

УДК 681.518.54:62-8

В. В. Грабко, д. т. н., проф.; С. М. Бабій**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ
В СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ**

В роботі розроблено нечітку математичну модель оцінки якості перехідних процесів в системах керування електромеханічними об'єктами, а також здійснено її тонку настройку шляхом використання апарату генетичних алгоритмів.

Ключові слова: модель, електромеханічна система, діагностування, генетичний алгоритм.

Актуальність

Експлуатація електромеханічних систем передбачає їх роботу зокрема в перехідних режимах, причинами яких можуть бути як зміни параметрів вхідних керуючих впливів, так і різноманітні збурюючі дії, які порушують нормальне функціонування системи. В таких умовах електромеханічна система повинна забезпечити стійку роботу з встановленими показниками якості, які характеризують динаміку її роботи. Оцінка показників якості дозволяє робити висновок про технічний стан об'єкта діагностування.

Якщо електромеханічна система є стійкою в перехідних режимах, але вона не забезпечує бажаний перехідний процес, то практично така система вже не може експлуатуватися [1].

Деякі аспекти вирішення даного питання розглянуті в роботах [2-5].

Так в роботі [3] розроблено математичну модель діагностування систем керування електричним приводом, однак запропонований підхід в більшій мірі придатний для аналізу усталених режимів роботи. В роботах [4, 5] показано інший шлях розв'язку даної проблеми шляхом створення діагностичних моделей в вигляді адаптивних нейро-нечітких мереж.

Оскільки оцінка показників якості дозволяє робити висновок про технічний стан об'єкта діагностування, тому побудуємо відповідну математичну модель, яка базується на використанні елементів теорії нечітких множин. Для настройки роботи моделі з конкретним об'єктом діагностування скористаємось апаратом генетичних алгоритмів, який на даному етапі є одним з найбільш сучасних і для нього не є характерною проблема локального екстремуму.

Розв'язання задачі

Якість регулювання прийнято оцінювати рядом показників, основними з яких є: величина перерегулювання; час регулювання; кількість коливань регульованої величини за час перехідного процесу [6].

В якості вхідних змінних моделі будуть використовуватися зазначені показники якості перехідних процесів, а в якості вихідної змінної – показник якості функціонування. В разі необхідності, з метою покращення якості діагностування, в математичну модель можна вводити і інші додаткові змінні, які характеризують роботу електромеханічної системи.

Таблиця 1

Параметри вхідних змінних

Показники	Практичне використання		
	Рідко	Часто	Уникають
Перерегулювання, %	0	10-30	50-70
Кількість коливань	0	1, 2	3, 4

Значення вихідних змінних для різних систем відрізняються і для більшості систем знаходяться в певних межах (табл. 1) [1, 6].

Для опису вхідних x_1, x_2, x_3 та вихідних d змінних будемо використовувати лінгвістичну оцінку відповідно до термів, що представлені в таблиці 2. Для опису окремих нечітких термів T використаємо модель функції належності (ФН) виду [7]

$$\mu^T(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x-b}{c}\right)^2}, \tag{1}$$

де b – координата максимуму ФН; c – коефіцієнт концентрації-розтягування ФН.

Таблиця 2

Лінгвістична оцінка змінних

Параметри	Назва	Діапазон значень	Терми
x_1	Перерегулювання	0%...100%	мале (М), середнє (С), допустиме (Д), велике (В)
x_2	Кількість коливань	0...5	мала (М), допустима (Д), велика (В)
x_3	Час перехідного процесу	0 с...10 с	малий (М), середній (С), допустимий (Д), великий (В)
d	Якість	1...5	незадовільна (d_1), недопустима (d_2), достатня (d_3), висока (d_4), дуже висока (d_5)

Користуючись введеними термами лінгвістичних змінних та деревом логічного висновку (рис. 1) розробимо експертну базу знань, яка є нечітким носієм інформації про причинно-наслідкові зв'язки між вихідними змінними (табл. 3).

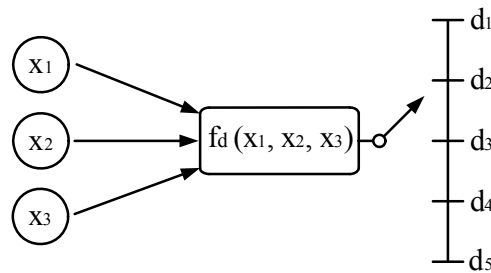


Рис. 1. Дерево логічного висновку

Таблиця 3

Експертна база знань

Вхідні змінні			Вихід	Вхідні змінні			Вихід	Вхідні змінні			Вихід
x_1	x_2	x_3	d	x_1	x_2	x_3	d	x_1	x_2	x_3	d
М	М	М	d_5	С	М	Д	d_3	С	Д	В	d_2
М	М	С		С	Д	Д		С	В	Д	
С	М	М		Д	Д	С		С	В	В	
С	М	С		Д	Д	Д		Д	Д	В	
М	Д	С	d_4	В	Д	Д	d_2	В	Д	В	
С	Д	С		М	М	В		В	В	Д	
М	М	Д	d_3	М	В	В	d_1	В	В	В	d_1

Значення параметрів ФН для термів вхідних змінних визначаються особливостями конкретної системи. На етапі підготовки моделі задаються довільними значеннями параметрів термів з діапазону можливих. Так, орієнтуючись на системи, які отримали найбільше практичне використання, їх можна представити в вигляді таблиці 4.

Початкові параметри настройки ФН нечітких термів

Зм.	Терми	ФН		Зм.	Терми	ФН		Зм.	Терми	ФН	
		b	c			b	c			b	c
x ₁	(М)	0	2,88	x ₂	(М)	0	0,46	x ₃	(М)	0	0,23
	(С)	10			(Д)	1,5	0,29		(С)	0,75	
	(Д)	20			(В)	3	0,46		(Д)	1,5	
	(В)	30					(В)		2,25		

Для отримання результатів моделювання складемо, на основі експертної бази знань і термів ФН, базу нечітких логічних рівнянь, при цьому будемо використовувати операції \bullet (I-min) та \vee (АБО-max). Ваги окремих логічних правил рівні одиниці, оскільки даний етап передбачає лише грубу настройку моделі.

Нечіткі логічні привила оцінки якості перехідних процесів системи мають вигляд (2) – (6).

$$\begin{aligned} \mu^{d_5}(d) = & [\mu^M(x_1) \cdot \mu^M(x_2) \cdot \mu^M(x_3)] \vee \\ & \vee [\mu^M(x_1) \cdot \mu^M(x_2) \cdot \mu^C(x_3)] \vee \\ & \vee [\mu^C(x_1) \cdot \mu^M(x_2) \cdot \mu^M(x_3)] \vee \\ & \vee [\mu^C(x_1) \cdot \mu^M(x_2) \cdot \mu^C(x_3)], \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \mu^{d_4}(d) = & [\mu^M(x_1) \cdot \mu^D(x_2) \cdot \mu^C(x_3)] \vee \\ & \vee [\mu^C(x_1) \cdot \mu^D(x_2) \cdot \mu^C(x_3)], \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \mu^{d_3}(d) = & [\mu^M(x_1) \cdot \mu^M(x_2) \cdot \mu^D(x_3)] \vee \\ & \vee [\mu^C(x_1) \cdot \mu^M(x_2) \cdot \mu^D(x_3)] \vee \\ & \vee [\mu^C(x_1) \cdot \mu^D(x_2) \cdot \mu^D(x_3)] \vee \\ & \vee [\mu^D(x_1) \cdot \mu^D(x_2) \cdot \mu^C(x_3)] \vee \\ & \vee [\mu^D(x_1) \cdot \mu^D(x_2) \cdot \mu^D(x_3)] \vee \\ & \vee [\mu^B(x_1) \cdot \mu^D(x_2) \cdot \mu^D(x_3)], \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \mu^{d_2}(d) = & [\mu^M(x_1) \cdot \mu^M(x_2) \cdot \mu^B(x_3)] \vee \\ & \vee [\mu^M(x_1) \cdot \mu^B(x_2) \cdot \mu^B(x_3)] \vee \\ & \vee [\mu^C(x_1) \cdot \mu^D(x_2) \cdot \mu^B(x_3)] \vee \\ & \vee [\mu^C(x_1) \cdot \mu^B(x_2) \cdot \mu^D(x_3)] \vee \\ & \vee [\mu^C(x_1) \cdot \mu^B(x_2) \cdot \mu^B(x_3)] \vee \\ & \vee [\mu^D(x_1) \cdot \mu^D(x_2) \cdot \mu^B(x_3)] \vee \\ & \vee [\mu^B(x_1) \cdot \mu^D(x_2) \cdot \mu^B(x_3)] \vee \\ & \vee [\mu^B(x_1) \cdot \mu^B(x_2) \cdot \mu^D(x_3)], \end{aligned} \quad (5)$$

$$\mu^{d_1}(d) = [\mu^B(x_1) \cdot \mu^B(x_2) \cdot \mu^B(x_3)]. \quad (6)$$

Для тонкої настройки розробленої нечіткої моделі під певну систему необхідно здійснити коректування параметрів ФН нечітких термів вхідних змінних. Для цього скористаємося апаратом генетичних алгоритмів, який забезпечує одночасний різносторонній пошук в заданому діапазоні і базується на операціях схрещення, мутації і селекції.

Класичний генетичний алгоритм складається з наступної послідовності кроків [8]:

- 1) генерація початкової популяції хромосом;
- 2) оцінка пристосованості хромосом в популяції;
- 3) перевірка умови зупинки алгоритму;
- 4) селекція хромосом;
- 5) використання генетичних операторів;
- 6) створення нової популяції;
- 7) перехід до пункту 2;
- 8) якщо виконана умова зупинки, то вибір «найкращої» хромосоми.

В умовах даної задачі структура хромосоми (рис. 2) формується з параметрів ФН $c_i^{m_i}$, $b_i^{m_i}$ термів a_{m_i} для кожної з змінних x_i , що оптимізуються, та ваг правил в нечіткій базі знань w_k (для кожного рядка).

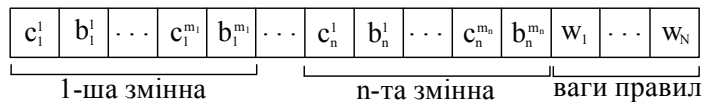


Рис. 2. Структура хромосоми

Початкова популяція, яка складалась з десяти хромосом, формувалася випадковим чином в заданому інтервалі допустимих значень $[c_i, \bar{c}_i]$, $[b_i, \bar{b}_i]$, $[w_i, \bar{w}_i]$.

Елементи хромосом задаються наступним чином [7]:

$$\begin{cases} c_i^0 = \text{Random}([c_i, \bar{c}_i]), \\ b_i^0 = \text{Random}([b_i, \bar{b}_i]), \\ w_i^0 = \text{Random}([w_i, \bar{w}_i]), \end{cases} \quad (7)$$

де $\text{Random}([c_i, \bar{c}_i])$ – означає операцію знаходження рівномірно розподіленого на інтервалі $[c_i, \bar{c}_i]$ випадкового числа; c_i – нижня границя інтервалу; \bar{c}_i – верхня границя інтервалу.

Процедура формування нової популяції була побудована на механізмі елітного відбору, який передбачає відбір кращих хромосом з об'єму розширеної популяції, яка утворилася на базі попередньої після застосування генетичних операторів схрещування та мутації.

Критерієм навчання визначалась сума квадратів відхилень значень, визначених нечіткою моделлю, та даних з навчальної вибірки, отриманих в процесі дослідження реального об'єкта.

В результаті оптимізації запропонованої математичної моделі, яка здійснювалась за допомогою програми написаної мовою Delphi, отримано нові значення параметрів ФН та ваги правил нечіткої бази знань.

Так, функції належності нечітких термів такого параметра як «кількість коливань» до та після застосування процедури оптимізації зображено на рис. 3.

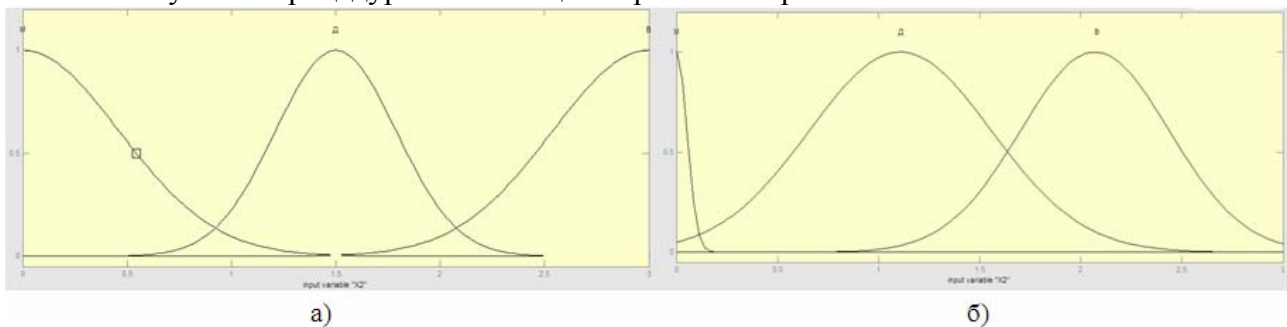


Рис. 3. ФН термів для параметра «кількість коливань» до (а) і після (б) застосування процедури оптимізації

Поведінка оптимізованої нечіткої моделі для оцінки якості перехідних процесів, які мають

місце в роботі електромеханічних систем, досліджувалась в середовищі Matlab 6.5 [9]. При цьому в одному випадку з двадцяти одного оцінка оптимізованої системи дещо відрізнялась від експертної, що свідчить про високу якість її роботи.

Висновки

1. Запропоновано нечітку математичну модель для визначення оцінки якості перехідних процесів в системах керування електроприводами.
2. Показана можливість тонкої настройки нечіткої моделі для роботи з конкретним об'єктом діагностування.
3. Технічну реалізацію запропонованої моделі можна здійснити програмним або апаратним шляхом для моніторингу технічного стану систем керування електромеханічними об'єктами.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Зайцев Г.Ф. Теория автоматического управления и регулирования. – 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Выща шк. Головное изд-во, 1989. – 431 с.
2. Кутін В.М., Луцяк В.В., Матвієнко С.В. Підвищення якості діагностичних процедур складних систем автоматичного керування // Вісник КДПУ. – 2007. – №3, частина 2. – с. 137–138.
3. Грабко В.В., Бабій С.М. Математична модель діагностичного контролю діючих систем керування електричним приводом // Вісник КДПУ. – 2006. – №4, частина 1. – с. 139–140.
4. Агамалов О.Н. Оценка технического состояния электрооборудования в реальном масштабе времени методом нейро-нечеткой идентификации // Exponenta Pro. Матиматика в приложениях – 2003. – №2. – с. 36–44.
5. Агамалов О.Н., Костерев Н.В., Лукаш Н.П., Радайда Омар. Применение нечеткой нелинейной авторегрессионной модели с внешним входом для оценки технического состояния электрооборудования // Техническая электродинамика. – 2004. – №2. – с. 49–58.
6. Анхимюк В.Л., Опейко О.Ф., Михеев Н.Н. Теория автоматического управления. – Мн.: Дизайн ПРО, 2000. – 352 с.
7. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети. – Вінниця: УНІВЕРСУМ–Вінниця, 1999. – 320 с.
8. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. – М: Горячая линия-Телеком, 2006. – 452 с.
9. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ – Петербург, 2005. – 736 с.

Грабко Володимир Віталійович – завідувач кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті;

Бабій Сергій Миколайович – аспірант кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті.

Вінницький національний технічний університет.