

УДК 621.316.761.2

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ**ФАРХАДОВ З.И.***Сумгаитский Государственный Университет*

Рассматриваются вопросы синтеза системы автоматического регулирования реактивной мощности в условиях неопределённостей и трудно формализуемых факторов в системе электроснабжения предприятия. Приведена структура системы автоматического регулирования реактивной мощности и алгоритма его регулирования.

Электроприёмники промышленных предприятий требуют для своей работы как активной, так и реактивной мощности. Снижая потребление приемниками реактивной мощности, можно уменьшать установленную мощность генератора, трансформаторную мощность подстанций, увеличивать пропускную способность системы электроснабжения, не увеличивая сечения кабелей, проводов и других токоведущих частей.

Применяемые системы автоматического регулирования (САР) реактивной мощности [1], помимо экономии электроэнергии, не используют резерв реактивной мощности (РМ) при колебаниях и отклонениях напряжения в системе электроснабжения (СЭС) предприятия, а также обладают большой зоной нечувствительности из-за предварительной настройки их на определенное значение контролируемого параметра. В связи с этим увеличивается погрешность САР при регулировании РМ, снижается возможность создания экономического режима работы СЭС и эффективного распределения электроэнергии.

Целью настоящей работы является разработка системы и алгоритма регулирования РМ с учетом колебаний и отклонений напряжения в СЭС предприятия с применением теории нечетких множеств.

На основании данных исследования СЭС механического цеха компрессорного завода с целью регулирования РМ показали, что она представляет собой сложную систему, функционирование которой характеризуется неопределенностью, вносимой режимами работы приемников электрической энергии. С учетом индивидуальности изменения нагрузки каждого потребителя электроэнергии механического цеха, а также выполнения распределительной сети кабельными линиями конденсаторные батареи присоединяем непосредственно к шинам цеховой подстанции напряжением 0,4 кВ.

На основе накопленной информации и качественных рассуждений по регулированию реактивной мощностью был осуществлен переход к качественному описанию объекта регулирования, основу, которой составляет правило вида: «Если ошибка по реактивной мощности «отрицательно малая», а ошибка по напряжению «нулевая», то управляющее воздействие «включить малую емкость» и т.д.».

На рис.1 приведена структурная схема САР реактивной мощностью.

Разработанная структурная схема работает следующим образом: измеряются величины реактивной мощности в нагрузке-1 и напряжения сети соответственно датчиками реактивной мощности (ДРМ)-2 и напряжения (ДН)-3. Затем на первый вход сумматора-4 поступает задание, а на второй вход - текущее значение реактивной мощности от датчика ДРМ. Одновременно на первый вход сумматора-5 поступает задание, а на второй - текущее значение напряжения сети от датчика ДН-3. Полученные ошибки поступают на вход нечеткого контроллера выделенного пунктиром.

$\sim U_C$

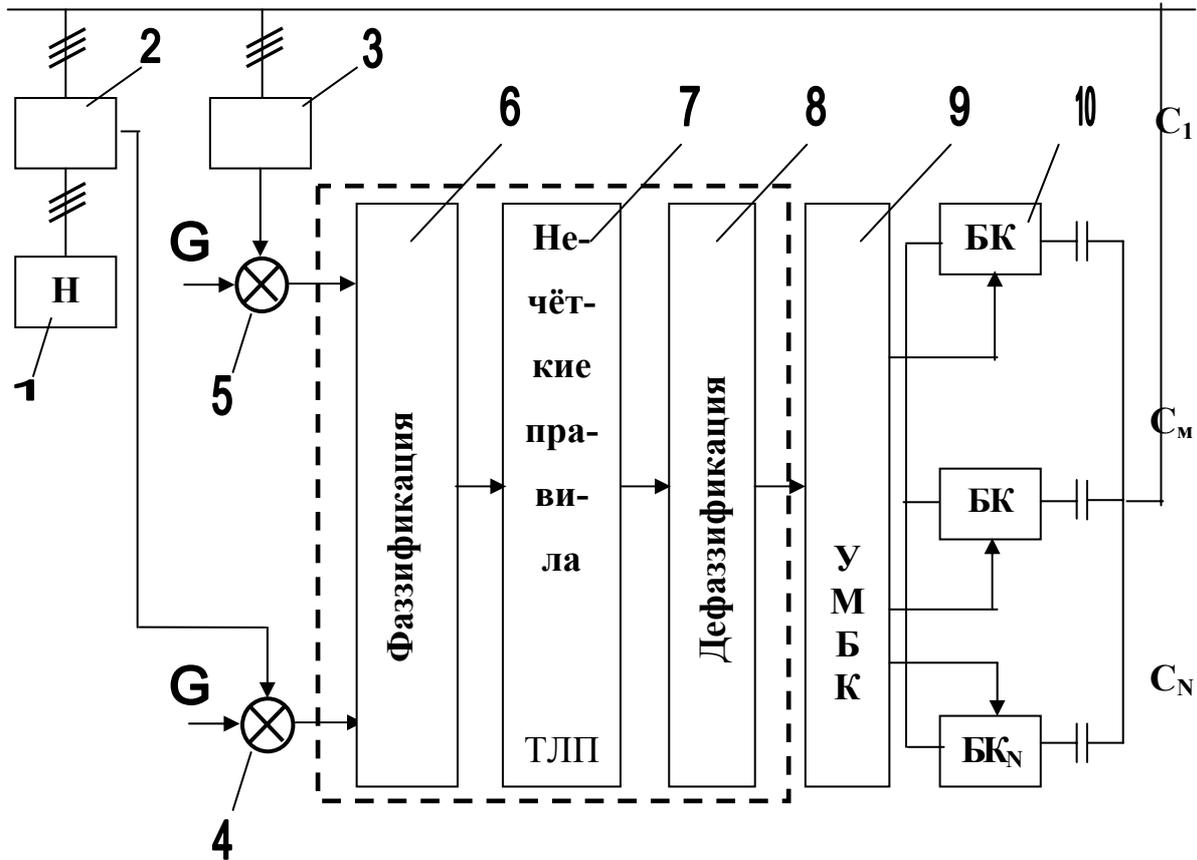


Рис 1. Структурная схема САР реактивной мощности.

Последний включает: фаззификатор - 6, предназначенный для трансформации четких сигналов в нечеткие множества; таблица лингвистических правил (ТЛП)-7, т.е. совокупность нечетких правил, описывающие нечеткие отношения между входными и выходными параметрами контроллера; дефаззификатор-8, где полученное нечеткое значение после дефаззификации в виде четкого управляющего воздействия поступает на вход блока управления мощностью батарей конденсаторов (БУМБК)-9 и на блоки коммутации (БК)-10.

Критерием качества системы является

$$|\varepsilon_p(t)| \leq \delta, \quad (\delta = 30 \text{ квар})$$

где $\varepsilon_p(t)$ ошибка по реактивной мощности.

Ошибка по реактивной мощности $\varepsilon_p(t)$ и по напряжению $\varepsilon_H(t)$ определяется по выражениям:

$$\varepsilon_p(t) = G_p - y_p(t); \quad \varepsilon_H(t) = G_H - y_H(t),$$

где $y_p(t)$, $y_H(t)$ и G_p , G_H -соответственно текущие значения выходных управляемых переменных и задающих воздействий системы.

Нечеткие подмножества лингвистической переменной ошибки по реактивной мощности E_{1i} определены по следующему языку [2]:

$$\begin{aligned}
E_{11} &= \text{ООБ} \quad (\text{отрицательно очень большая}) \quad \underline{\underline{\Delta}}(\varepsilon, \mu_{11}(\varepsilon(t))) \\
E_{12} &= \text{ОБ} \quad (\text{отрицательно большая}) \quad \underline{\underline{\Delta}}(\varepsilon, \mu_{12}(\varepsilon(t))) \\
E_{13} &= \text{ОС} \quad (\text{отрицательно средняя}) \quad \underline{\underline{\Delta}}(\varepsilon, \mu_{13}(\varepsilon(t))) \\
E_{14} &= \text{ОМ} \quad (\text{отрицательно малая}) \quad \underline{\underline{\Delta}}(\varepsilon, \mu_{14}(\varepsilon(t))) \\
E_{15} &= \text{Н} \quad (\text{нуль}) \quad \underline{\underline{\Delta}}(\varepsilon, \mu_{15}(\varepsilon(t))) \\
E_{16} &= \text{ПМ} \quad (\text{положительная малая}) \quad \underline{\underline{\Delta}}(\varepsilon, \mu_{16}(\varepsilon(t))) \\
E_{17} &= \text{ПС} \quad (\text{положительно средняя}) \quad \underline{\underline{\Delta}}(\varepsilon, \mu_{17}(\varepsilon(t))) \\
E_{18} &= \text{ПБ} \quad (\text{положительно большая}) \quad \underline{\underline{\Delta}}(\varepsilon, \mu_{18}(\varepsilon(t))) \\
E_{19} &= \text{ПОБ} \quad (\text{положительно очень большая}) \quad \underline{\underline{\Delta}}(\varepsilon, \mu_{19}(\varepsilon(t)))
\end{aligned} \tag{1}$$

Здесь E - универсальное множество ошибки.

Аналогичным же образом в принятом языке лингвистики определяются нечеткие подмножества для лингвистической переменной ошибки E_{2j} по напряжению .

Нечеткие подмножества для лингвистической переменной $U_{1\gamma}$ управляющего воздействия на батареи конденсаторов определены по следующему языку:

$$\begin{aligned}
U_{11} &= \text{ООБЕ} \quad (\text{отключить очень большую емкость}) \quad \underline{\underline{\Delta}}(U, \mu_{11}(U(t))) \\
U_{12} &= \text{ОБЕ} \quad (\text{отключить большую емкость}) \quad \underline{\underline{\Delta}}(U, \mu_{12}(U(t))) \\
U_{13} &= \text{ОСЕ} \quad (\text{отключить среднюю емкость}) \quad \underline{\underline{\Delta}}(U, \mu_{13}(U(t))) \\
U_{14} &= \text{ОМЕ} \quad (\text{отключить малую емкость}) \quad \underline{\underline{\Delta}}(U, \mu_{14}(U(t))) \\
U_{15} &= \text{Н} \quad (\text{нуль}) \quad \underline{\underline{\Delta}}(U, \mu_{15}(U(t))) \\
U_{16} &= \text{ВМЕ} \quad (\text{включить малую емкость}) \quad \underline{\underline{\Delta}}(U, \mu_{16}(U(t))) \\
U_{17} &= \text{ВСЕ} \quad (\text{включить среднюю емкость}) \quad \underline{\underline{\Delta}}(U, \mu_{17}(U(t))) \\
U_{18} &= \text{ВБЕ} \quad (\text{включить большую емкость}) \quad \underline{\underline{\Delta}}(U, \mu_{18}(U(t))) \\
U_{19} &= \text{ВОБЕ} \quad (\text{включить очень большую емкость}) \quad \underline{\underline{\Delta}}(U, \mu_{19}(U(t)))
\end{aligned} \tag{2}$$

Общие пределы изменения и нечеткие подмножества соответствующих ошибок (280 кВар, $\pm 12\text{В}$) и управляющего воздействия (± 280 кВар) определяются из опыта и рассуждений о процессе управления реактивной мощностью исследуемого цеха.

Функции принадлежности $\mu_{1i}(\varepsilon(t))$, $\mu_{2j}(\varepsilon(t))$, $\mu_{1\gamma}(U(t))$ нечетких множеств ошибки по реактивной мощности, напряжения и управляющих воздействий на батареи конденсаторов построены по следующим выражениям :

$$\begin{aligned}
\mu_{1i}(\varepsilon(t)) &= \exp\left(-g_{1i} \left| \varepsilon_p(t) - \overline{\varepsilon_{1i}} \right| \right) \quad (i = \overline{1,9}) \\
\mu_{2j}(\varepsilon(t)) &= \exp\left(-g_{2j} \left| \varepsilon_H(t) - \overline{\varepsilon_{2j}} \right| \right) \quad (j = \overline{1,9}) \\
\mu_{1\gamma}(U(t)) &= \exp\left(-g_{1\gamma} \left| U(t) - \overline{U_\gamma} \right| \right) \quad (\gamma = \overline{1,9})
\end{aligned} \tag{3}$$

Для построения и использования лингвистической таблицы правил регулятора заранее задаются значения μ_{1i} , μ_{2j} , $\mu_{1\gamma}$, при которых $\varepsilon_p(t)$, $\varepsilon_H(t)$ и $U(t)$ принад-

лежат соответствующим множествам E_{1i}, E_{2j}, U_γ . Согласно последнему, постоянные $g_{1i}, g_{2j}, g_{3\gamma}$ в (3) определяются из выполнения заданных условий:

$$\begin{aligned} \mu_{1i}(\varepsilon_P(t)) &\geq 0,5 & \text{при} & \varepsilon_P(t) \in E_{1i} \\ \mu_{2j}(\varepsilon_H(t)) &\geq 0,5 & \text{при} & \varepsilon_H(t) \in E_{2j} \\ \mu_{3\gamma}(U(t)) &\geq 0,5 & \text{при} & U(t) \in U_{1\gamma} \end{aligned}$$

В выражении (3) $\overline{\varepsilon}_i (i=\overline{1,9}), \overline{\varepsilon}_j (j=\overline{1,9}), \overline{U}_\gamma (\gamma=\overline{1,9})$ соответствуют средним значениям i -го, j -го, γ -го множеств ошибок по реактивной мощности, напряжению и управляющих воздействий, у которых степень принадлежности равна 1,0.

В таблице 1 приведены определенные значения

$$\begin{aligned} \overline{g}_{1i} (i = \overline{1,9}), \overline{g}_{2j} (j = \overline{1,9}), \overline{g}_{3\gamma} (\gamma = \overline{1,9}) \\ \overline{\varepsilon}_{1i} (i = \overline{1,9}), \overline{\varepsilon}_{2j} (j = \overline{1,9}), \overline{U}_\gamma (\gamma = \overline{1,9}) \end{aligned}$$

Таблица 1

	i, j, γ								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\overline{\varepsilon}_{1i}$	-280	-150	-100	-50	0	50	100	150	280
\overline{g}_{1i}	0,0077	0,0172	0,0178	0,0188	0,023	0,0346	0,023	0,01	0,0086
$\overline{\varepsilon}_{2j}$	-12	-7	-4	-2	0	2	4	7	12
\overline{g}_{2j}	0,277	0,255	0,462	1,386	0,462	1,386	0,462	0,255	0,277
\overline{U}_γ	-280	-150	-100	-50	0	50	100	150	280
$\overline{g}_{3\gamma}$	0,0086	0,0346	0,0017	0,0346	0,0231	0,0346	0,231	0,0346	0,0063

Теперь используя нечеткие множества $E_{1i}, E_{2j}, U_{1\gamma}$ вида (1) и (2) можно написать нечеткое отношение более компактно

$$R = E_{11} \wedge E_{21} \wedge U_{11} \vee E_{12} \wedge E_{22} \wedge U_{12} \vee \dots$$

(4)

$$\dots \vee E_{1i} \wedge E_{2j} \wedge U_{1\gamma} \vee \dots E_{1m} \wedge E_{2m} \wedge U_m = \bigcup_{r=1}^m R_r$$

На базе рассуждений вида (1)-(4) разработана лингвистическая таблица правил нечеткого регулятора.

Управляющие воздействия на конденсаторные батареи определяется из таблицы правил по композиционному правилу вывода Заде

$$U = E_{1i} \circ (E_{2j} \circ R) \quad (5)$$

пересечением лингвистических нечетких множеств E_{1i}, E_{2j} .

Для нахождения оптимальных коэффициентов, а также корректировки исходной ТЛП нечеткого логического регулятора было проведено машинное моделирование системы. Для регулирования реактивной мощности разработан алгоритм, который в ос-

новном состоит их фактов, собранных с помощью обслуживающего персонала и правил, определяющих логический вывод для управления конденсаторными батареями.

Учитывая, что язык Пролог является естественным языком [3] для издания фактов и очень удобен для запросов к базе данных, не указывая в деталях всех их компонентов, разработана специальная Пролог-программа. Полученные данные об ошибке реактивной мощности и об ошибке по напряжению представляются на языке Пролог в виде множества фактов.

PM (E1, ООБ)

PM (E2, ОБ)

PM (E3, ОС)

PM (E4, ОМ)

PM (E5, Н)

PM (E6, ПМ)

PM (E7, ПС)

PM (E8, ПБ)

PM (E9, ПОБ)

Где PM- предикат в Прологе, имеющих два аргумента. Первый аргумент $E_i (i = \overline{1,9})$ нечеткого подмножества для лингвистической переменной ошибки по реактивной мощности и по напряжению, а второй – терм множества лингвистической переменной.

После того, как знания о системе, обеспечивающие регулирование реактивной мощностью будут описаны в Пролог программе, созданные базы знаний на основе фактов позволяют принимать решение в условиях неопределенности.

Эффективным в таких случаях является база знаний (БЗ), имеющая конструкции вида:

$$P_j : D_j \Rightarrow U_j$$

где P_j -правило продукции; D_j - антецедент импликации; U_j -консеквент импликации. Каждая продукция в виде набора правил легко представляется на языке Пролог как фрагмент знаний. Кроме того, после создания первичной БЗ, программа самостоятельно модифицирует знания без экспертов.

В результате машинного моделирования получена оптимальная ТЛП нечеткого логического регулятора. Система, построенная на базе нечеткого логического контроллера, является помехоустойчивой и малочувствительной к параметрическим возмущениям, действующим на объект. Разработанная система и алгоритм регулирования реактивной мощности повышают эффективность распределения электроэнергии в СЭС и могут быть применены в производствах, аналогичных рассмотренному.

-
1. Ильяшов В.П. Автоматическое регулирование мощности конденсаторных установок. М. Энергия, 1977, 105 с.
 2. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений. –М.: Мир, 1976.-178 с.
 3. Малпас Дж. Реляционный язык Пролог и его применение. –М.: Наука-1990

MÜƏSSISƏNİN ELEKTRİK TƏHCİZATI SİSTEMİNDƏ REAKTİV GÜCÜN AVTOMATİK TƏNZİMLƏMƏ SİSTEMİ

FƏRHADOV Z.İ.

Müəssisənin elektrik təchizatı sistemində qeyri-müəyyənlik və çətin formalaşdırılan amilləri şəraitində avtomatik tənzimləmə sisteminin sintezi məsələlərinə baxılır. Reaktiv gücün avtomatik tənzimləmə sisteminin strukturu və onun tənzimləmə alqoritmi təqdim olunur.

THE SYSTEM OF AUTOMATIC CONTROL OF REACTIVE POWER IN THE ELECTROSUPPLY SYSTEM OF ENTERPRISES

FARHADOV Z.I.

The problems of the automatically system regulation syntheses of reactive power under the conditions nondeterminness and hard formalized factors in electrosupply system of the enterprises are considered. The structure of reactive power automatically regulation system and the algorithm of its regulation is given.