

DOI: 10.34031/article_5d08b52f6c2b69.97192016

^{1,*}Фархадов З.И., ¹Рагимов Ш.Р., ¹Абдуллаев С.А., ²Осадчая М.С.¹Сумгаитский государственный университет

Азербайджан, AZ 5008, г. Сумгаит, л. Баку I, квартал 43

¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46

*E-mail: z.farkhadov@gmail.com

УПРАВЛЕНИЕ КОМПЕНСАЦИЕЙ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ИНДУКЦИОННОЙ ПЕЧИ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Аннотация. Индукционные печи (ИП) промышленной частоты часто используются на многих промышленных предприятиях для плавки черных и цветных металлов и их сплавов, а также для перегрева их перед разливкой. Сопротивление электропечной установки имеет индуктивный характер. Полная мощность индукционной установки включает в себя активную так и реактивную составляющую, где реактивная мощность является регулируемым электрическим параметром. Во время плавки металлов изменяется активно-индуктивная нагрузка индукционной установки, а значение ее коэффициента мощности доходит до 0,3. Компенсация реактивной мощности на вводе индуктора ИП приводит к существенному уменьшению установленной мощности электропечного трансформатора регулируемого под нагрузкой, потерь электроэнергии и сечения кабельных линий. В качестве устройств поперечной компенсации обычно применяют батареи электрических конденсаторов (БК). Разработана схема и нечеткий алгоритм регулирования реактивной мощности индукционной печи промышленной частоты на основе нечеткой логики. При исследовании работы нечеткого контроллера управления компенсацией реактивной мощности ИП промышленной частоты на основе алгоритма Мамдани было получено, что нечеткий алгоритм лучше поддерживает заданную величину и направление реактивной мощности на месте подключения индуктора ИП к электропечному трансформатору. Нечеткий регулятор быстрее реагирует на изменение реактивной мощности.

Ключевые слова: системы электроснабжения; системы регулирования; нечеткая логика; реактивная мощность; функция принадлежности; индукционная печь.

Индукционные печи (ИП) промышленной частоты часто используются на многих промышленных предприятиях для плавки черных и цветных металлов и их сплавов, а также для перегрева их перед разливкой [1–4]. Плавка черных и цветных металлов и их сплавов в ИП тесно связана с температурой металла. Изменение температуры или ее поддержание на одном уровне осуществляется в результате изменения напряжения на вводах индуктора ИП. Регулирование напряжения источника электроэнергии ИП осуществляется с помощью электропечного трансформатора регулируемого под нагрузкой. Ступенчатое изменение напряжения на вторичной обмотке электропечного трансформатора происходит за счет уменьшения или увеличения числа витков первичной обмотки. Полная мощность индукционной установки включает в себя активную так и реактивную составляющую, где реактивная мощность является регулируемым электрическим параметром. Это связано с тем, что сопротивление электропечной установки имеет индуктивный характер. Во время плавки металлов изменяется активно-индуктивная нагрузка индукционной установки, а значение ее коэффициента мощности доходит до 0,3. Компенсация реактивной мощности на вводе индуктора ИП приводит к существенному уменьшению установленной мощности

электропечного трансформатора регулируемого под нагрузкой, потерь электроэнергии и сечения кабельных линий. В качестве устройств поперечной компенсации обычно применяют батареи электрических конденсаторов (БК), состоящих из N секций (C_1 – C_N), которые соединяются в различных сочетаниях поперечно индуктору ИП [5–6]. Учитывая, что в реальных условиях при работе ИП изменение потребляемой мощности носит случайный характер, это может ограничивать работу регуляторов тока и компенсирующих устройств (КУ).

В данной работе предлагается структура нечеткого регулятора реактивной мощности, синтезируемого по модели на основе нечеткой логики.

Структура нечеткого регулятора. Рассматривается задача построения структурной схемы нечеткого контроллера управления компенсацией реактивной мощности ИП, устанавливающего границу мощности конденсаторов КУ или дискретное число единичных элементов батареи конденсаторов для отдельных периодов процесса плавки. Число конденсаторов будет соответствовать значению реактивной мощности, потребляемой для покрытия (компенсации) суммарной мощности высших гармонических составляющих в рассматриваемом интервале времени плавки. Необходимое число конденсаторов

для каждого i -го текущего интервала может быть оценено по выражению

$$N_c = \frac{P_{ип,i} tg\varphi_{(ип)} k_{b(ип)}}{2\pi f U_{(i)}^2 C_1} = \frac{Q_{ип(i)} k_{b(ип)}}{2\pi f \cdot C_1 U_{(i)}^2},$$

где $U_{(i)}$ – напряжение на вторичной обмотке печного трансформатора в i -ном интервале процесса плавки; $P_{ип(i)}, Q_{ип(i)}$ – активная и реактивная мощность потребляемая ИП из сети в i -ном интервале процесса плавки; C_1 – электрическая ем-

кость одного конденсатора; $tg\varphi_{ип(i)}$ – коэффициент реактивной мощности в i -ном интервале процесса плавки; $k_{b(ип)}$ – коэффициент запаса ($k_b = 1,1 - 1,3$) [2, 4]; f – частота переменного тока.

На рис. 1 приведена структурная схема нечеткого контроллера управления компенсацией реактивной мощности ИП промышленной частоты, осуществляемого изменением числа секций КУ в каждом периоде процесса плавки.

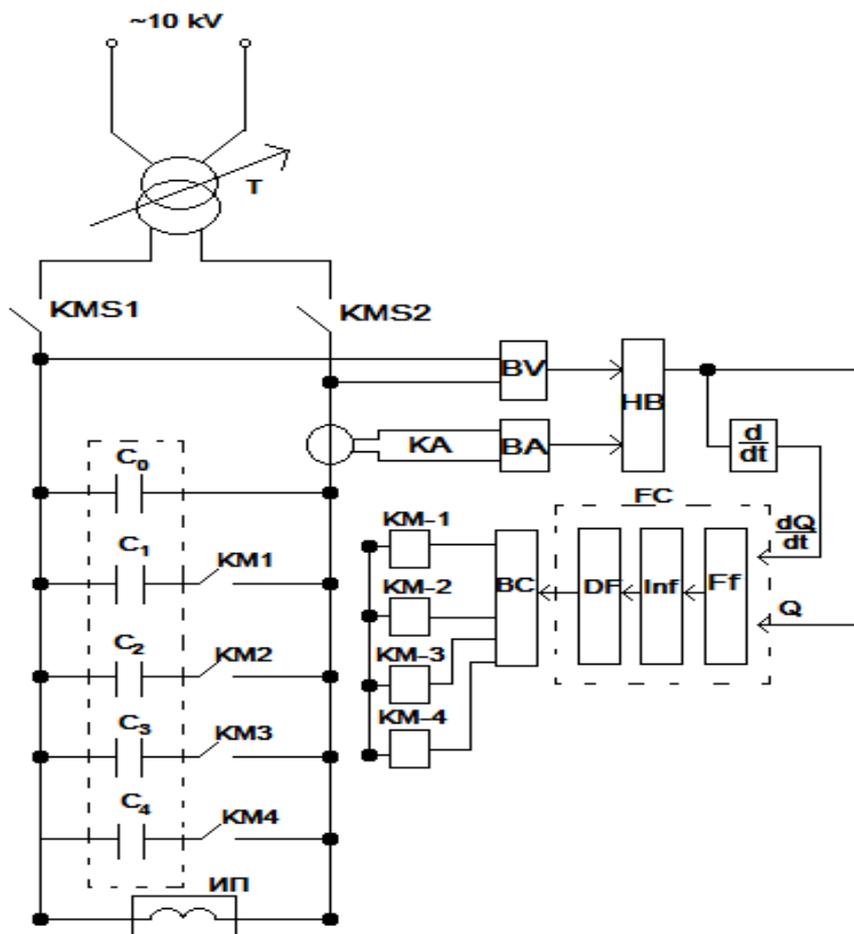


Рис. 1. Структурная схема управления ИП

Схема работает следующим образом. На основе информации, поступающей от датчиков тока и напряжения ВА и BV в дискриминаторе реактивной мощности НВ образуется сигнал, пропорциональный величине реактивной мощности со знаком, определяющим характер нагрузки (индуктивный или емкостной). Далее этот сигнал поступает на первый вход нечеткого контроллера FC. На второй вход поступает производная от реактивной мощности $\frac{dQ}{dt}$. Нечеткий контроллер FC, включающего фазификатор Ff, предназначенный для трансформации четких сигналов в нечеткие множества; блок Inf таблицы лингвистиче-

ских правил, описывающих нечеткие соотношения между входными и выходными параметрами регулятора; дефазификатор DF, где полученное нечеткое значение поступает на вход блока управления коммутаторами мощности батарей конденсаторов BC. Первая секция конденсаторов C_0 постоянно подключена к индуктору ИП, а секции конденсаторов $C_1 - C_N$ коммутируются соответствующими контакторами KM. Коммутируемые секции соединены с блоками, осуществляющими разряд конденсаторов $C_1 - C_N$ при их отключении от индуктора ИП.

Алгоритм функционирования нечеткого регулятора. Для управления компенсацией реак-

тивной мощности ИП, выбран алгоритм Мамдани [7–11]. Построение интеллектуальной системы управления компенсацией реактивной мощности ИП осуществляется в следующей последовательности:

1) определение входов и выходов системы управления компенсацией реактивной мощности

ИП; 2) задание для каждой из входных и выходных переменных функции принадлежности; 3) разработка лингвистических правил; 4) выбор и реализация алгоритма нечеткого логического вывода; 5) анализ процесса управления компенсацией реактивной мощности. Общий логический вывод выполняется по схеме, представленной на рис. 2.

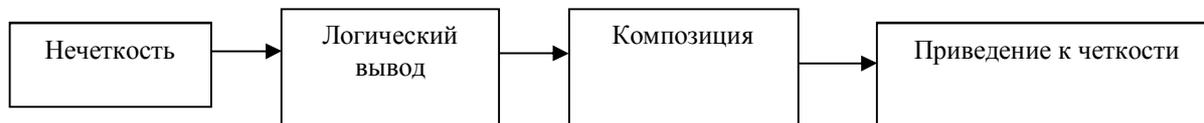


Рис. 2. Схема логического вывода

Функции принадлежности, использованные в данной статье, были, в основном, четырёх ви-

дов: треугольные, трапецидальные, S- и Z-образные. Параметры и формулы Функции принадлежности показаны в таблице 1.

Таблица 1

Параметры и формулы функции принадлежности

Функция принадлежности	Параметры	Формула
S-образная	a, b	$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x < b \\ 1, & b < x \end{cases}$
Z-образная	b, c	$\mu(x) = \begin{cases} 1, & x < b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b < x < c \\ 0, & c < x \end{cases}$
Треугольная	a, b, c	$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x < b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b < x < c \\ 0, & c < x \end{cases}$
Трапецидальные	a, b ₁ , b ₂ , c	$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{x-a}{b_1-a}, & a < x < b_1 \\ 1, & b_1 < x < b_2 \\ \frac{c-x}{c-b_2}, & b_2 < x < c \\ 0, & c < x \end{cases}$

При работе контроллера по алгоритму Мамдани для поддержания отклонения реактивной мощности в нормируемых пределах на вход нечёткого контроллера подавались: вычисленное значение реактивной мощности и производная от реактивной мощности $\frac{dQ}{dt}$. С выхода – снимались управляющие воздействия по переключению коммутируемой емкости либо с наращиванием, либо со снижением суммарного значения. При отсутствии соответствующей команды величина емкости не изменялась.

Все входные величины поступающих от датчиков тока и напряжения являются точными значениями, поскольку снимаются с реальных измерительных приборов, которые выдают точные значения измеряемых параметров. Далее, в самом нечетком контроллере эти величины уже преобразуются к нечётким значениям. После реализация алгоритма нечеткого логического вывода, полученные выходные переменные вновь преобразуются к точному (обычному) виду. Для работы нечёткого контроллера использовались следующие лингвистические переменные:

1. На вход нечеткого контроллера (входные переменные) поступают:

- **Реактивная мощность (Q)** на месте подключения индуктора ИП к электропечному трансформатору; - **Динамика** изменения реак-

тивной мощности (производная реактивной мощности $\frac{dQ}{dt}$). Нечеткие значения, функции принадлежности и параметры входных лингвистических переменных показаны в таблице 2, а их графическое представление на рис. 2–3.

Таблица 2

Нечеткие значения, ФП и параметры входных лингвистических переменных

Значение переменной	Функция принадлежности	Параметры
Реактивная мощность		
Очень малая	Z-образная	(0 0,4)
Малая	треугольная	(0,01 0,045 0,9)
Средняя	треугольная	(0,46 0,905 1,36)
Большая	треугольная	(0,91 1,35 1,8)
Очень большая	S-образная	(1,4 1,76)
Динамика		
Очень отрицательное	Z-образная	(- 0,8 -0,5)
отрицательное	треугольная	(-1 -0,5 0)
Нулевое	треугольная	(-0,5 0 0,5)
Положительное	треугольная	(0 0,5 1)
Очень положительное	S-образная	(0,5 0,8)

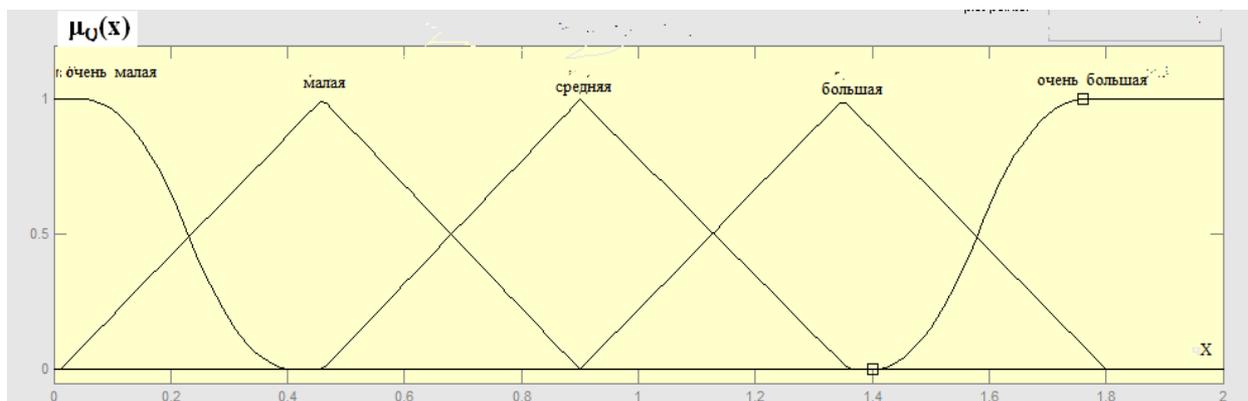


Рис. 2. Нечеткие значения переменной "Реактивная мощность"

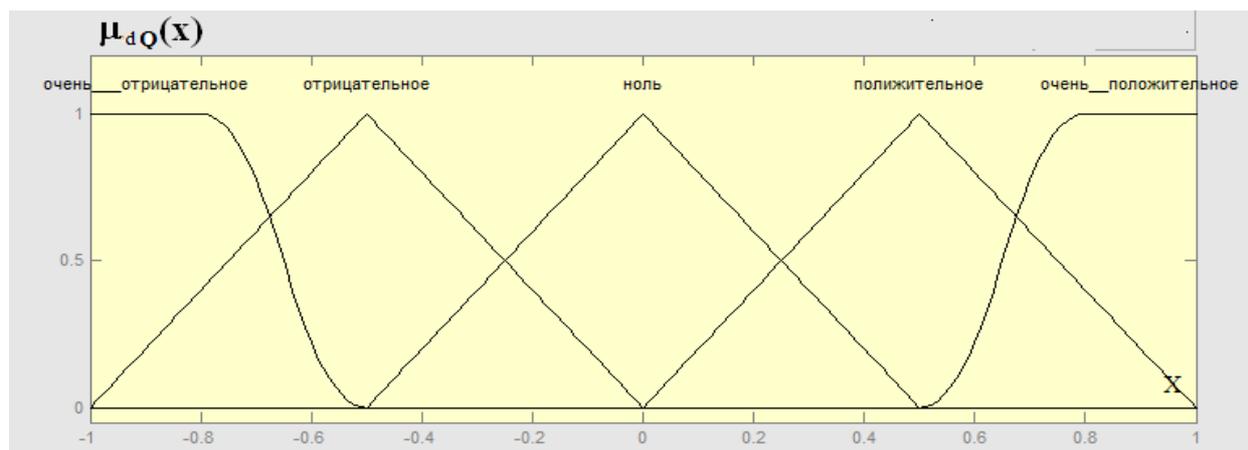


Рис. 3. Нечеткие значения переменной "Динамика"

2. С выхода контроллера поступает значение лингвистической переменной (выходная переменная) – **Направление** следующего переключения секции конденсаторной батареи (табл. 3 и рис. 5).

В процессе работы были опробованы различные варианты работы контроллера. По выше

приведенным переменным было составлено 25 правил нечеткого вывода для данной системы. Лингвистическая таблица правил приведена на таблице. Символы в обозначениях термов означают:

ОМ – очень малая; М – малая; С – средняя; Б – большая; ОБ – очень большая; ОО – очень отрицательное; О – отрицательное; Н – нулевое; П –

положительное; ОП – очень положительное; ВС – включить секцию; ОС – отключить секцию; СТ – стоп.

Таблица 3

Нечеткие значения, ФП и параметры выходных лингвистических переменных

Значение переменной	Функция принадлежности	Параметры
Направление		
Вверх	трапецидальная	(0.5 0.75 1.25 1.5)
Вниз	трапецидальная	(-1.5 -1.25 -0.75 -0.5)
Стоп	трапецидальная	(-0.5 -0.25 0.25 0.5)

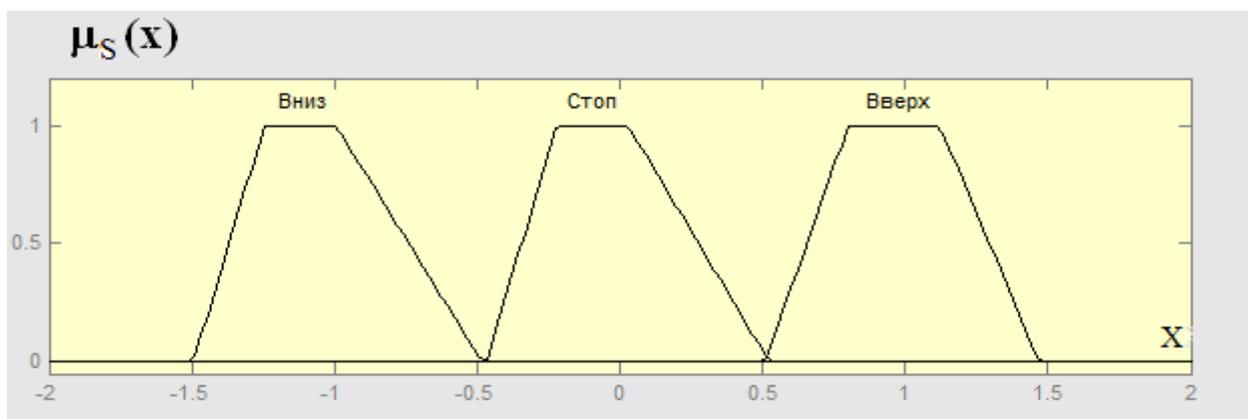


Рис. 4. Нечеткие значения переменной "Направление"

Таблица 4

Лингвистическая таблица правил

Q dQ	ОМ	М	С	Б	ОБ
ОО	СТ	СТ	ОС	ОС	ОС
О	СТ	ОС	ОС	ОС	ОС
Н	ВС	ВС	ВС	ВС	ВС
П	ВС	ВС	ВС	ВС	ВС
ОП	ВС	ВС	ВС	ВС	ВС

Результаты компьютерного моделирования

Моделирование режимов работы ИП с учетом нечеткого регулирования потребляемой реактивной мощности выполнено на примере индукционной печи типа ИЧТ-2,5/1000 промышленной частоты, с номинальной емкостью 2,5т, питающим напряжением 6–10 кВ, номинальным напряжением контурной цепи 495 В и со скоростью расплавления и перегрева 0,33т/ч. Потребляемая мощность ИП 990 кВА, а мощность питающего печного трансформатора составляет 1000 кВА. Время нагрева и плавления составляет 35 мин и определяется по формуле $t_k = 840G/P_T$, где P_T – средняя полезная мощность, кВт; G – масса заготовки, кг [2].

Расчетные эксперименты проведены в среде Matlab с использованием программного комплекса Fuzzy Logic Toolbox [14–15].

На рис. 5 показан график изменения реактивной мощности на нагрузке, а также приведены кривые, соответствующие обычному (традиционному «четкому») регулированию реактивной мощности (синяя кривая) и нечеткому регулированию (кривая красного цвета). При работе нечеткого (fuzzy) и классического, четкого (crisp) регуляторов видно, что при выходе реактивной мощности за зону нечувствительности (200 кВАр) происходит срабатывание регуляторов. Но нечеткий контроллер реагирует на изменение реактивной мощности быстрее. В процессе работы ИП регулятор «подстраивается» в зависимости от текущего положения секций конденсаторной батареи.

Можно утверждать, что компенсирующие устройства на основе нечеткой логики более предпочтительны для компенсации реактивной мощности на месте подключения индуктора ИП к электропечному трансформатору, по сравнению с компенсирующими устройствами на основе четкой логики. Компенсация реактивной мощности получается более качественным.

Выводы. Разработана схема и нечеткий алгоритм регулирования реактивной мощности на месте подключения индуктора ИП к электропечному трансформатору с использованием нечеткой логики. При исследовании работы нечеткого

контроллера управления компенсацией реактивной мощности ИП промышленной частоты на основе алгоритма Мамдани было получено, что нечеткий алгоритм лучше поддерживает заданную величину и направление реактивной мощности

на месте подключения индуктора ИП к электропечному трансформатору. Нечеткий регулятор быстрее реагирует на изменение реактивной мощности.

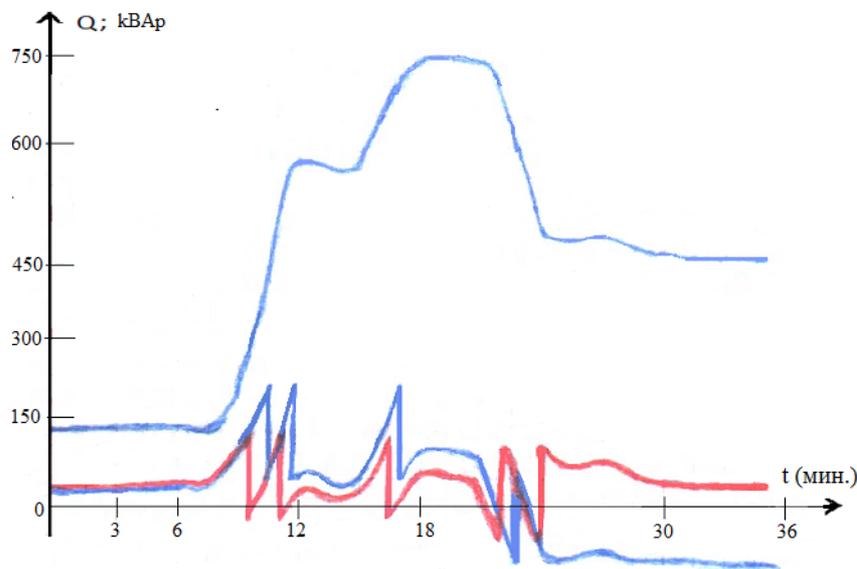


Рис. 5. Кривые изменения реактивной мощности до и после управления

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Электротермическое оборудование. Справочник. Под общ. ред. А.П. Альтгаузена. М.: Энергия, 1980. 416 с.
2. Слухоцкий А.Е. Установки индукционного нагрева. Л. Энергоиздат, Ленинградское отделение, 1981. 330 с.
3. Соколов М.М., Гасевич В.Н. Электрооборудование механизмов электротермических установок. М.: Энергоатомиздат, 1983. 320 с.
4. Алиферов А.Н. и др. Электротермические процессы и установки. Красноярск, 2007. 360 с.
5. Ильяшов В.П. Автоматическое регулирование мощности конденсаторных установок. М. Энергия-2-е издание. 1979. 105 с.
6. Копырин В., Ткачук А. Контроллер управления компенсацией реактивной мощности индукционной печи промышленной частоты // Силовая Электроника. 2005. № 1. С. 96–99.
7. Гашимов А.М., Рахманов Н.Р., Гулиев Г.В. Улучшенный алгоритм нечеткой логики для управления реактивной мощностью и напряжением в распределительных сетях // Энергетика: межд. науч.-техн. Журнал. Минск. 2014. №2. С. 29–39.
8. Guliyev H.B., Farkhadov Z.I. Mammadov J.F. System of automatic regulation of reactive power by means of fuzzy logic // Reliability: Theory

& Applications. Vol.10. No.2 (37). USA. San Diego. 2015. Pp. 50–58.

9. Рахманов Н.Р., Гулиев Г.Б., Фархадов З.И. Идентификация структуры нечеткого регулятора реактивной мощности // Электро. Электротехника, Электроэнергетика, электротехническая промышленность. 2015. № 4. С. 28–31.

10. Zadeh L. Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes, IEEE Trans. on Systems, Men and Cybernetics. Vol. smc-3. jan. 1973. Pp. 28–44.

11. Алиев Р.А., Алиев Р.Р. Теория интеллектуальных систем и ее применение. Баку, Чашыюглу, 2001. 720 с.

12. Nayeripour M., Khorsand H., Roosta A.R., Niknam T. A New Approach Based on Fuzzy Controller for Volt/Var Control in Distribution System // Australian Journal of Basic and Applied Sciences. 2010. Vol. 4(3). Pp. 468–480.

13. Lin Y.J. Systematic approach for the design of a fuzzy power system stabilizer. International Conference on Power System Technology. 2004. Vol. 1. Pp. 747–752.

14. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами Matlab. Горячая линия. Телеком. М., 2007. 288 с.

15. Fuzzy Logic Toolbox. User's Guide. Version 2. The Math_works/ Inc. 1999.

Информация об авторах

Фархадов Закир Исамеддин оглы, кандидат технических наук, доцент кафедры электромеханики. E-mail: z.farkhadov@gmail.com. Сумгаитский государственный университет. Азербайджан, AZ 5008, г. Сумгаит, л. Баку 1, квартал 43.

Рагимов Шафагат Рагим оглы, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий и программирования. E-mail: shafahat_61@mail.ru. Сумгаитский государственный университет. Азербайджан, AZ 5008, г. Сумгаит, л. Баку 1, квартал 43

Абдуллаев Салех Абузар оглы, аспирант кафедры электромеханики. E-mail saleh-abdullayev-91@mail.ru. Сумгаитский государственный университет. Азербайджан, AZ 5008, г. Сумгаит, л. Баку 1, квартал 43.

Осадчая Майя Сергеевна, ведущий инженер. E-mail: Muc87@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в апреле 2019 г.

© Фархадов З.И., Рагимов Ш.Р., Абдуллаев С.А., Осадчая М.С., 2019

^{1,*}*Farhadov Z.I., ¹Rahimov Sh.R., ¹Abdullayev S.A., ²Osadchaya M.S.*

¹*Sumqayit State University*

¹*Azerbaijan, AZ 5008, Sumqayit, street Baku 1, 43rd block*

²*Belgorod State Technological University named after V.G. Shuhova*

Russia, 308012, Belgorod, Kostyukov, 46

**E-mail: z.farkhadov@gmail.com*

COMPENSATION CONTROL OF REACTIVE POWER OF THE INDUCTION FURNACE BASED ON FUZZY LOGIC

Abstract. *Induction furnaces of industrial frequency are often used at industrial enterprises for melting ferrous and non-ferrous metals and their alloys, for overheating them before casting. The resistance of the electric furnace is inductive. The total power of the induction installation includes an active component and reactive component, where the reactive power is an adjustable electrical parameter. During the melting of metals, the active-inductive load of the induction installation changes and the value of its power factor reaches 0.3. Compensation of reactive power at the input of induction furnaces inductor leads to a significant decrease in the installed power of the electric furnace transformer controlled under the load, energy losses and the cross section of cable lines. Batteries of electric capacitors are usually used as transverse compensation devices. A scheme and fuzzy algorithm for regulating the reactive power of an induction furnace of industrial frequency based on fuzzy logic are developed. The study of the fuzzy controller operation for reactive power compensation of induction furnaces of industrial frequency based on the Mamdani's method shows that the fuzzy algorithm better maintains a given amount and direction of reactive power at the connection point of the induction furnace inductor to an electric furnace transformer. Fuzzy controller responds faster to changes in reactive power.*

Keywords: *power supply systems; regulatory systems; fuzzy logic; reactive power; membership function; induction furnaces.*

REFERENCES

1. Electrothermal equipment [*Elektrotermicheskoe oborudovanie*]: Directory. Under the general edition A.P. Altgrauz, Energy, Moscow, 1980, 416 pp. (rus)
2. Sluchoskiy A.E. Equipments of induction heating [*Ustanovki indukcionnogo nagreva*]. Energy publication, Leningrad branch, 1981, 330 pp. (rus)
3. Sokolov M.M., Gasevich V.N. Electrical equipment mechanisms of electrothermal equipments [*Elektrooborudovanie mekhanizmov elektrotermicheskikh ustanovok*]. М.: Energoatomizdat, 1983. 320 p. (rus)
4. Aliferov A.N. et al. Electrothermal processes and equipments [*Elektrotermicheskie processy i ustanovki*]. Krasnoyarsk, 2007. 360 p. (rus)
5. Iyashov V.P. Automatic power regulation of condenser equipments [*Avtomaticheskoe regulirovanie moshchnosti kondensatornyh ustanovok*]. М. Energy-2nd edition. 1979. 105 p. (rus)
6. Kopyrin V., Tkachuk A. Controller of compensation control of reactive power induction furnace of industrial frequency [*Kontroller upravleniya kompensaciej reaktivnoj moshchnosti indukcionnoj pechi promyshlennoj chastoty*]. Power Electronics. 2005. No. 1. Pp. 96–99. (rus)

7. Gashimov A.M., Rakhmanov N.R., Guliev G.V. Improved fuzzy logic algorithm for controlling reactive power and voltage in distribution networks [*Uluchshennyj algoritm nechetkoj logiki dlya upravleniya reaktivnoj moshchnost'yu i napryazheniem v raspredelitel'nyh setyah*]. Power Industry: International scientific and technical journal. Minsk. 2014. No. 2. Pp. 29–39. (rus)

8. Guliyev H.B., Farkhadov Z.I. Mammadov J.F. System of automatic regulation of reactive power by means of fuzzy logic. Reliability: Theory & Applications. 2015. Vol. 10. No. 2(37). Pp. 50–58.

9. Rakhmanov N.R., Guliev G.B., Farhadov Z.I. Identification of the structure of a fuzzy regulator of reactive power [*Identifikaciya struktury nechetkogo regulatora reaktivnoj moshchnosti*]. Electro. Electrical Engineering, Electrical Power Engineering, Electrical Engineering Industry. 2015. No. 4. Pp. 28–31. (rus)

10. Zadeh L. Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes,

IEEE Trans. on Systems, Men and Cybernetics. 1973. Vol. smc-3, jan. Pp. 28–44.

11. Aliyev R.A., Aliev R.R. The theory of intelligent systems and its application [*Teoriya intellektual'nyh sistem i ee primeneniye*]. Baku, Chashyoglu, 2001, 720 p. (rus)

12. Nayeripour M., Khorsand H., Roosta A.R., Niknam T. A New Approach Based on Fuzzy Controller for Volt/Var Control in Distribution System. Australian Journal of Basic and Applied Sciences. 2010. Vol. 4(3). Pp. 468–480,

13. Lin Y.J. Systematic approach for the design of a fuzzy power system stabilizer. International Conference on Power System Technology. 2004. Vol. 1. Pp. 747–752.

14. Shtovba S.D. Design of fuzzy systems by means of Matlab [*Proektirovaniye nechetkih sistem sredstvami Matlab*]. Hotline–Telecom. M., 2007, 288 p. (rus)

15. Fuzzy Logic Toolbox. User's Guide. Version 2. The Math_works/ Inc. 1999.

Information about the authors

Farkhadov, Zakir I. PhD, Assistant professor Sciences, associate. E-mail: z.farkhadov@gmail.com. Sumqayit State University. Azerbaijan, AZ 5008, Sumqayit, street Baku 1, 43rd block

Rahimov, Rahim S. oglu PhD. PhD, Assistant professor. E-mail: shafahat_61@mail.ru. Sumqayit State University. Azerbaijan, AZ 5008, Sumqayit, street Baku 1, 43rd block

Saleh, Abdullayev A. Postgraduate student. E-mail saleh-abdullayev-91@mail.ru. Sumgait state University. Azerbaijan, AZ 5008, Sumqayit, street Baku 1, 43rd block

Osadchaya, Mayya S. Leading engineer. E-mail Myc87@mail.ru Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in April 2019

Для цитирования:

Фархадов З.И., Рагимов Ш.Р., Абдуллаев С.А., Осадчая М.С. Управление компенсацией реактивной мощности индукционной печи на основе нечеткой логики // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 6. С. 144–151. DOI: 10.34031/article_5d08b52f6c2b69.97192016

For citation:

Farhadov Z.I., Rahimov Sh.R., Abdullayev S.A., Osadchaya M.S. Compensation control of reactive power of the induction furnace based on fuzzy logic. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 6. Pp. 144–151. DOI: 10.34031/article_5d08b52f6c2b69.97192016