

ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМ НЕЧЕТКОГО УПРАВЛЕНИЯ ИСТОЧНИКАМИ ПИТАНИЯ ИНДУКЦИОННЫХ УСТАНОВОК

Д. В. Кобец, к.т.н., доц., С. Н. Середа, асп.

Донбасский государственный технический университет, г. Алчевск

пр. Ленина, 16, 94204, г. Алчевск, Украина

E-mail: kdwork@mail.ru

Рассматривается система нечеткого управления источником питания индукционных установок. Моделируются динамические процессы в источнике питания с различными вариантами настроек нечеткого ПИ-регулятора. Определено, что количество нечетких переменных может быть минимизировано.

Ключевые слова: нечеткий регулятор, источник питания.

Введение. Одной из проблем современной электротехники является создание мощных высокоэффективных источников питания, большая потребность в которых испытывается в электрометаллургии и электротермии. Источники питания электротехнологических установок индукционного нагрева, с точки зрения теории автоматического управления, являются сложными нелинейными объектами, причем известно, что параметры нагрузки в таких установках меняются за время нагрева в несколько раз [1].

Анализ предыдущих исследований. На сегодняшний день для решения подобного рода задач управления широко используются интеллектуальные методы, основанные на имитации мышления человека. При этом выделяют два типа интеллектуальных систем управления – на основе нейросетевых технологий и на основе нечеткой (fuzzy) логики [2, 3]. Системы управления с нечеткими регуляторами хорошо зарекомендовали себя при управлении сложными объектами с параметрами, изменяющимися в широких пределах [4]. Разработка нечетких регуляторов для управления источниками питания электротехнологических установок является актуальной задачей.

Цель работы. Оценка эффективности использования нечетких регуляторов в источниках питания индукционных установок путем сопоставления динамики источника питания с нечеткими регуляторами с различными алгоритмами функционирования в условиях изменения параметров нагрузки.

Материал и результаты исследования. Нечеткий регулятор традиционно строится как некоторое вычислительное устройство с определенной структурой, приведенной на рис. 1. Она состоит из следующих элементов: блока фаззификации, который преобразует входные физические величины x_i в соответствующие им лингвистические переменные $\mu(x_i)$; базы знаний, содержащей набор правил; блок логического вывода, который преобразует входные лингвистические переменные в выходные с определенными функциями принадлежности $\mu(y)$; блок дефаззификации, который преобразует выходную лингвистическую переменную в физическое управляющее воздействие. При общей структуре нечеткие регуляторы могут существенно отличаться способами фаззи- и дефаззификации, количеством и способом составления правил, алгоритмом получения логического вывода и другими нюансами. Наибольшее распространение получили фаззификация треугольными функциями принадлежности, логические выводы Мамдани и Сугено [3].

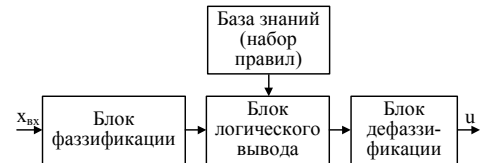


Рисунок 1 – Структурная схема нечеткого регулятора

Что касается количества признаков, характеризующих входные величины, то в данном случае существуют только рекомендации по выбору признаков в количестве 7 ± 2 , т. н. «магическое число семь», свойственное человеческой оперативной памяти. Если учесть специфические особенности источников питания индукционных установок как объекта управления, то возможно оптимизировать параметры нечеткого регулятора и минимизировать количество используемых признаков и правил, что приведет к снижению объема вычислений и увеличению быстродействия.

Силовая часть источника питания (рис. 2) представляет собой неуправляемый выпрямитель (В), тиристорный мостовой резонансный инвертор (И) с удвоением частоты и нагрузку (Н).

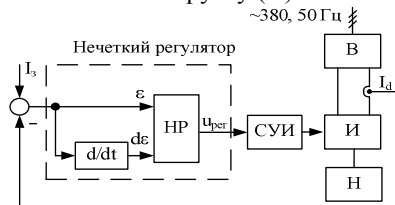


Рисунок 2 – Структурная схема источника питания

Система управления преобразователем представляет собой двухуровневую автоматическую систему, в которой отсутствует присущий частотно- управляемым преобразователям генератор отпирающих импульсов. Нижний уровень системы управления инвертором (СУИ) построен по асинхронному принципу. Этот принцип заключается в следующем. При запуске на одну из диагоналей подается единственный стартовый импульс. Тиристоры диагонали отпираются, и в преобразователе начинается колебательный процесс, который контролируется датчиками проводимости тиристоров. Как только первое колебание затухает, то есть ток через проводящие тиристоры достигнет нуля, начинается отсчет и выдерживается определенная пауза. Затем подается отпирающий импульс на вторую диагональ и процесс повторяется. Расчет необходимой паузы осуществляется на верхнем уровне, для чего используется нечеткий регулятор с обратной связью по

какой-либо координате преобразователя. Выбор такой координаты зависит от требований к технологическому процессу и энергетике источника питания. В данной работе использовалась обратная связь по входному току преобразователя I_d .

Для дальнейшего анализа характеристик источника питания принято допущение, что все элементы идеальные, а нагрузка преобразователя учитывается в виде параллельного RLC - контура. Для получения обобщенных результатов использовалась система относительных единиц.

В работе рассматривался нечеткий ПИ-регулятор Мамдани (рис. 3) с центроидным методом дефазификации и различными наборами признаков и правил.

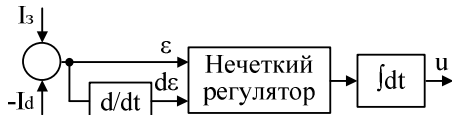


Рисунок 3 – Структурная схема нечеткого ПИ-регулятора

Для оценки качества управления была выбрана взвешенная модульная интегральная оценка вида:

$$J = \int_0^T t |I_d^* - I_d| dt,$$

где I_d^* – требуемое значение входного тока.

Первый вариант набора функций принадлежности (рис. 4) и правил принят, исходя из минимально доступного варианта классификации, то есть содержит всего два термина – «положительный» (P) и «отрицательный» (N).

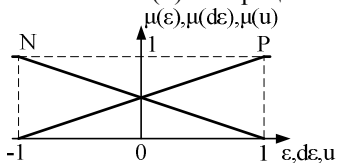


Рисунок 4 – Функции принадлежности входных и выходной переменных (вар. 1)

Первый набор правил следующий:

"Если $\epsilon - P$ и $d\epsilon - P$, то $u - P$;
"Если $\epsilon - N$ и $d\epsilon - N$, то $u - N$."

Такой набор правил обеспечивает системе разгон и торможение, т. е. некое подобие релейного способа управления.

Второй вариант отличается добавлением признака «нулевой» (Z) в управляющее воздействие для обеспечения лучшей стабилизации (рис. 5).

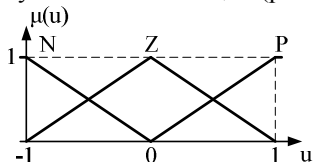


Рисунок 5 – Функции принадлежности выходной переменной (вариант 2)

База знаний в этом случае составляется из следующих правил:

"Если $\epsilon - P$ и $d\epsilon - P$, то $u - P$;
"Если $\epsilon - N$ и $d\epsilon - N$, то $u - N$;
"Если $\epsilon - P$ и $d\epsilon - N$, то $u - Z$;
"Если $\epsilon - N$ и $d\epsilon - P$, то $u - Z$."

Третий вариант набора правил аналогичен широко распространенному варианту [4], при котором используется одинаковое количество функций принадлежности для входных и выходных переменных (рис. 6) и может быть представлен в виде табл. 1.

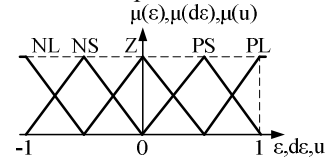


Рисунок 6 – Функции принадлежности входных и выходной переменных (вариант 3)

Таблица 1 – Третий вариант набора правил

| | | ϵ | | | | |
|-------------|------|------------|------|------|------|------|
| | | "NL" | "NS" | "Z" | "PS" | "PL" |
| $d\epsilon$ | "NL" | "NL" | "NS" | "NS" | "NS" | "Z" |
| | "NS" | "NL" | "NS" | "NS" | "Z" | "PS" |
| | "Z" | "NS" | "NS" | "Z" | "PS" | "PS" |
| | "PS" | "NS" | "Z" | "PS" | "PS" | "PL" |
| | "PL" | "Z" | "PS" | "PS" | "PL" | "PL" |

Оптимизация нечеткого регулятора производилась с применением пакета MATLAB и встроенной функции fmincon. Параметрами оптимизации являлись коэффициенты функций принадлежности, определяющие их форму. Положение функций принадлежности не менялось.

Сравнение вариантов осуществлялось путем моделирования в относительных единицах пуска источника с номинальной нагрузкой, а также при увеличении нагрузки на 50 % и уменьшении на 50 % от номинальной.

На рис. 7 приведена программа оптимизации для первого варианта правил. Другие варианты выполнялись аналогично.

```
%Программа оптимизации
options=optimset('MaxFunEvals',10,...
'TolX',0.1,'TolFun',0.1);
options=[];
options=optimset('Display','iter');
options.LargeScale='off';
options.LevenbergMarquardt='on';
options.TolX=0.001;
options.TolFun=0.001;
Xny=[1 1];
Xnz=[0 0];
Xver=[10 10];
[x,fval,exitflag,output]=fmincon(@k_1,Xny,...
,[],[],[],[],Xnz,Xver,'confun',options)
si=1:stochnc_1(30);
figure(1);
plot(Gaf1.time,Gaf1.signals.values);
grid;
s=0;
for n=1:max(size(Gaf1.signals.values))-1
s=s+(Gaf1.time(n+1)-Gaf1.time(n))*...
*Gaf1.time(n)*abs(Gaf1.signals.values(n)-1);
end
J=s;
```

Рисунок 7 – Программа оптимизации

На рис. 8 и рис. 9 приведен пример смоделированного переходного процесса в источнике питания с номинальной нагрузкой и с последующим сбросом нагрузки на 50 % для первого и второго наборов правил.

В табл. 2 приведены значения интегральной оценки и количество итераций при оптимизации для различных экспериментов.

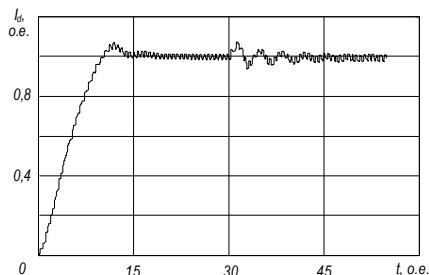


Рисунок 8 – График переходного процесса в источнике питания при использовании первого набора правил

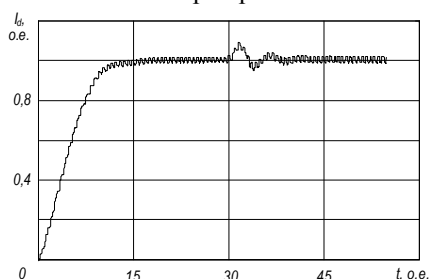


Рисунок 9 – График переходного процесса в источнике питания при использовании второго набора правил

Таблица 2 – Сравнительные характеристики вариантов набора правил

| | Нагрузка | | | Количество итераций |
|--------|-------------|------|-------|---------------------|
| | номинальная | +50% | -50% | |
| Вар. 1 | 16,5 | 38,5 | 125,3 | 51 |
| Вар. 2 | 19,1 | 41,9 | 70,4 | 79 |
| Вар. 3 | 29,5 | 43,2 | 50,1 | 360 |

Выводы. При сравнении динамики нечетких регуляторов с различным набором правил было установлено, что минимальный набор признаков и

правил обеспечивает высокое качество управления источником питания индукционной установки. Но вариант, в котором присутствует дополнительная стабилизация за счет «нулевого» признака в выходной координате и соответствующие этому признаку правила, обеспечивает лучшее качество при вариации параметров нагрузки.

Широко распространенный вариант с использованием пяти и более нечетких признаков входных и выходных переменных и соответствующий полный перебор правил дает удовлетворительное качество процессов и хорошую стабильность характеристик при вариации параметров. Однако, в связи с существенным ростом пространства поиска оптимальных значений и увеличением количества итераций, применение такого варианта не оправдано.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тиристорные преобразователи частоты / А.К. Белкин, Т.П. Костюкова, Л.Э. Рогинская, А.А. Шуляк. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 263 с.
2. Усков А.А., Кузьмин А.В. Интеллектуальные технологии управления. Искусственные нейронные сети и нечеткая логика. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 144 с.
3. Гостев В.И. Синтез нечетких регуляторов систем автоматического управления. – К.: «Радиоаматор», 2003. – 512 с.
4. Sefa I. Simulation of fuzzy logic controlled grid interactive inverter / I. Sefa, N. Altin // University of Pitesti – Electronics and computers science. Scientific bulletin, No. 8, Vol.2, 2008.

Стаття надійшла 10.06.2011 р.
Рекомендовано до друку к.т.н., доц.
Перекрестом А.Л.

ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМ НЕЧІТКОГО УПРАВЛІННЯ ДЖЕРЕЛАМИ ЖИВЛЕННЯ ІНДУКЦІЙНИХ УСТАНОВОК

*Д. В. Кобець, к.т.н., доц. С. Н. Серета, м.н.с.
Донбаський державний технічний університет, м. Алчевськ
пр. Леніна, 16, 94204, м. Алчевськ, Україна
E-mail: kdwork@mail.ru*

Розглядається система нечіткого управління джерелом живлення індукційних установок. Моделюються динамічні процеси в джерелі живлення з різними варіантами настроювання нечіткого ПІ-регулятора. Визначено, що кількість нечітких змінних може бути мінімізована.

Ключеві слова: нечіткий регулятор, джерело живлення.

OPTIMIZATION OF FUZZY LOGIC CONTROL SYSTEM BY POWER SUPPLIES OF INDUCTIVE INSTALLATIONS

*D. Kobets, Cand.Sc. (Eng.), Assoc. Prof., S. Sereda
Donbass State Technical University, Alchevsk
pr. Lenina, 16, 94204, Alchevsk, Ukraine
E-mail: kdwork@mail.ru*

The fuzzy logic control system of the power supply of induction installation is considered. Modeling of dynamic processes in the power supply with various variants of adjustment fuzzy logic PI- controller is spent. It is defined, that the quantity of signs of variables can be minimized.

Key words: fuzzy logic controller, the power supply.