

Синтез алгоритма управления шунтирующими реакторами с использованием нечеткой логики

ПИРВЕРДИЕВ Э.С., ГАШИМОВ А.М., ГУЛИЕВ Г.Б., БАБАЕВА А.Р.

Для нормализации значений напряжения на высоковольтных шинах электрической сети и повышения режимной надежности энергосистемы рассмотрена задача синтеза контроллера, формирующего управляющее воздействие на основе нечетких множеств и нечеткой логики для эффективного регулирования мощностью шунтирующих реакторов, подключенных для компенсации зарядной мощности линии электропередачи. Показано, что неопределенность изменения режимных и схемных параметров электрической сети в зависимости от многих различных факторов, описание нелинейными уравнениями управляемого объекта создают большие трудности в формализации закона управления с применением традиционных математических аппаратов. Предлагается алгоритм управления мощностью или индуктивным сопротивлением реактора в зависимости от сопротивления нагрузки сети. Результаты, полученные на основе компьютерного моделирования, реализующего этот алгоритм, подтверждают эффективность предложенного метода.

К л ю ч е в ы е с л о в а: энергосистема, режимная надежность, шунтирующий реактор, нечеткая логика, управление

На современном этапе требования, предъявляемые к линиям электропередачи (ЛЭП) как строящимся, так и реконструируемым, связывающим электроэнергетические системы (ЭЭС) и осуществляющим передачу больших мощностей на дальние расстояния, сильно ужесточены. За счет компенсации зарядной мощности Q_p передача натуральной мощности $P/P_{\text{нат}}=1$ (P – мощность, передаваемая по ЛЭП; $P_{\text{нат}}$ – натуральная мощность линии) осуществляется при равенстве магнитной и электрической энергии $W_{\text{маг}}=W_{\text{эл}}$. В этом случае распределение напряжения вдоль линии будет равномерным. Нарушение этого равенства приводит к неравномерному распределению напряжения вдоль линии. В особом случае малонагруженность линии ($P/P_{\text{нат}} < 1$) и недокомпенсация зарядной мощности способствуют его генерации ($Q/P_{\text{нат}} < 0$, Q – реактивная мощность), что вызовет увеличение напряжения на шинах подстанции, а в некоторых случаях его превышение от нормированного уровня [1].

На ЛЭП 330 кВ и выше для компенсации зарядной мощности самым эффективным способом считается применение шунтирующих реакторов (ШР) [1, 2]. Для управления уровнем компенсации ЛЭП необходимо учитывать коэффициенты падения напряжения линии: $k=U_1/U_2$ (U_1, U_2 – значения напряжения в начале и на конце линии; для линий с напряжением $U_{\text{ном}} \geq 500$ кВ, $k \leq 1,05$ [1, 2]). В этом случае целесообразно применение управляемых шунтирующих реакторов (УШР), так как с помощью специальных автоматических устройств в

зависимости от режима напряжений изменяется реактивная проводимость реактора.

Анализ характеристик ЛЭП высокого напряжения показывает, что применение УШР приводит к уменьшению потерь и соответственно увеличивает эффективность передачи активной мощности. При постоянном подключении ШР передаваемая мощность находится в интервале 40–50% натуральной мощности. С другой стороны, при суточном изменении передаваемой мощности частая коммутация ШР способствует исчерпанию ресурсов коммутационных аппаратов. Поэтому применение УШР для более высокого класса напряжения обоснованно и перспективно.

Способы управления ШР на основе точных математических моделей не полностью описывают возможность осуществления принципов управления с учетом вероятностного и нечеткого изменения характеристик схемных и режимных параметров электрической сети. Так, изменение параметров электрических сетей в зависимости от природных условий, изменения режима нагрузки и одновременно очень высокая стоимость традиционной аппаратуры автоматического управления на основе тиристорных преобразователей, сложность их эксплуатации и т.д. создают большие трудности, а в некоторых случаях становятся невозможными при формировании законов управления с применением традиционного математического аппарата [3–5]. В этом случае в реальном масштабе времени эффективность традиционного управления ШР снижается и при скачкообразном изменении режимных па-

раметров происходят необоснованные коммутации. Эти факторы и стратегия интеллектуализации современных электрических сетей приводят к тому, что применение ШР является актуальной задачей.

Применение теории нечеткой логики для управления ШР. Современная вычислительная техника и новые программирующие технологии создают возможности реализации достаточно сложных и эффективных алгоритмов. Создание новых способов управления обусловлено тем, что при решении задач традиционным путем возникают некоторые проблемы, так как традиционные способы не отражают неопределенность и неточность параметров входного вектора. И это привело к созданию интеллектуальных систем, основанных на искусственном интеллекте, адаптирующем соответствующее изменение состояния объекта. В связи с этим в электроэнергетике, как и в других областях техники, приоритетным стало решение задач технического управления с применением интеллектуальных систем, реализованных на базе технологий Софт Компьютинг [6, 7].

Одним из таких способов является математический аппарат на основе теории нечеткого множества и нечеткой логики, имеющий широкую область применения в управлении. Этот нетрадиционный подход имеет ряд преимуществ – возможность работы с нечисловой информацией, простота реализации и относительная несложность и т.д. При описании управляемого объекта нелинейными дифференциальными уравнениями более наглядно отражается эффективность нечеткого управления, так как для получения закона управления ШР нет необходимости решать эти сложные аналитически нерешаемые уравнения, а полученная погрешность управления находится в пределах допустимого уровня. Надо отметить, что при поиске решений традиционными способами в условиях неопределенности входной информации значение погрешности при управлении не соответствует действительности. Управляющие устройства, созданные на основе теории нечеткой логики, исключают такие недостатки, требуют малых затрат и несложны в применении [6–8]. Поэтому для компенсации зарядной реактивной мощности высоковольтной ЛЭП поставлена задача использования нечеткого логического аппарата для управления рабочим режимом ШР.

Известно [1], что волновое сопротивление высоковольтной линии определяется по выражению $z_d = \sqrt{X/B}$. Зарядная мощность, обусловленная емкостью B_W этой линии, $-Q_d = U_{\text{ном}}^2 B$, а натуральная мощность $-P_{\text{нат}} = U_{\text{ном}}^2 / Z_d$. Одновременно, зависимость мощности реактора Q_p от нагрузки P (или

сопротивления нагрузки Z) согласно [2, 4] выражается следующим образом:

$$Q_p = P_{\text{нат}} \lambda \left[1 - \left(\frac{P}{P_{\text{нат}}} \right) \right] l; \quad (1)$$

$$x_p = P_{\text{нат}} \lambda \left[1 - \left(\frac{U^2}{P_{\text{нат}} Z} \right)^2 \right] l, \quad (2)$$

где l – длина линии.

На основе традиционного алгоритма из-за указанных ранее причин зависимости (1) и (2) создают большие погрешности в управлении. Поэтому необходимо реализовать зависимости $\tilde{Q}_p = f(\tilde{P})$ или $\tilde{Q}_p = f(\tilde{Z})$ на основе теории нечеткой логики. Таким образом, в зависимости от нагрузки линии или значения сопротивления нагрузки при составлении лингвистической модели нечеткой зависимости мощности реактора Q_p или индуктивного сопротивления x_p от указанных параметров возможно построение управляющего алгоритма. Принимая нечеткую зависимость $\tilde{Q}_p = f(\tilde{Z})$, составляем алгоритм управления. Понятно, что при холостом режиме линии ($P/P_{\text{нат}} = 0$) $Z = \infty$. В этом случае реактор L_R должен быть в режиме максимального потребления реактивной мощности ($Q_p \rightarrow \max$). При $Z = Z_d$ ЛЭП работает в режиме натуральной мощности ($P/P_{\text{нат}} = 1$) и потребность реактора в реактивной мощности должна быть $Q_p = 0$. Таким образом, в соответствии с изменениями сопротивления нагрузки ЛЭП в интервале $Z_d \div \infty$ индуктивность L_R реактора должна быть управляемой. Далее рассматривается задача синтеза нечеткого контроллера.

Известно, что любой контроллер нечеткой логики (КНЛ) состоит из фаззификатора, механизма нечеткого вывода и дефаззификатора [4–8]. Для управления реактором, используя простую лингвистическую нечеткую модель, можно синтезировать нечеткий контроллер с двумя входами и одним выходом:

$$\text{Если } X_1 \text{ } A_i \text{ и } X_2 \text{ } B_i, \text{ тогда } Y \text{ } C_i, \text{ } C_i = \overline{1, n}. \quad (3)$$

Здесь X_1, X_2 – лингвистические переменные входного состояния управляемого объекта; A, B и C – нечеткие подмножества лингвистических переменных, состоящие из термов X_1, X_2 и Y в универсальных множествах E_1, E_2 и E_3 , т.е. $\forall x \in E_1, B \in E_2$ и $\forall y \in E_3$.

Для терм-множеств лингвистических переменных X_1 и X_2 принята гауссовская функция принадлежности: $\mu(x) = \text{gaussmf}(x, P)$ [2, 4, 8]:

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

$$\mu_{1j}(x) = \exp\left(\frac{-(x_j - c_{2j})}{2\sigma_{1j}^2}\right), \quad j = \overline{1, m}; \quad (5)$$

где c – координата максимума; σ – коэффициент концентрации; $\mu_A(x): X_1 \rightarrow [0,1]$, $\mu_B(x): X_2 \rightarrow [0,1]$.

После определения формы нечеткой импликации и типа функции принадлежности на основе нечеткой аппроксимации между вектором параметра состояния и управляющим воздействием формируется выходной сигнал.

Алгоритм нечеткого управления ШР. В составлении алгоритма КНЛ был использован алгоритм Мамдани. При программировании по этому алгоритму для входных параметров (зависимость реактивной потребляемой мощности реактора от нагрузки линии) и для выходных (сопротивление нагрузки, ее скорость изменения и реактивная мощность реактора) параметров принят ряд следующих нечетких терм-подмножеств.

Первым входным параметром КНЛ является лингвистическая переменная «Сопротивление нагрузки» с терм-подмножеством $T_i(Z)$, где $Z_i \in E_{1i}$, $i = \overline{1,5}$:

$$\begin{aligned} E_{11} &= VB \text{ (очень большое - } VB) \underline{\Delta}(Z, \mu_{11}(Z)); \\ E_{12} &= B \text{ (большое - } B) \underline{\Delta}(Z, \mu_{12}(Z)); \\ E_{13} &= M \text{ (среднее - } M); \underline{\Delta}(Z, \mu_{13}(Z)); \\ E_{14} &= S \text{ (малое - } S) \underline{\Delta}(Z, \mu_{14}(Z)); \\ E_{15} &= N \text{ (натуральное - } N) \underline{\Delta}(Z, \mu_{15}(Z)). \end{aligned} \quad (6)$$

Для ЛЭП 500 кВ в натуральном режиме принято волновое сопротивление 287 Ом ($P_{\text{нат}} = 870$ МВт) [1, 2, 4], а значения лингвистических переменных Z «Сопротивления нагрузки» взяты в интервале $(287 \div \infty)$ Ом. Сгенерированные случайные значения переменной Z соответствуют пределу мощности $P = (870 \div 0)$ МВт.

Вторым входным параметром для КНЛ является нечеткая лингвистическая переменная «Динамика» с терм-подмножеством $T_j\left(\frac{dZ}{dt}\right)$, где $\left(\frac{dZ}{dt}\right) \in E_{2j}$ и $k = \overline{1,5}$.

$$\begin{aligned} E_{21} &= \max \text{ (максимум - } \max) \underline{\Delta}\left(\frac{dZ}{dt}, \mu_{21}\left(\frac{dZ}{dt}\right)\right); \\ E_{22} &= B \text{ (большое - } B) \underline{\Delta}\left(\frac{dZ}{dt}, \mu_{22}\left(\frac{dZ}{dt}\right)\right); \\ E_{23} &= M \text{ (среднее - } M) \underline{\Delta}\left(\frac{dZ}{dt}, \mu_{23}\left(\frac{dZ}{dt}\right)\right); \end{aligned} \quad (7)$$

$$E_{24} = S \text{ (малое - } S) \underline{\Delta}\left(\frac{dZ}{dt}, \mu_{24}\left(\frac{dZ}{dt}\right)\right);$$

$$E_{25} = Z_R \text{ (ноль - } Z_R) \underline{\Delta}\left(\frac{dZ}{dt}, \mu_{25}\left(\frac{dZ}{dt}\right)\right).$$

Значения $T_j\left(\frac{dZ}{dt}\right)$ терм-подмножества приняты в интервале от -10 до $+10$.

Выходным параметром КНЛ является нечеткая лингвистическая переменная «Реактивная мощность» с терм-подмножеством $T_k(Q_p)$, $Q_{pk} \in E_{3k}$, $k = \overline{1,5}$:

$$\begin{aligned} E_{31} &= \max \text{ (максимум - } \max) \underline{\Delta}(Q_p, \mu_{31}(Q_p)); \\ E_{32} &= B \text{ (большое - } B) \underline{\Delta}(Q_p, \mu_{32}(Q_p)); \\ E_{33} &= M \text{ (среднее - } M) \underline{\Delta}(Q_p, \mu_{33}(Q_p)); \\ E_{34} &= S \text{ (малое - } S) \underline{\Delta}(Q_p, \mu_{34}(Q_p)); \\ E_{35} &= Z_R \text{ (ноль - } Z_R) \underline{\Delta}(Q_p, \mu_{35}(Q_p)). \end{aligned} \quad (8)$$

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

Здесь $\mu_{1i}(Z)$, $\mu_{2j}\left(\frac{dZ}{dt}\right)$, $\mu_{3k}(Q_p)$ являются функциями принадлежности терм-подмножеств $Z_1, \frac{dZ}{dt}$ и Q_p и определены соответственно в универсальном множестве E_{1j} , E_{2j} и E_{3k} .

Таблица 1

Терм-подмножества	Функции принадлежности	Параметры
Сопротивление нагрузки Z		
Очень большое	Гауссовская функция	[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	Гауссовская функция	[2,1 10]
Большая		[2,1 5]
Нормальная		[2,1 0]
Малая		[2,1 -5]
Очень малая		[2,1 -10]
Реактивная мощность Q_p		
Максимальная	Гауссовская функция	[7,33 274]
Большая		[10,54 257]
Средняя		[21,66 206]
Малая		[33,27 120]
Ноль		[42,03 0]

В зависимости от входных сигналов $Z, \frac{dZ}{dt}$ КНЛ приводят в действие регулирование мощности реакторов Q_{p1}, Q_{p2} и реализуют 25 нечетких правил типа (3), составленных на основе алгоритма Мамдани. В табл. 1 приведены значения параметров термов (дисперсия, среднее), характеризующих Гауссовские функции принадлежности.

В табл. 2 приведена управляющая матрица-алгоритм мощности реактора в формате нечеткой лингвистической модели «Если – тогда» на основе лингвистических моделей (4)–(6). Нечеткий управляющий алгоритм-матрица состоит из 25 правил. Антецедентная часть каждого правила отражает две, а консеквентная часть – одну импликацию.

Таблица 2

dZ/dt	Z_R	S	M	B	max
Z	Z_R	S	M	B	max
N	Z_R	Z_R	Z_R	Z_R	Z_R
S	Z_R	S	S	S	M
M	S	M	M	M	B
B	M	B	B	B	max
VB	B	max	max	max	max

Для дефаззификации, т.е. для перехода из фазы нечетких управляющих воздействий на четкое управляющее воздействие, удобнее всего использовать стратегию центра тяжести, обладающего хорошей статистической точностью [6–8].

Результаты компьютерного моделирования. При моделировании проведены практические расчеты работы нагрузки шунтирующих реакторов типа

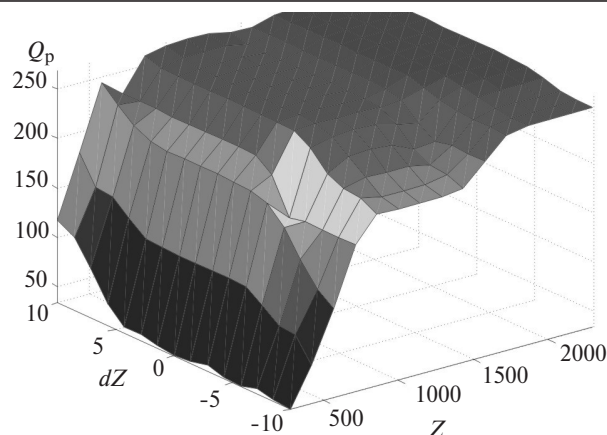


Рис. 1. Управляющая поверхность $Q_p = \tilde{f}\left(Z, \frac{dZ}{dt}\right)$

РОДС-100/500 У1 мощностью 280 МВА, напряжением 500 кВ, включенных по обоим концам линии протяженностью $L=300$ км.

На рис. 1 показана поверхность $Q_p = \tilde{f}\left(Z, \frac{dZ}{dt}\right)$, полученная на основе модуля Fuzzy Logic Toolbox в среде Matlab, отражающая принцип действия контроллера при управлении. Как видно из зависимостей $Q_p = \tilde{f}\left(Z, \frac{dZ}{dt}\right)$, при $Z = Z_d (P = P_{\text{нат}}) Q_p \rightarrow \min$; при $Z = \infty (P = 0) Q_p \rightarrow \max$, а при промежуточных значениях нагрузки с нечетким управлением мощностью ШР удовлетворяется потребляемая реактивная мощность в диапазоне $Q_p = \min \div \max$.

Другими словами, при нечетких изменениях нагрузки на основании предложенного алгоритма, реализующего эффективное управление реактора, можно обеспечить нормальное рабочее напряжение на шинах.

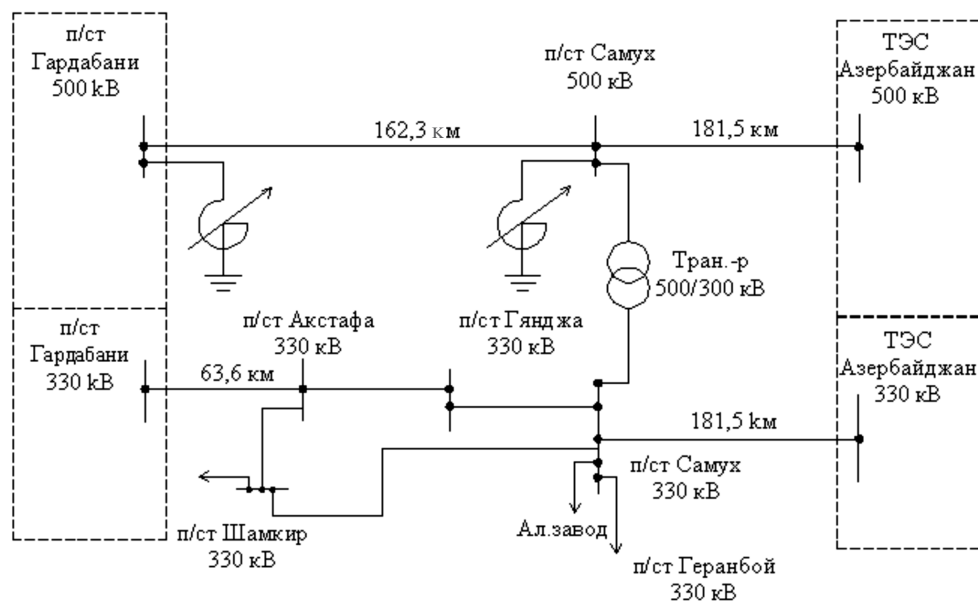


Рис. 2. Фрагмент электрической схемы сети 500/330 кВ системы Азербээнержи

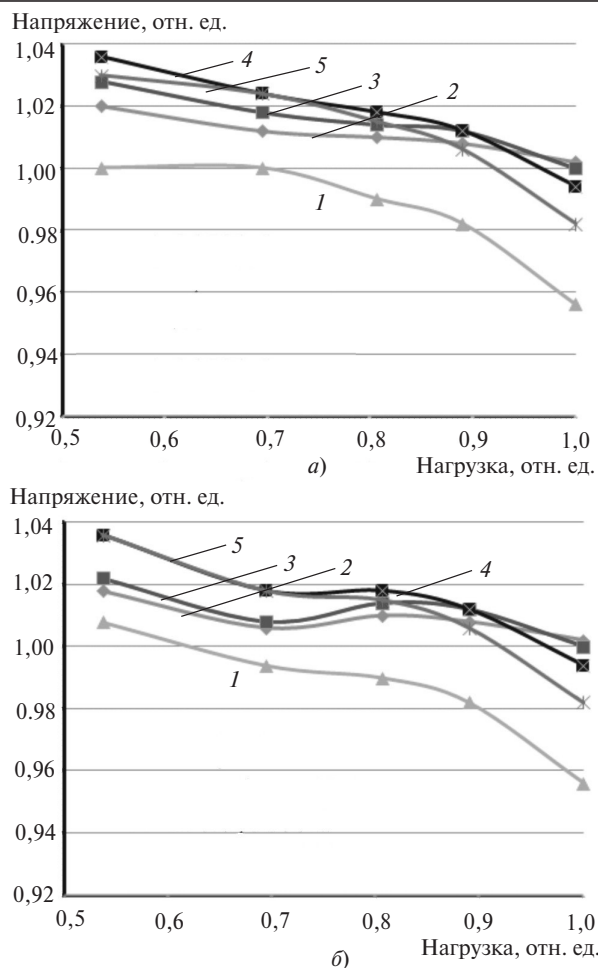


Рис. 3. Профиль напряжения для отдельных узлов: а – с отключенным УШР; б – с включенным УШР; 1 – Гардабани 500 кВ; 2 – АзЭС 500 кВ; 3 – Самух 500 кВ; 4 – Акстафа 330 кВ; 5 – Гардабани 330 кВ

Для тестирования предложенного алгоритма проведены расчеты для электрической сети 500/330 кВ в системе Азербээнерджи, фрагмент электрической схемы приведен на рис. 2.

На основе компьютерной реализации нечеткого алгоритма проведены расчетные эксперименты для различных нагрузочных режимов. Полученные результаты для напряжения шин показаны на рис. 3 и 4.

Как видно из рисунков, при нечетком управлении ШР в зависимости от перетока по линиям напряжение на шинах 500 кВ и 300 кВ находится в пределах установленной нормы. Управление ШР, установленных по обеим концам линии (рис. 2), можно проводить отдельно или вместе в зависимости от уровня напряжения на этих концах.

Вывод. Результаты проведенного расчетного эксперимента для различных перетоков линии с помощью имитационного моделирования реальной сети энергосистем, реализующего предложенный нечеткий алгоритм управления ШР, подтверждают его эффективность. При этом напряжения на шинах высоковольтной сети находились в допустимых пределах.

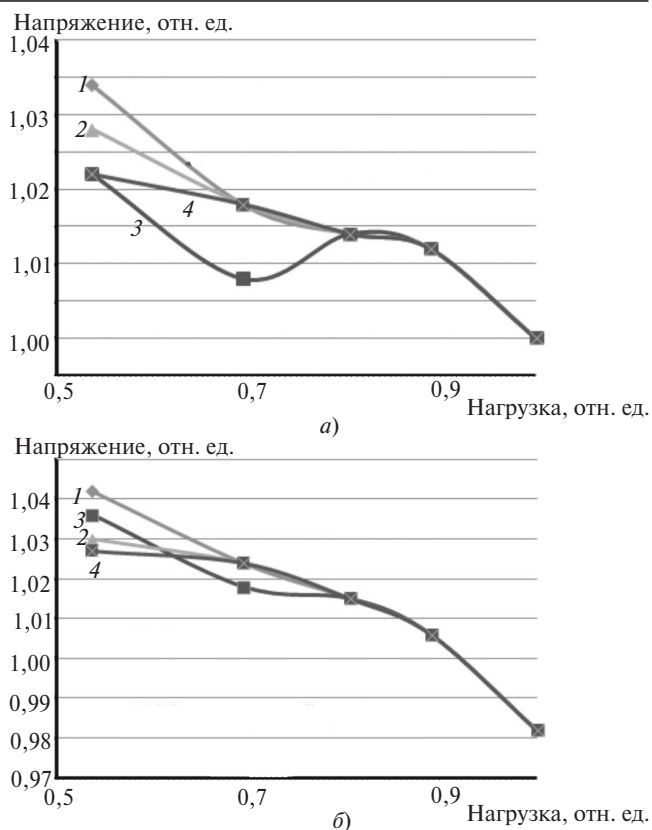


Рис. 4. Кривые изменения напряжения для ЛЭП 500 кВ Самух–Гардабани: а – в узле Самух; б – в узле Гардабани; 1 – УШР отключен; 2 – УШР включен в узле Гардабани; 3 – то же в узле Самух; 4 – то же в обоих узлах

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. Hashimov A.M., Guliyev H.B., Babayeva A.R. IJTRPE Journal International Journal on Technical and physical problems of engineering (IJTRPE), 2017, iss. 30, vol. 9, No. 1, pp. 18–22.
3. Jahmeerbacus I., Bhurtum C. Fuzzy Control of a Variable-speed Wind Power Generating System. – Energize, August 2008, pp. 41–45.
4. Bansal R.C. Bibliography on the fuzzy set theory applications in power systems [1994–2001]. – IEEE Transactions on Power Systems, November 2003, vol. 18, pp. 1291–1299.
5. Гулиев Г.Б., Рахманов Н.Р. Регулятор нечеткой логики для управления реактивной мощностью и напряжением в сетях с распределенной генерацией. – ЭЛЕКТРО. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность, 2014, № 2, с. 47–52.
6. Zadeh L.A. Fuzzy Sets. Inform. and Control, 1965, vol. 8, pp. 338–353.
7. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976, 178 с.
8. Леонков А.В. Нечёткое моделирование в среде MATLAB и fuzzy TECH. – СПб.: БХВ Петербург, 2003, 736 с.

[07.02.2018]

Авторы: Пирвердиев Этибар Синабеддин оглы окончил в 1987 г. Таганрогский радиотехнический институт им. В.Д. Калмыкова. Президент ОАО «Азербээнерджи».

Гашимов Ариф Мамед оглы в 1971 г. окончил энергетический факультет Азербайджанского института нефти и химии им. М. Азизбекова. В 1993 г. защитил докторскую диссертацию «Моделирование поверхностного эффекта и короны при расчетах волновых процессов в электрических сетях» в Институте электродинамики АН Украины. 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 энергетический факультет Азербайджанского ин-

ститута нефти и химии. В 2003 г. в АзНИ и ПИИЭ защитил кандидатскую диссертацию «Разработка методов анализа несинусоидальных режимов в узлах промышленных нагрузок». Ведущий научный сотрудник АзНИ и ПИИЭ.

Бабаева Айтек Рамиз кызы в 1994 г. окончила энергетический факультет Азербайджанской государственной нефтяной академии. В 2004 г. в АзНИ и ПИИЭ защитила кандидатскую диссертацию «Компьютерное моделирование неполнофазной работы линии электропередачи и ее защиты». Ученый секретарь АзНИ и ПИИЭ.

Elektrichestvo, 2018, No. 6, pp. 35–40

DOI:10.24160/0013-5380-2018-6-35-40

Synthesis of Control Algorithm for Shunt Reactor Using Fuzzy Logic

PIRVERDIYEV Etibar Sinabeddin (JSC «Azerenerji», Baku, Azerbaijan) – President

HASHIMOV Arif Mamed (The Azerbaijan Scientific-Research and Designed-Prospecting Institute of Energetics (ASRDPIE), Baku, Azerbaijan) – Director, Dr. Sci. (Eng.)

GULIYEV Guseyngulu Bayram (ASRDPIE, Baku, Azerbaijan) – Leading scientific researcher, Cand. Sci. (Eng.)

BABAYEVA Aytek Ramiz (ASRDPIE, Baku, Azerbaijan) – Academic Secretary, Cand. Sci. (Eng.)

In order to normalize the voltage levels on the high-voltage buses of an electric network and to enhance the power system operational reliability, the article considers a synthesis of a controller producing a control output based on fuzzy sets and fuzzy logic for efficiently controlling the reactive power of shunt reactors connected for compensating the power line capacitive reactive power. It is shown that uncertainty in variation of the electric network operating and circuit parameters depending on many different factors and description of a controlled plant by nonlinear equations give rise to serious difficulties in formalizing a control law by means of conventional mathematical techniques. The article proposes an algorithm for controlling the shunt reactor reactive power or reactance as a function of the network load impedance. The results obtained on the basis of computer simulation implementing this algorithm confirm the effectiveness of the proposed method.

Key words: power system, operational reliability, shunt reactor, fuzzy logic, control

REFERENCES

1. Kochkin V.I., Nechayev O.P. *Primeneniye staticheskikh kompensatorov reaktivnoi moshchnosti v elektricheskikh setyakh energosistem i predpriyatii* (Application of static reactive power compensators in power grids of power systems and enterprises). Moscow, Publ. «ENAS», 2002, 248 p.
2. Hashimov A.M., Guliyev H.B., Babayeva A.R. *IJTPE Journal International Journal on Technical and physical problems of engineering (IJTPE)*, 2017, iss. 30, vol. 9, No. 1, pp. 18–22.
3. Jahmeerbacus I., Bhurtum C. Fuzzy Control of a Variable-speed Wind Power Generating System. – *Energize*, August 2008, pp. 41–45.
4. Bansal R.C. Bibliography on the fuzzy set theory applications in power systems [1994–2001]. – *IEEE Transactions on Power Systems*, November 2003, vol. 18, pp. 1291–1299.
5. Guliyev G.B., Rakhmanov N.R. *ELEKTRO. Elektrotehnika, elektroenergetika, elektrotekhnicheskaya promyshlennost'* – in Russ. (ELEKTRO. Electrical engineering, electric power industry, electrotechnical industry), 2014, No. 2, pp. 47–52.
6. Zadeh L.A. Fuzzy Sets. *Inform. and Control*, 1965, vol. 8, pp. 338–353.
7. Zadeh L.A. *Ponyatiye lingvisticheskoi peremennoi eye primeneniye k prinyatiyu priblizhennykh reshenii* (Concept of linguistic variable and its application to the adoption of approximate solutions). Moscow, Publ. «Mir», 1976, 178 p.
8. Leonkov A.V. *Nechetkoye modelirovaniye v srede MATLAB i fuzzy TECH* (Fuzzy modeling in MATLAB and fuzzy TECH). St. Petersburg, 2003, 736 p.

[07.02.2018]