

Многополюсный контроллер нечеткой логики для усовершенствования управления шунтирующими реакторами

ГАШИМОВ А.М., ГУЛИЕВ Г.Б., БАБАЕВА А.Р.

Для стабилизации значений напряжения на шинах высоковольтных электрических сетей, а также повышения режимной надежности в условиях неопределенности изменения схемных и режимных параметров энергосистем рассмотрена задача повышения эффективности действия многополюсного контроллера нечеткой логики (МКНЛ) управления реактивной мощностью шунтирующих реакторов. Предлагается новый алгоритм управления мощностью или индуктивным сопротивлением реактора в зависимости от сопротивления нагрузки, скорости ее изменения и напряжения на шинах сети. Результаты расчетного эксперимента на основе компьютерного моделирования подтверждают эффективность предложенного алгоритма управления для МКНЛ с применением теории нечеткой логики.

К л ю ч е в ы е с л о в а: электрическая сеть, реактивная мощность, шунтирующий реактор, регулятор нечеткой логики, управление

На протяженных высоковольтных линиях электропередачи 110–500 кВ и в кабельных системах для компенсации реактивной мощности (зарядной мощности) широко используются шунтирующие реакторы (ШР). Применение ШР позволяет решить такие задачи, как разгрузка электрической сети от зарядной мощности, уменьшение потерь, плавное и быстродействующее управление реактивной мощностью, демпфирование колебаний активной мощности и напряжения на высоковольтных шинах, в целом реализация задач повышения статической и динамической устойчивости энергосистемы.

Подключаться ШР может непосредственно к линиям электропередачи, шинам, к трехфазному трансформатору (автотрансформатору) постоянно или с помощью автоматического переключателя [1, 2]. Для улучшения управления требуемой им реактивной мощностью реактор должен обладать регулируемыми параметрами.

Если нагрузка будет постепенно изменяться (сезонно, суточно или соответственно часовым графикам), применение управляемого шунтирующего реактора (УШР) может быть одним из оптимальных вариантов решения задачи. Вместе с тем в условиях кратковременных и относительно длительных резких колебаний передаваемой мощности и, соответственно, нагрузки высоковольтной электрической сети возникает необходимость эффективного управления ШР, т.е. оптимального регулирования требуемой реактивной мощности. В условиях неопределенной исходной информации управление ШР обусловлено рядом трудностей. В указанных условиях существующие системы управления ШР не могут сформировать рациональное управляющее

воздействие, обусловленное проблемами колебаний и резких отклонений напряжения на высоковольтных шинах, а также возникновения перенапряжений, связанных с выполнением частых необоснованных переключений [3, 4].

Одним из вариантов решения задачи является применение производимой зарубежными фирмами (например, АВВ) ШР трансформаторного типа с тиристорной системой управления, в которой имеется ядро с наличием воздушного зазора, заполненное маслом. Как показывают исследования, при настройке управляемых параметров в условиях реальных исходных данных применение ШР с системой управления, реализующей тот или иной традиционный алгоритм, не полностью обеспечивает желаемые результаты [5, 6].

В связи с этим при указанных условиях создание алгоритма и системы управления ШР на базе теории нечетких множеств и нечеткой логики, предложенных известным профессором Л. Заде, актуально и представляет научный и практический интерес [6]. Авторами статьи предложена такая система [7]. В этой системе первичными входными параметрами являются сопротивление нагрузки Z и ее скорость изменения dZ/dt , а управляемым выходным параметром – реактивная мощность УШР. Несмотря на эффективность действия УШР на основе предложенного контроллера нечеткой логики, не полностью обеспечивается интеллектуализация действия устройства, а в ряде случаев наблюдается проблема стабилизации напряжения на высоковольтных шинах сети энергосистемы. Для устранения этих недостатков поставлена задача усовершенствования и развития предложенного алгоритма управления контроллера нечеткой логики

(КНЛ) [8]. С этой целью на один порядок увеличены входные и выходные векторы лингвистических переменных (многополюсный контроллер), т.е. на вход КНЛ были добавлены текущие значения напряжения системы шин, к которой подключен УШР, а на выход – время выдержки действия системы управления в зависимости от характера изменения сопротивления нагрузки (рис. 1). Текущее значение напряжения сравнивается с эталонным, и принятие решения для управления УШР происходит по отклонению напряжения ΔU .

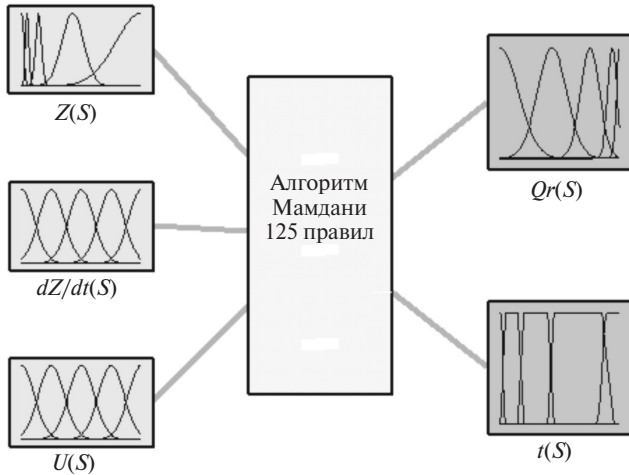


Рис. 1. Схема синтезированного МКНЛ для УШР

Таким образом, синтезированный новый тип многополюсного КНЛ (МКНЛ) имеет систему управления с тремя входными и двумя выходными лингвистическими параметрами, позволяющую осуществить эффективное управление выходными реактивными мощностями УШР, установленных в начале и на конце линии электропередачи энергосистемы. В данной работе рассмотрены вопросы синтеза и реализации КНЛ с тремя входными и двумя выходными параметрами для управления выходной мощностью УШР в исходной нечетко-вероятностной информационной среде.

Алгоритм нечеткого управления УШР. Известно, что зависимость реактивной мощности Q_p , требуемой УШР, от параметров линии выражается формулой [2, 3]:

$$Q_p = P_{\text{нат}} \lambda \left[1 - \left(\frac{P}{P_{\text{нат}}} \right)^2 \right] L, \quad (1)$$

где P – передаваемая активная мощность по линии электропередачи (ЛЭП); $P_{\text{нат}}$ – натуральная мощность ЛЭП; L – длина ЛЭП; λ – длина волны.

При управлении реактором с традиционной системой регулирования алгоритм управления на базе формулы (1) из-за указанных ранее причин невозможно осуществить эффективное регулирование реактивной мощности УШР.

Предложенный КНЛ реализует алгоритм $Q_p = f(Z, dZ/dt)$. Как указано ранее, данный алгоритм управления не может полностью обеспечить стабилизацию напряжения на шинах, поэтому на вход был добавлен еще один параметр – значение напряжения на шине, а на выход – время выдержки действия МКНЛ, которое задается в зависимости от скорости изменения сопротивления нагрузки. Таким образом, предложенный МКНЛ реализует два закона нечеткого управления:

$$\begin{aligned} \tilde{Q}_p &= f(U, Z, dZ/dt); \\ t &= f(U, Z, dZ/dt). \end{aligned} \quad (2)$$

Известно, что любой КНЛ состоит из фаззификатора, механизма нечеткого логического вывода и дефаззификатора, и в зависимости от поставленной задачи реализует соответствующий алгоритм [3–6].

В данном случае алгоритм нечеткого управления (2) должен быть составлен на основе нечеткой модели лингвистической аппроксимации с тремя входными и двумя выходными параметрами:

$$\text{if } X_1 = A_1 \text{ and } X_2 = A_2 \text{ and } X_3 = A_3 \text{ then } Y_1 = B_1 \text{ and } Y_2 = B_2, \quad (3)$$

где X_1, X_2, X_3 – входные лингвистические переменные управляемого объекта; A_1, A_2, A_3 – нечеткие подмножества, определяемые в универсумах E_1, E_2, E_3 , состоящих соответственно из термов лингвистических переменных X_1, X_2, X_3 ; Y_1, Y_2 – выходные лингвистические переменные управляемого объекта; B_1, B_2 – соответственно, нечеткие подмножества, определяемые в универсумах E_4, E_5 , состоящих из термов Y_1, Y_2 , где $\forall x_i A_i \in E_i, i=1 \div 3$ и $\forall y_j B_j \in E_j, j=1, 2$.

Для входных лингвистических переменных X_1, X_2, X_3 приняты функции принадлежности Гаусса (gaussmf), а для выходных переменных – Z-образные (zmf), S-образные (smf) и трапециевидальные (trapmf) функции принадлежности [6, 7]:

функция gaussmf:

$$\mu_{ki}(x) = \exp\left(\frac{-(x_i - m_{ki})^2}{2\sigma_{ki}^2}\right), \quad i = \overline{1, n}, \quad k = \overline{1, m}; \quad (4)$$

функция trapmf:

$$\mu_{ki}(x) = \begin{cases} 0, & x_i \leq a_{ki}; \\ \frac{x_i - a_{ki}}{b_{ki} - a_{ki}}, & a_{ki} \leq x_i \leq b_{ki}; \\ 1, & b_{ki} \leq x_i \leq c_{ki}; \\ \frac{d_i - x_{ki}}{d_{ki} - c_{ki}}, & c_{ki} \leq x_i \leq d_{ki}; \\ 0, & d_{ki} \leq x_i; \end{cases} \quad (5)$$

функции zmf и smf

$$\mu_{ki}(x) = \begin{cases} 1, & x_i \leq a_{ki}; \\ \text{нелинейная аппроксимация,} & a_{ki} < x_i < b_{ki}; \\ 9, & x_i \geq b_{ki}, \end{cases} \quad (6)$$

где m – координата максимума; σ – коэффициент концентрации; a, d – носитель нечеткого множества; b, c – ядро нечеткого множества, $\mu_{A,i}(x): X_i \rightarrow [0,1]$.

После определения нечеткой импликации (логическая связка «Если–тогда») и вида функции принадлежности на основе нечеткой аппроксимации между входными и выходными векторами формируются выходные сигналы.

Определение параметров функции принадлежности и составление алгоритма управления. При составлении алгоритма МКНЛ был использован алгоритм Мамдани [8]. При программировании по алгоритму Мамдани (зависимость реактивной потребляемой мощности реактора от нагрузки линии) для входных (напряжения, сопротивление нагрузки и ее скорость изменения) и выходных (задержка времени и реактивная мощность реактора) параметров приняты следующие нечеткие терм-подмножества.

1. Для лингвистической переменной «Спротивления нагрузки» терм-множество $T_i(Z)$, где $Z_i \in E_{1i}$ с $i=1,5$:

$$\begin{aligned} E_{11} &= VB \text{ (о ень большое)} \underline{\underline{\Delta}}(Z, \mu_{11}(Z)); \\ E_{12} &= B \text{ (большое)} \underline{\underline{\Delta}}(Z, \mu_{12}(Z)); \\ E_{13} &= M \text{ (среднее)} \underline{\underline{\Delta}}(Z, \mu_{13}(Z)); \\ E_{14} &= S \text{ (малое)} \underline{\underline{\Delta}}(Z, \mu_{14}(Z)); \\ E_{15} &= N \text{ (натуральное)} \underline{\underline{\Delta}}(Z, \mu_{15}(Z)), \end{aligned} \quad (7)$$

где $\underline{\underline{\Delta}}(\dots)$ – нечеткое терм-подмножество лингвистической переменной.

Для линий электропередачи 500 кВ в натуральном режиме принято волновое сопротивление 287 Ом ($P_{\text{нат}}=870$ МВт) [1, 5, 6], а значения лингвистических переменных «Спротивления нагрузки» – в интервале $Z=(287 \div \infty)$ Ом. Сгенерированные случайные значения переменной Z соответствуют пределу мощности $P=(870 \div 0)$ МВт.

2. Вторым входным параметром для МКНЛ является «Динамика» нечеткой лингвистической переменной, где $T_j(dZ/dt)$ – терм-подмножество, $(dZ/dt) \in E_{2j}$ и $j=1,5$:

$$\begin{aligned} E_{21} &= VB \text{ (о ень большое)} \underline{\underline{\Delta}}(dZ/dt, \mu_{21}(dZ/dt)); \\ E_{22} &= B \text{ (большое)} \underline{\underline{\Delta}}(dZ/dt, \mu_{22}(dZ/dt)); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_{23} &= ZR \text{ (нуль)} \underline{\underline{\Delta}}(dZ/dt, \mu_{23}(dZ/dt)); \\ E_{24} &= S \text{ (малое)} \underline{\underline{\Delta}}(dZ/dt, \mu_{24}(dZ/dt)); \\ E_{25} &= VB \text{ (о ень малое)} \underline{\underline{\Delta}}(dZ/dt, \mu_{25}(dZ/dt)). \end{aligned} \quad (8)$$

Значения $T_j(dZ/dt)$ терм-подмножества приняты в интервале $(-10 \div +10)$.

3. Третьим входным параметром для МКНЛ является параметр «Напряжения» нечеткой лингвистической переменной, где $T_k(U)$ – терм-подмножество, здесь $(U_k) \in E_{3k}$, $k=1,5$:

$$\begin{aligned} E_{31} &= VB \text{ (о ень большое)} \underline{\underline{\Delta}}(U, \mu_{31}(U)); \\ E_{32} &= B \text{ (большое)} \underline{\underline{\Delta}}(U, \mu_{32}(U)); \\ E_{33} &= M \text{ (нормальное)} \underline{\underline{\Delta}}(U, \mu_{33}(U)); \\ E_{34} &= S \text{ (малое)} \underline{\underline{\Delta}}(U, \mu_{34}(U)); \\ E_{35} &= N \text{ (о ень малое)} \underline{\underline{\Delta}}(U, \mu_{35}(U)). \end{aligned} \quad (9)$$

4. Первым выходным параметром МКНЛ является «Реактивная мощность» для нечеткой лингвистической переменной, $T_l(Q_p)$ – терм-подмножество, $Q_{pl} \in E_{4l}$ и $l=1,5$:

$$\begin{aligned} E_{41} &= \max \text{ (максимум)} \underline{\underline{\Delta}}(Q_p, \mu_{41}(Q_p)); \\ E_{42} &= B \text{ (большое)} \underline{\underline{\Delta}}(Q_p, \mu_{42}(Q_p)); \\ E_{43} &= M \text{ (среднее)} \underline{\underline{\Delta}}(Q_p, \mu_{43}(Q_p)); \\ E_{44} &= S \text{ (малое)} \underline{\underline{\Delta}}(Q_p, \mu_{44}(Q_p)); \\ E_{45} &= ZR \text{ (нуль)} \underline{\underline{\Delta}}(Q_p, \mu_{45}(Q_p)). \end{aligned} \quad (10)$$

5. Вторым выходным параметром МКНЛ является «Задержка времени» для нечеткой лингвистической переменной, $T_\gamma(t)$ – терм-подмножество, $t_\gamma \in E_{5\gamma}$ и $\gamma=1,5$:

$$\begin{aligned} E_{51} &= VST \text{ (о ень короткая)} \underline{\underline{\Delta}}(t, \mu_{51}(t)); \\ E_{52} &= ST \text{ (короткая)} \underline{\underline{\Delta}}(t, \mu_{52}(t)); \\ E_{53} &= MT \text{ (средняя)} \underline{\underline{\Delta}}(t, \mu_{53}(t)); \\ E_{54} &= LT \text{ (долгая)} \underline{\underline{\Delta}}(t, \mu_{54}(t)); \\ E_{55} &= VLT \text{ (о ень долгая)} \underline{\underline{\Delta}}(t, \mu_{55}(t)). \end{aligned} \quad (11)$$

Значения лингвистической переменной «Реактивная мощность» приняты в интервале $P=(870 \div 0)$ МВт.

В соотношениях (7)–(11) $\mu_{1i}(Z)$, $\mu_{2j}(dZ/dt)$, $\mu_{3k}(U)$, $\mu_{4l}(Q_p)$, $\mu_{5\gamma}(t)$ являются функциями принадлежности терм-подмножеств лингвистических переменных Z , dZ/dt , U , Q_p и t . Эти переменные соответственно определены в универсальном множестве $E_{1i}, E_{2j}, E_{3k}, E_{4l}, E_{5\gamma}$. Настроенные функции принадлежности терм-подмножеств показаны на рис. 2.

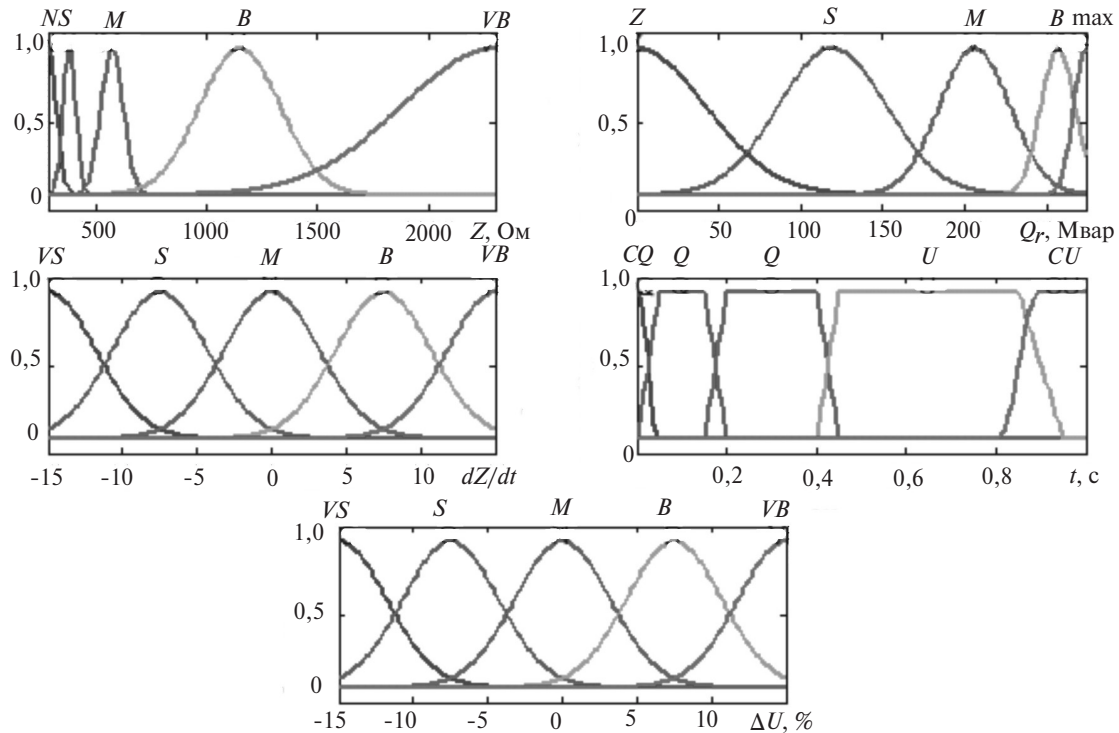


Рис. 2. Функции принадлежности терм-подмножеств

В зависимости от входных сигналов $Z, dZ/dt, U$, МКНЛ приводят в действие устройства регулирования мощности реакторов (Q_{p1}, Q_{p2}) и реализуют 125 нечетких правил типа (3), составленных на базе алгоритма Мамдани.

В табл. 1 приведены области определения входных и выходных лингвистических переменных, значения параметров функции принадлежности отдельных термов.

Таблица 1

Терм-подмножества	Функции принадлежности	Значение параметра
Соппротивление нагрузки, Z		
Очень большое	gaussmf	[36,24 287]
Большое		[29,38 383]
Среднее		[50,22 575]
Малое		[182,75 1150]
Натуральное		[425,86 2300]
Скорость изменения сопротивления нагрузки, dZ/dt		
Очень большая	gaussmf	[2,1 10]
Большая		[2,1 5]
Нормальная		[2,1 0]
Малая		[2,1 -5]
Очень малая		[2,1 -10]
Напряжение		
Очень большое	gaussmf	[3,2 -15]
Большое		[3,2 -7,5]
Нормальное		[3,2 0]
Малое		[3,2 7,5]
Очень малое		[3,2 15]

Реактивная мощность		
Максимальная	gaussmf	[7,33 274]
Большая		[10,54 257]
Средняя		[21,66 206]
Малая		[33,27 120]
Ноль		[42,03 0]
Задержка		
Очень короткая	zmf	[0 0,5]
Короткая	trapmf	[0 0,05 0,15 0,2]
Средняя	trapmf	[0,15 0,2 0,4 0,45]
Долгая	trapmf	[0,4 0,45 0,85 0,95]
Очень долгая	smf	[0,8 0,9 1 1]

В табл. 2 приведена управляющая матрица-алгоритм мощности реактора в формате нечеткой лингвистической модели «Если–тогда» на основе лингвистических моделей (5)–(9). Нечеткий управляющий алгоритм матрицы состоит из 125 правил. Антецедентная часть (посылка правил) каждого правила отражает в себе три, а консеквентная часть (заключение правил) – две импликации.

Таблица 2

Варианты	Входные параметры			Выходные параметры	
	Z	dZ/dt	U	Q_p	t
1	N	VS	VS	ZR	VLT
2	N	S	VS	ZR	MT
3	N	ZR	VS	ZR	ST
:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:

60	<i>S</i>	<i>VB</i>	<i>S</i>	<i>S</i>	<i>LT</i>
61	<i>M</i>	<i>VS</i>	<i>S</i>	<i>ZR</i>	<i>ST</i>
62	<i>M</i>	<i>S</i>	<i>S</i>	<i>S</i>	<i>ST</i>
:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:
123	<i>VB</i>	<i>ZR</i>	<i>B</i>	max	<i>VST</i>
124	<i>VB</i>	<i>B</i>	<i>B</i>	max	<i>VST</i>
125	<i>VB</i>	<i>VB</i>	<i>B</i>	max	<i>VST</i>

Для дефаззификации, т.е. для перехода из фазы нечетких управляющих воздействий на четкое

управляющее воздействие, использован центроидный метод [8].

Результаты моделирования. При моделировании проведены расчеты, имитирующие работу шунтирующих реакторов типа РОДС-100/500 У₁ мощностью 280 МВА, включенных по концам линии электропередачи напряжением 500 кВ протяженностью $L=300$ км.

На рис. 3 показаны поверхности $Q_p = \tilde{f}(U, dZ/dt)$, $Q_p = \tilde{f}(Z, U)$, $t = \tilde{f}(U, dZ/dt)$ и $t = \tilde{f}(Z, U)$, полученные с помощью модуля Fuzzy

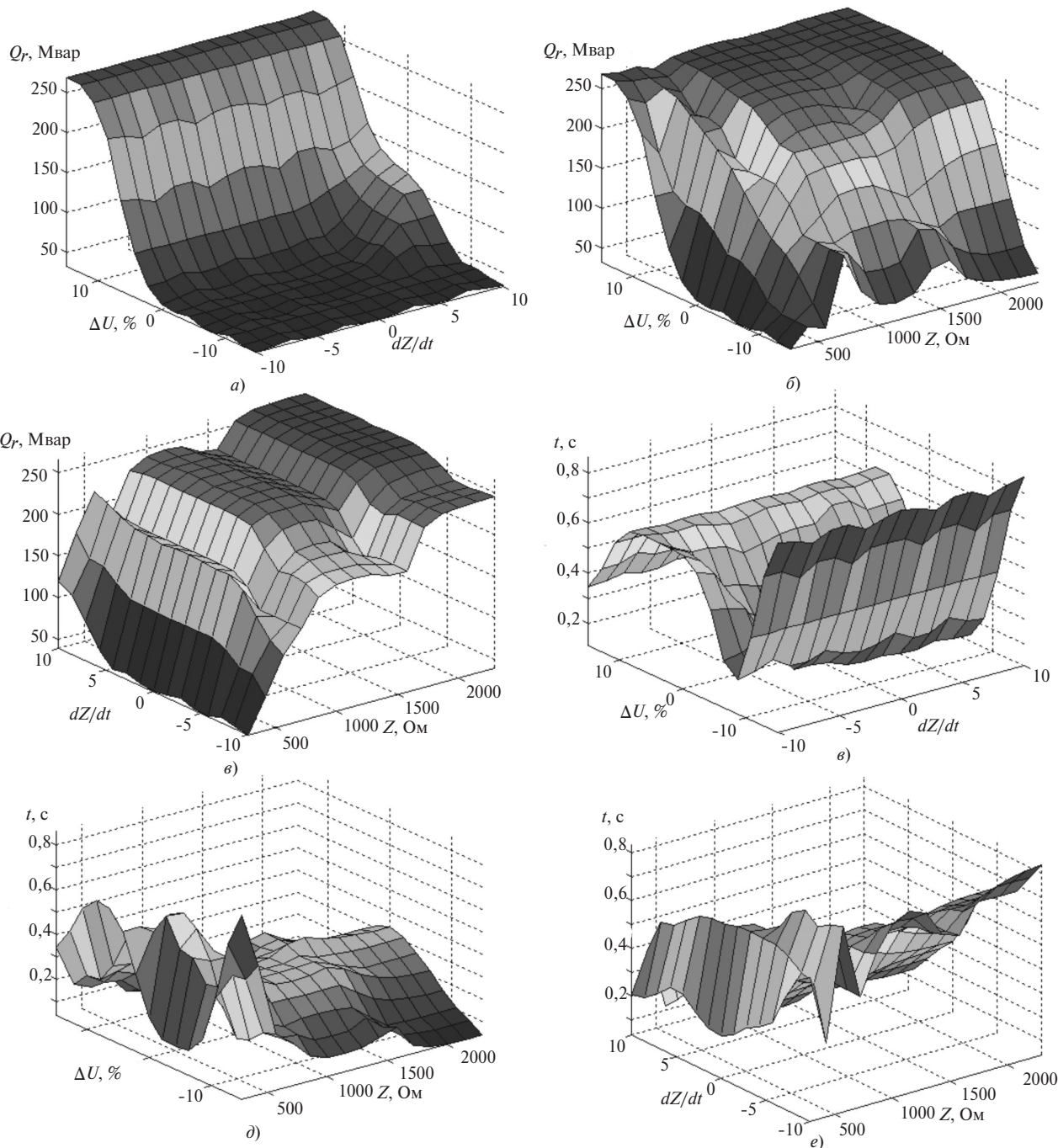


Рис. 3. Управляющие поверхности для УШР: а – $Q_p = \tilde{f}(U, dZ/dt)$; б – $Q_p = \tilde{f}(Z, U)$; в – $Q_r = \tilde{f}(Z, dZ/dt)$; г – $t = \tilde{f}(U, dZ/dt)$; д – $t = \tilde{f}(U, Z)$; е – $t = \tilde{f}(Z, dZ/dt)$

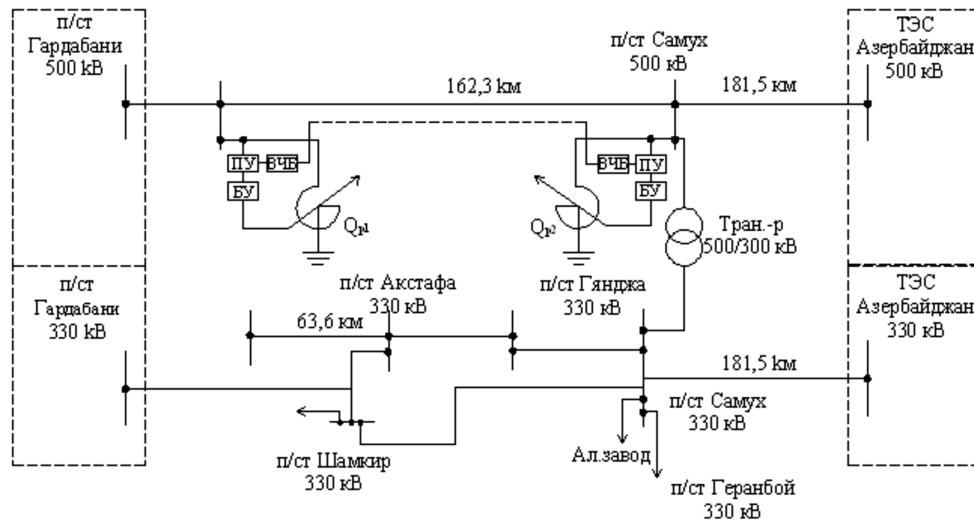


Рис. 4. Фрагмент электрической схемы сети 500/330 кВ системы Азербээнержи

Logic Toolbox в среде Matlab, отражающие зависимости выходных параметров контроллера от входных, которые показывают действие контроллера при управлении потребляемой мощностью ШР. Как видно из поверхностных зависимостей, при $Z=Z_d$ ($P=P_{\text{нат}}$) $Q_p \Rightarrow \min$ и при $Z=\infty$ ($P=0$) $Q_p \Rightarrow \max$, а при промежуточных значениях нагрузки с нечетким управлением мощностью ШР значение Q_p находится в диапазоне $0 \div \max$. Алгоритм нечеткого управления ШР был протестирован для межсистемной электрической сети 500/330 кВ, соединяющей энергосистемы Азербайджана и Грузии, фрагмент электрической схемы показан на рис. 4.

На основе имитационного моделирования предложенного нечеткого алгоритма управления ШР проведены расчетные эксперименты для различных нагрузочных режимов электрической сети. Полученные результаты для напряжения в узле Самух ЛЭП 500 кВ Самух–Гардабани показаны на рис. 5. Как видно из рисунка, при нечетком управлении ШР в зависимости от перетока по линиям напряжение на шинах 500 кВ находится в пределах установленной нормы.

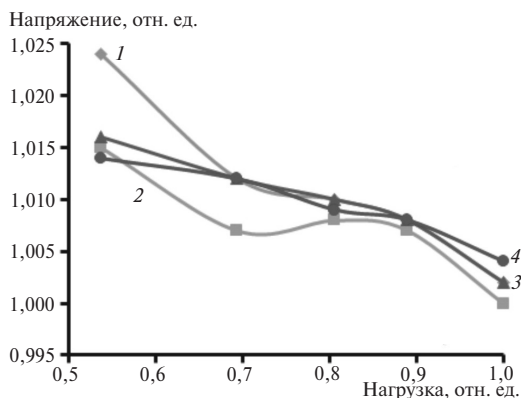


Рис. 5. Кривые изменения напряжения для линии 500 кВ Самух–Гардабани: 1 – УШР отключен; 2 – УШР включен в узле Самух; 3 – то же в узле Гардабани; 4 – то же в обоих узлах

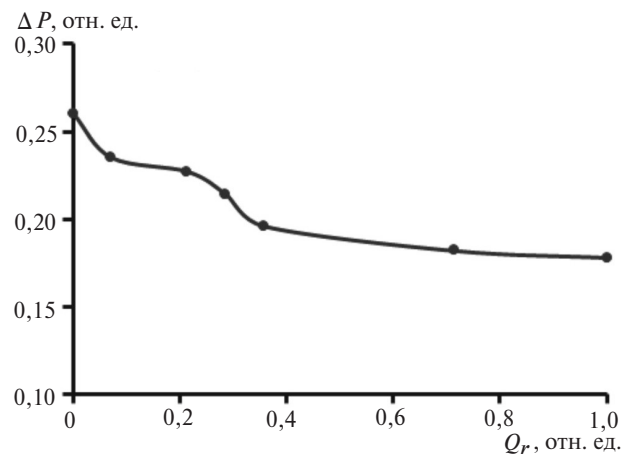


Рис. 6. Изменение потерь мощности в зависимости от мощности УШР

На рис. 6 показаны изменения потерь мощности при управлении в зависимости от передаваемой мощности по линии и от мощности УШР. Как видно из рисунков, при нечетком управлении потоком реактивной мощности потери активной мощности в рассматриваемой сети уменьшаются от 0,26 до 0,178, т.е. на 31,5%.

Выводы. 1. Предложен простой и легко реализуемый алгоритм управления мощностью шунтирующих реакторов, установленных на концах линий электропередачи высоковольтной электрической сети, на базе нечетких множеств и нечеткой логики в зависимости от значения сопротивления нагрузки, от скорости ее изменения и от напряжения для демпфирования колебаний напряжения на шинах высоковольтной сети энергосистемы.

2. Эффективность предложенного алгоритма МКНЛ для управления ШР подтверждается результатами имитационного моделирования при расчетном эксперименте применительно к межсистемной электрической сети энергосистемы Азербайджана. При этом обеспечивается устойчивое значение напряжения в узлах рассмотренной высоковольтной

сети в установленных стандартами допустимых пределах.

3. Результаты расчета потерь активной мощности в сети при реализации предложенного алгоритма управления МКНЛ подтверждают его эффективность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кочкин В.И., Нечаев О.П. Применение статических компенсаторов реактивной мощности в электрических сетях энергосистем и предприятий. М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2002, 248 с.
2. Долгополов А. Управляемые шунтирующие реакторы. М.: Энергия, 2016, 276 с.
3. Булыкин П.Ю., Кочкин В.И., Кубарев Л.П., Федосов Л.Л. Управляемый шунтирующий реактор нового поколения. — Энергоэксперт, 2011, № 3, с. 46–51.
4. Ромодин А.В., Лейзгольд Д.Ю. Подход к разработке моделей элементов гибких линий электропередачи на основании вольт-амперных характеристик. — Фундаментальные исследования, 2015, № 8, с. 137–142.
5. Hashimov A.M., Guliyev H.B., Babayeva A.R. Managing shunt reactors in accordance to fuzzy controllers for stabilization of voltage in high tension tire-cover. — International Journal on Technical and physical problems of engineering, 2017, vol. 9, iss. 30, No. 1, pp. 18–22.
6. Zadeh L.A. Fuzzy Sets. — Inform. and Control, 1965, vol. 8, pp. 338–353.

7. Пирвердиев Э.С., Гашимов А.М., Гулиев Г.Б., Бабаева А.Р. Синтез алгоритма управления шунтирующими реакторами с использованием нечеткой логики. — Электричество, 2018, № 6, с. 35–40.

8. Леонков А.В. Нечёткое моделирование в среде MATLAB и fuzzy TECH. СПб.: БХВ Петербург, 2003, 736 с.

[13.02.2019]

А в т о р ы: Гашимов Ариф Мамед оглы в 1971 г. окончил Азербайджанский институт нефти и химии им. М. Азизбекова. В 1993 г. защитил докторскую диссертацию. Академик НАН Азербайджана. Советник президента ОАО «Азербэнеджи». Директор Азербайджанского научно-исследовательского и проектно-изыскательского института энергетики (АзНИ и ПИИЭ).

Гулиев Гусейнгулу Байрам оглы в 1985 г. окончил Азербайджанский институт нефти и химии. В 2003 г. защитил кандидатскую диссертацию. Начальник отдела «Режима и проблемы управления энергосистем» АзНИ и ПИИЭ. Доцент кафедры «Автоматика и управления» Азербайджанского технического университета.

Бабаева Айтек Рамиз кызы в 1994 г. окончила Азербайджанскую государственную нефтяную академию. В 2004 г. защитила кандидатскую диссертацию. Ученый секретарь АзНИ и ПИИЭ.

Elektrichestvo, 2019, No. 6, pp. 26–32

DOI:10.24160/0013-5380-2019-6-26-32

A Multipole Fuzzy Logic Controller for Improved Control of Shunting Reactors

HASHIMOV Arif Mamed (*The Azerbaijan Scientific-Research and Designed-Prospecting Institute of Energetics (ASRDPIE), Baku, Azerbaijan*) — Director Advisor to the President of «Azerenerj»; Academician of National Academy of Sciences of Azerbaijan

GULIYEV Guseyngulu Bayram (*ASRDPIE, Baku, Azerbaijan*)—Head of department. Cand. Sci. (Eng.)

BABAYEVA AYTEK Ramiz (*ASRDPIE, Baku, Azerbaijan*) — Academic Secretary, Cand. Sci. (Eng.)

The article considers the problem of achieving more efficient operation of a multipole fuzzy logic controller (MFLC) intended to control the shunting reactor reactive power for stabilizing the voltage at the buses of high-voltage electric networks and for enhancing the operational reliability under the conditions of uncertain variations of power system circuit and operating parameters. A new algorithm for controlling the shunting reactor's reactive power or inductive reactance depending on the load impedance, on the load variation rate, and voltage at the network buses is proposed. The results from a numerical experiment carried out by means of computer modeling confirm the efficiency of the proposed control algorithm for the MFLC with using the fuzzy logics theory.

Key words: *electrical network, reactive power, shunting reactor, fuzzy logic controller, control*

REFERENCES

1. Kochkin V.I., Nechaev O.P. *Primeneniye staticheskikh kompensatorov reaktivnoy moshchnosti v elektricheskikh setyakh energosistem i predpriyatiy* (Application of static reactive power compensators in power grids of power systems and enterprises). Moscow, NTS ENAS, 2002, 248 p.
2. Dolgoplov A. *Upravlyayemye shuntiruyushchiye reaktory* (Controlled shunt reactors). Moscow, Energiya, 2016, 276 p.
3. Bulykin P.Yu., Kochkin V.I., Kubarev L.P., Fedosov L.L. *Energoekspert — in Russ. (Energoekspert)*, 2011, No. 3, pp. 46–51.
4. Romodin A.V., Leyzgol'd D.Yu. *Fundamental'nye issledovaniye — in Russ. (Basic research)*, 2015, No. 8, pp. 137–142.

5. Hashimov A.M., Guliyev H.B., Babayeva A.R. Managing shunt reactors in accordance to fuzzy controllers for stabilization of voltage in high tension tire-cover. — International Journal on Technical and physical problems of engineering, 2017, vol. 9, iss. 30, No. 1, pp. 18–22.

6. Zadeh L.A. Fuzzy Sets. — Inform. and Control, 1965, vol. 8, pp. 338–353.

7. Pirverdiyev E.S., Gashimov A.M., Guliyev G.B., Babaeva A.R. *Elektrichestvo — in Russ. (Electricity)*, 2018, No. 6, pp. 35–40.

8. Leonkov A.V. *Nechetkoe modelirovaniye v srede MATLAB i fuzzyTECH* (Fuzzy modeling in MATLAB and fuzzy TECH). St. Petersburg, BKHV Peterburg, 2003, 736 p.

[13.02.2019]