

Д. П. Проценко, асп.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВУЗЛА ВИЗНАЧЕННЯ ОПОРУ РУХУ СИСТЕМИ ВІЯВЛЕННЯ БУКСУВАННЯ ТРАМВАЯ В РЕЖИМІ ТЯГИ

Розглянуто один спосіб побудови математичної моделі вузла визначення опору руху для системи виявлення буксування трамвая з використанням елементів нечітких множин.

Вступ

В рейковому електротранспорті тягове зусилля передається через фрикційну взаємодію колеса та рейки. Коли сила тяги на ведучих колесах трамвая перевищує силу зчеплення коліс з рейками, виникає таке негативне явище як буксування колісних пар, яке може з'являтися під час рушання трамвая з місця або під час руху в тяговому режимі. Буксування супроводжується високими обертами тягового двигуна, що може спричинити круговий вогонь по колектору, погіршення тягово-зчіпних властивостей, підвищення зносу бандажів та рейок, додаткові витрати електроенергії. Системи виявлення буксування дозволяють усувати буксування за рахунок включення виконавчої системи, яка забезпечує зниження тягового моменту.

Постановка задачі

Відомі способи виявлення буксування колісних пар рейкового електротранспорту ґрунтуються на визначенні швидкості ковзання коліс відносно рейок та динамічних моментів колісних пар [1, 2]. Розрахунок динамічного моменту проводиться через розв'язання рівняння руху

$$F_{an} = F_{tn} \pm F_{cn}, \quad (1)$$

де F_{an} — динамічне зусилля n -ї колісної пари; F_{tn} — тягове зусилля n -ї колісної пари; F_{cn} — сила опору руху колісної пари.

Найпроблематичнішим є визначення опору руху, так як його значення залежить від багатьох факторів: технічного стану рухомого складу, температури навколишнього середовища, наявності схилів та підйомів шляху, стану рейкового полотна та інше. Силу опору визначають з емпіричних співвідношень [1], які не враховують реальних умов, або використовуючи дані вимірювання опору в режимі вибігу, коли не враховується зміна сили опору під час руху на ділянці шляху в режимі тяги. Отже, постає задача визначення сили опору руху не тільки в режимі вибігу, а й коригування його значення в тяговому режимі, власне, коли і може виникнути буксування, а також розробки відповідної математичної моделі.

Розв'язання задачі

Відомо, що режим тяги або гальмування трамвая чергується з режимами вибігу, коли трамвай рухається з вимкненими двигунами. В цьому режимі можна за відомим методом різниці швидкостей визначити повну силу опору руху, яка може приймати як позитивне так і негативне значення. Використання отриманого значення сили опору для розрахунку динамічного моменту колісної пари в подальшому режимі тяги, не враховує зміну параметрів шляху під час руху трамвая з увімкненими тяговими двигунами. Наприклад, коли трамвай рухався в режимі вибігу на схилі, а в режимі тяги перейшов на ділянку шляху, що має підйом. Тому для коректної роботи системи виявлення буксування в тяговому режимі необхідно вводити ваговий коефіцієнт для коригування значення сили опору, розрахованої в режимі вибігу. Враховуючи, що значення коригувального коефіцієнта залежить від багатьох факторів, для його швидкого знаходження доцільне використання методів нечіткої логіки. Побудуємо математичну модель нечіткого логічного висновку для визначення коригувального коефіцієнта, яка має структуру, зображену на рис. 1 [3].

В якості вхідних величин $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ виділимо параметри, за якими можна судити про

зміну опору руху: струм тягового двигуна, різниця ЕРС двигунів візка, частота обертання колісної пари, опір руху на вибігу, що передував режиму тяги, кутове прискорення обертання колісної пари; вихідною величиною є відносна зміна опору в режимі тяги.

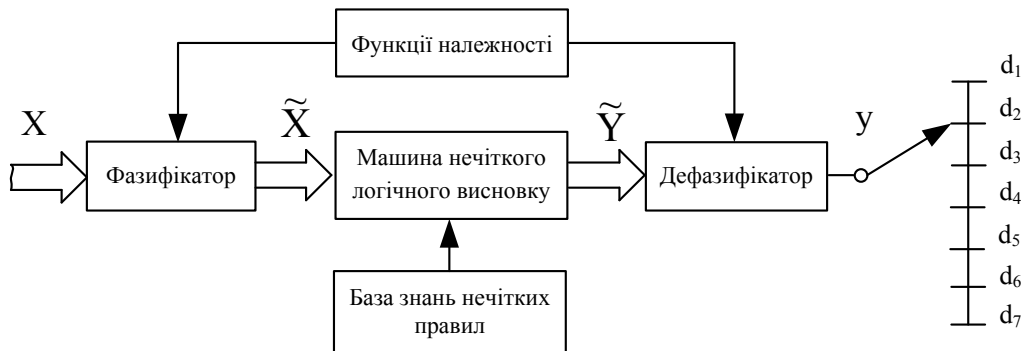


Рис. 1. Структурна схема математичної моделі нечіткого висновку для визначення коригувального коефіцієнта

Визначимо діапазон зміни вхідних і вихідних величин та проведемо їх лінгвістичну оцінку згідно термів, що занесені у табл. 1.

Таблиця 1

Характеристика вхідних та вихідних величин математичної моделі нечіткого висновку для визначення коригувального коефіцієнта

Параметри	Назва	Діапазон значень	Терми
X_1	Відносне значення струму тягового двигуна	$(0,3 \dots 1,5)I_{ном}$	Дуже малий (ДМ), малий (М), середній (С), великий (В), дуже великий (ДВ).
X_2	Різниця ЕРС ТЕД	$(0 \dots 1)\Delta U_{max}$	Низька (Н), середня (С), Висока (В)
X_3	Частота обертання колісної пари	$(0 \dots 1,2)n_{ном}$	Низька (Н), середня (С), висока (В)
X_4	Опір руху на вибігу, що передував режиму тяги	$(+12 \dots -12)\omega_0$	Позитивний високий (ПВ), позитивний середній (ПС), позитивний низький (ПН), близький до нуля (БН), негативний низький (НН), негативний середній (НС), негативний високий (НВ)
X_5	Кутове прискорення обертання колісної пари	$(0 \dots 1,5)\epsilon_{max}$	Близьке до нуля (БН), мале (М), середнє (С), велике (В)
Y	Відносна зміна опору руху в режимі тяги	$(+3 \dots -3)$	Позитивна висока (d_1), позитивна середня (d_2), позитивна низька (d_3), близька до нуля (d_4), негативна низька (d_5), негативна середня (d_6), негативна висока (d_7)

Діапазон вхідних параметрів подано у відносних одиницях, а вихідним значенням $Y = (d_1, d_2, \dots, d_m)$ є значення коригувального коефіцієнта, що приймає значення в межах $[-3; 3]$.

Наступним кроком створення нечіткої математичної моделі є фазифікація вхідних величин X згідно термів, і одержання нечіткої множини \tilde{X} , використовуючи, наприклад, гаусівську функцію належності

$$\mu(x) = \exp\left(-\frac{(x-b)^2}{2c^2}\right), \quad (2)$$

де b — координата максимуму; c — коефіцієнт концентрації.

Параметри функції належності вхідних величин наведені в табл. 2.

Параметри функції належності вхідних величин

Змінні	Терми	Параметри ФН		Змінні	Терми	Параметри ФН			
		<i>b</i>	<i>c</i>			<i>b</i>	<i>c</i>		
X_1	ДМ	0,3	0,1274	X_4	ПВ	+12	1,7		
	М	0,6			ПС	+8			
	С	0,9			ПН	+4			
	В	1,2			БН	0			
	ДВ	1,5			НН	-4			
X_2	Н	0	0,2123		НС	-8			
	С	0,5			НВ	-12			
	В	1,0			0,124				
X_3	Н	0	0,255		X_5	БН		0	0,212
	С	0,6				М		0,5	
	В	1,2		С		1			
					В	1,5			

Для функціонування математичної моделі нечіткого логічного висновку необхідно сформуванати експертну базу знань нечітких правил, яка містить лінгвістичні правила залежності $Y = f(X)$. Базу знань можна представити у вигляді [4]

$$(x_1 = \tilde{a}_{1j} \quad \Theta_j \quad x_2 = \tilde{a}_{2j} \quad \Theta_j \dots \Theta_j \quad x_n = \tilde{a}_{nj}) \Rightarrow Y = d_j, \quad j = \overline{1, m}, \quad (3)$$

де \tilde{a}_{ij} — нечіткий терм, яким оцінюється змінна x_i в j -му правилі; Θ_j — логічна операція, що пов'язує фрагменти j -го правила; m — кількість правил в базі.

База знань нечітких правил, наприклад, для виходу d_1 , подана у вигляді табл. 3.

Таблиця 3

База знань нечітких правил

Входи					Виходи
X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	Y
С	Н	С	НВ	М	d_1
С	Н	В	НВ	БН	
В	Н	Н	НС	С	
В	Н	С	НС	С	
ДВ	Н	Н	НН	С	
ДВ	Н	С	НН	М	

Для отримання результатів моделювання на основі експертної бази знань і термів ФН складемо базу нечітких логічних рівнянь, використовуючи операції \bullet (I-min) та \vee (АБО-max) [5]. Нечітке рівняння для виходу d_1 подамо у вигляді

$$\begin{aligned} \mu^{d_1}(d) = & \left[\mu^C(x_1) \mu^H(x_2) \mu^C(x_3) \mu^{НВ}(x_4) \mu^M(x_5) \right] \vee \\ & \vee \left[\mu^C(x_1) \mu^H(x_2) \mu^B(x_3) \mu^{НВ}(x_4) \mu^{БН}(x_5) \right] \vee \\ & \vee \left[\mu^B(x_1) \mu^H(x_2) \mu^H(x_3) \mu^{НС}(x_4) \mu^C(x_5) \right] \vee \\ & \vee \left[\mu^B(x_1) \mu^H(x_2) \mu^C(x_3) \mu^{НС}(x_4) \mu^C(x_5) \right] \vee \\ & \vee \left[\mu^{ДВ}(x_1) \mu^H(x_2) \mu^H(x_3) \mu^{НН}(x_4) \mu^C(x_5) \right] \vee \\ & \vee \left[\mu^{ДВ}(x_1) \mu^H(x_2) \mu^C(x_3) \mu^{НН}(x_4) \mu^M(x_5) \right]. \end{aligned} \quad (4)$$

Слід зазначити, що в рівняння не входять вагові коефіцієнти правил, так як для грубої настройки вони приймаються рівними одиниці. Маючи виміряні вхідні величини X , використовуючи дану модель, знаходимо нечітку множину \tilde{Y} , з якої після операції дефазифікації за методом центра ваги отримуємо значення коригувального коефіцієнта сили опору руху трамвая в режимі тяги. Використовуючи розроблену математичну модель, можна на базі fuzzy-контролера, реалізувати вузол визначення

сили опору трамвая в режимі тяги.

Моделювання запропонованої моделі, яка побудована з використанням компонент теорії нечітких множин, здійснено в середовищі Matlab 6.5 [3]. Результати моделювання показані на рис. 2, 3.

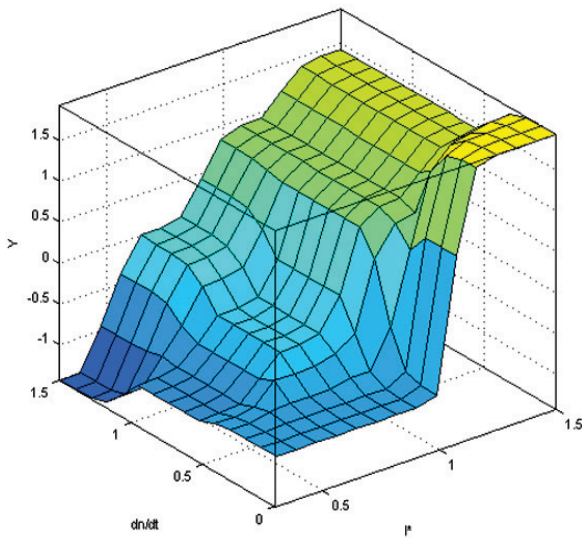


Рис. 2. Залежність відносної зміни опору руху трамвая в залежності від струму тягового двигуна та прискорення обертання колісної пари

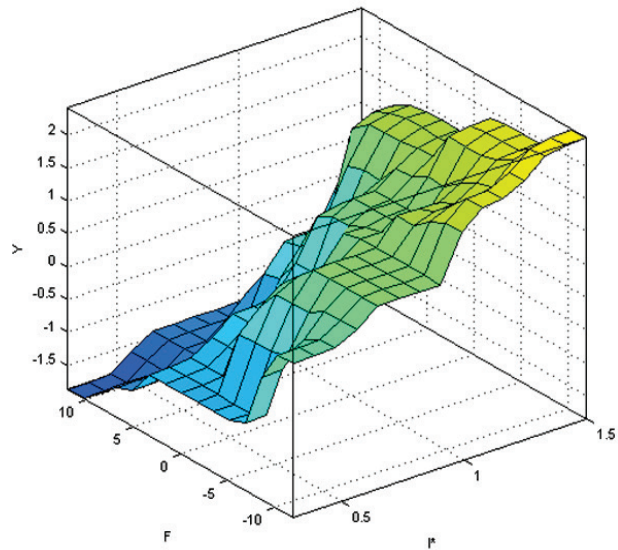


Рис. 3. Залежність відносної зміни опору руху трамвая в залежності від струму тягового двигуна та сили опору в режимі вибігу

Висновки

Отже, розроблена математична модель визначення коригувального коефіцієнта дозволяє розрахувати опір руху трамвая в режимі тяги, з урахуванням зміни параметрів шляху. Використовуючи розроблену математичну модель, можна на базі fuzzy контролера реалізувати вузол визначення сили опору трамвая в режимі тяги, який доповнює пристрій виявлення буксування з розрахунком динамічного моменту.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Пат. №8782 Україна, МПК (2006) B60L3/10, G01P15/16. Пристрій для виявлення буксування чи юза колісних пар транспортного засобу / Шапран Є. М. — № u200501713 ; заявл. 24.02.2005 ; опубл. 15.08.2005, Бюл. № 8.
2. Пат. №53269 Україна МПК B60L 3/10. Спосіб виявлення буксування чи юза колісних пар транспортного засобу / Гривнак А. Я., Зарецький М. Л., Повійчук Б. П., Повійчук О. А. — № 2002043154 ; заявлено 17.04.2002 ; опубл. 15.01.2003, Бюл. № 1. — 3 с.
3. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А. В. Леоненков — СПб. : БХВ-Петербург, 2005. — 736 с. — ISBN 5-94157-087-2.
4. Штовба С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С. Д. Штовба. — М. : Горячая линия — Телеком, 2007. — 288 с. — ISBN 5-93517-329-X.
5. Грабко В. В. Методи і засоби дослідження об'єктів, що обертаються, за тепловими полями: дис... канд. тех. наук: 05.11.04 / Грабко Валентин Володимирович. — Вінниця, 2007. — 184 с.

Рекомендована кафедрою електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті

Надійшла до редакції 17.12.09
Рекомендована до друку 14.01.10

Проценко Дмитро Петрович — аспірант кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті.

Вінницький національний технічний університет