – Т.1. – Братск: БрГУ, 2010.-С.15-21.

3. Ю.Н. Булатов, И.В. Игнатъев Моделирование гидротурбин и автоматических регуляторов частоты и активной мощности в среде MATLAB // Системы. Методы. Технологии. – 2009. – №4. – С. 67-70.