

АВТОМАТИКА ТА ІНФОРМАЦІЙНО-ВІМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА

УДК 656(1—21):681.5+658.58

Б. І. Мокін, д. т. н., проф.;

М. П. Розводюк, к. т. н., доц.;

Ю. В. Шевчук

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, АЛГОРИТМ ТА ПРИСТРІЙ ДЛЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ПРИСКОРЮВАЧА ТРАМВАЯ КТ-4СУ З РЕЛЕЙНО-КОНТАКТОРНОЮ СИСТЕМОЮ КЕРУВАННЯ

Проаналізовано основні несправності, через які порушується нормальне функціонування прискорювача трамвая, а також існуючі системи діагностування його технічного стану. Запропоновано новий підхід до реалізації системи діагностування прискорювача, на основі якого синтезовано математичну модель його функціонування, що дало можливість розробити структуру системи діагностування прискорювача та алгоритм її функціонування.

Вступ

Прискорювач є однією з основних функціональних ланок системи електропривода трамвая КТ-4СУ з релейно-контакторною системою керування, причому в роботі [1] було показано, що він є однією з найненадійніших його систем. Існує низка причин, через які прискорювач працюватиме неправильним чином. Наприклад, через несправності кулачкового барабана або неправильну комутацію блок-контактів $Z_j (j = \overline{1, 12})$, хоча резистори прискорювача виводяться із силового кола тягових електродвигунів нормальним чином, але допоміжні кола комутуються неправильно або ж не комутуються взагалі. Або, наприклад, через залипання чи послаблення контактного пальця $i (i = \overline{1, 101})$ комутація прискорювача здійснюється не у відповідності з робочою діаграмою. Тому задача підвищення надійності прискорювача є актуальною.

Пропонується розв'язати цю задачу шляхом розміщення в кабіні водія системи діагностування, що дозволить мати об'єктивну інформацію про технічний стан прискорювача та прискорити роботу обслуговуючого персоналу з пошуку місця несправності. Попередні дослідження роботи прискорювача вже проводилися, зокрема в роботі [2] подана математична модель його функціонування, а в роботах [3—5] — системи діагностування. В цих роботах діагностичні пристрої побудовані з використанням елементів жорсткої логіки. А як відомо, така діагностична система є недостатньо надійною. Крім того, недоліком вищевказаних систем є використання для контролю кожного контактного пальця (а їх є 101) свого сенсора струму, що є нераціональним.

Тому метою роботи є розробка математичної моделі функціонування системи діагностування прискорювача трамвая, яку можна було б закласти в діагностичний пристрій, реалізований на базі мікроконтролера.

Розробка математичної моделі функціонування системи діагностування прискорювача

Як відомо, струм, що тече по якірній обмотці тягового електродвигуна, можна визначити з формули [6]

$$I = \frac{U}{R + R_{\text{пр}}}, \quad (1)$$

де U — напруга на затискачах обмотки якоря двигуна; R — опір двигуна; $R_{\text{пр}}$ — опір прискорювача.

З повністю введеним опором прискорювача $R_{\text{пр}} = R_{\text{пр,max}}$ струм двигуна буде мати мінімальну

величину I_{\min} , що відповідає першому замкненому контактному пальцю K_1 і навпаки, з замкненим сто першим контактним пальцем K_{101} , що відповідає повністю виведеному опору прискорювача $R_{\text{пр.}} = R_{\text{пр.}\min} = 0$, струм двигуна досягне свого максимального значення I_{\max} , тобто номінального значення струму I_H .

Прийmemo значення струму, що тече обмоткою якоря електричного двигуна з повністю введеним реостатом ($R_{\text{пр.}} = R_{\text{пр.}\max}$), рівним нулю. Тоді з замиканням i -го контактного пальця обмоткою якоря електричного двигуна буде текти струм I_i

$$I_i = \frac{I_H}{101} (i - 1). \quad (2)$$

Вимірявши значення струму I_i , можна, виходячи із рівняння (2), визначити номер контактного пальця, який повинен бути замкненим при такому значенні струму:

$$i = \frac{I_i}{I_H} 101 + 1. \quad (3)$$

Вищевикладені процедури дозволяють за значенням струму I_i , що споживає тяговий електричний двигун, ідентифікувати номер i контактний палець, який знаходиться в замкнутому стані K_i . Тоді розімкнений стан i -го контактний палець можна позначити як \bar{K}_i .

Кут повороту α_k ($k = \overline{1, 101}$) ізольованого ролика, під дією якого і здійснюється комутація контактних пальців, визначаємо за допомогою сенсора кутового положення ролика. При цьому за вихідний нульовий кут приймаємо положення ізольованого ролика, в якому він комутує перший контактний палець, тобто $\alpha_1 = 0$. В загальному вигляді кут α_k можна визначити як

$$\alpha_k = \frac{360^\circ}{101} (k - 1). \quad (4)$$

Вимірявши значення кутового переміщення ролика α_k , можна, виходячи із рівняння (4), визначити, який контактний палець повинен бути замкненим в даному кутовому положенні

$$k = \frac{\alpha_k}{360^\circ} 101 + 1. \quad (5)$$

Номер контактний палець, знайдений за виразом (5), відповідає дійсному положенню ізольованого ролика, при якому k -й контактний палець знаходиться в замкнутому стані $K_{\Pi k}$. Тоді розімкнутий стан k -го контактний палець, визначеного за положенням ролика, позначимо як $\bar{K}_{\Pi k}$.

Нехай $Y_{\Pi i}$ — вихідний сигнал, який відповідає правильній комутації i -го контактний палець прискорювача, тоді $\bar{Y}_{\Pi i}$ — вихідний сигнал, що відповідає його неправильній комутації.

За таких вихідних умов комутація контактних пальців буде коректною, якщо буде мати місце така система рівнянь:

$$\begin{cases} Y_{\Pi 1} = K_1 \wedge K_{\Pi 1}; \\ Y_{\Pi 2} = K_2 \wedge K_{\Pi 2}; \\ \dots \\ Y_{\Pi i} = K_i \wedge K_{\Pi i}; \\ \dots \\ Y_{\Pi 101} = K_{101} \wedge K_{\Pi 101}, \end{cases} \quad (6)$$

і навпаки, комутація контактних пальців відбувається неправильно у разі виконання системи

$$\left. \begin{array}{l}
 \bar{Y}_{\Pi 1} = \bar{K}_1 \wedge K_{\Pi 1} \vee K_1 \wedge \bar{K}_{\Pi 1} \vee \bar{K}_1 \wedge \bar{K}_{\Pi 1}; \\
 \bar{Y}_{\Pi 2} = \bar{K}_2 \wedge K_{\Pi 2} \vee K_2 \wedge \bar{K}_{\Pi 2} \vee \bar{K}_2 \wedge \bar{K}_{\Pi 2}; \\
 \dots\dots\dots \\
 \bar{Y}_{\Pi i} = \bar{K}_i \wedge K_{\Pi i} \vee K_i \wedge \bar{K}_{\Pi i} \vee \bar{K}_i \wedge \bar{K}_{\Pi i}; \\
 \dots\dots\dots \\
 \bar{Y}_{\Pi 101} = \bar{K}_{101} \wedge K_{\Pi 101} \vee K_{101} \wedge \bar{K}_{\Pi 101} \vee \bar{K}_{101} \wedge \bar{K}_{\Pi 101}.
 \end{array} \right\} \quad (7)$$

Позначимо через Y_{Z_i} вихідний сигнал, з яким відбувається правильна комутація блок-контактів Z_j у відповідному положенні α_k ізольованого ролика та певному замкнутому i -му контактному пальці, що відповідає таблиці, в якій 1 відповідає замкненому стану блок-контакта, а 0 — розімкненому. Тоді \bar{Y}_{Z_i} — вихідний сигнал, що відповідає неправильній комутації блок-контактів Z_j .

Таблична форма діаграми роботи прискорювача

Контактні пальці K_i	Блок-контакти Z_j											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
3÷5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1
6÷26	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1
27÷47	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1
48÷68	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1
69÷84	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1
85÷95	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1
96	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1
97	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1
98÷99	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
100	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1
101	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1

Таблицю можна подати у вигляді

$$\left\{ \begin{array}{l}
 Y_{Z_1} = Z_1 \wedge Z_2 \wedge Z_3 \wedge Z_4 \wedge Z_5 \wedge Z_6 \wedge \bar{Z}_7 \wedge Z_8 \wedge Z_9 \wedge \bar{Z}_{10} \wedge \bar{Z}_{11} \wedge \bar{Z}_{12}; \\
 Y_{Z_2} = Z_1 \wedge Z_2 \wedge Z_3 \wedge Z_4 \wedge Z_5 \wedge Z_6 \wedge Z_7 \wedge Z_8 \wedge Z_9 \wedge \bar{Z}_{10} \wedge \bar{Z}_{11} \wedge \bar{Z}_{12}; \\
 Y_{Z_{3-5}} = Z_1 \wedge Z_2 \wedge Z_3 \wedge Z_4 \wedge Z_5 \wedge Z_6 \wedge Z_7 \wedge Z_8 \wedge Z_9 \wedge \bar{Z}_{10} \wedge \bar{Z}_{11} \wedge Z_{12}; \\
 Y_{Z_{6-26}} = Z_1 \wedge Z_2 \wedge Z_3 \wedge Z_4 \wedge Z_5 \wedge \bar{Z}_6 \wedge Z_7 \wedge Z_8 \wedge Z_9 \wedge \bar{Z}_{10} \wedge \bar{Z}_{11} \wedge Z_{12}; \\
 Y_{Z_{27-47}} = Z_1 \wedge Z_2 \wedge Z_3 \wedge \bar{Z}_4 \wedge \bar{Z}_5 \wedge \bar{Z}_6 \wedge Z_7 \wedge Z_8 \wedge Z_9 \wedge \bar{Z}_{10} \wedge \bar{Z}_{11} \wedge Z_{12}; \\
 Y_{Z_{48-84}} = Z_1 \wedge Z_2 \wedge \bar{Z}_3 \wedge \bar{Z}_4 \wedge \bar{Z}_5 \wedge \bar{Z}_6 \wedge Z_7 \wedge Z_8 \wedge Z_9 \wedge \bar{Z}_{10} \wedge \bar{Z}_{11} \wedge Z_{12}; \\
 Y_{Z_{85-95}} = Z_1 \wedge \bar{Z}_2 \wedge \bar{Z}_3 \wedge \bar{Z}_4 \wedge \bar{Z}_5 \wedge \bar{Z}_6 \wedge Z_7 \wedge Z_8 \wedge Z_9 \wedge \bar{Z}_{10} \wedge \bar{Z}_{11} \wedge Z_{12}; \\
 Y_{Z_{96}} = Z_1 \wedge \bar{Z}_2 \wedge \bar{Z}_3 \wedge \bar{Z}_4 \wedge \bar{Z}_5 \wedge \bar{Z}_6 \wedge Z_7 \wedge Z_8 \wedge Z_9 \wedge Z_{10} \wedge \bar{Z}_{11} \wedge Z_{12}; \\
 Y_{Z_{97}} = \bar{Z}_1 \wedge \bar{Z}_2 \wedge \bar{Z}_3 \wedge \bar{Z}_4 \wedge \bar{Z}_5 \wedge \bar{Z}_6 \wedge Z_7 \wedge Z_8 \wedge Z_9 \wedge Z_{10} \wedge \bar{Z}_{11} \wedge Z_{12}; \\
 Y_{Z_{98-99}} = \bar{Z}_1 \wedge \bar{Z}_2 \wedge \bar{Z}_3 \wedge \bar{Z}_4 \wedge \bar{Z}_5 \wedge \bar{Z}_6 \wedge Z_7 \wedge Z_8 \wedge Z_9 \wedge Z_{10} \wedge Z_{11} \wedge Z_{12}; \\
 Y_{Z_{100}} = \bar{Z}_1 \wedge \bar{Z}_2 \wedge \bar{Z}_3 \wedge \bar{Z}_4 \wedge \bar{Z}_5 \wedge \bar{Z}_6 \wedge Z_7 \wedge Z_8 \wedge \bar{Z}_9 \wedge Z_{10} \wedge Z_{11} \wedge Z_{12}; \\
 Y_{Z_{101}} = \bar{Z}_1 \wedge \bar{Z}_2 \wedge \bar{Z}_3 \wedge \bar{Z}_4 \wedge \bar{Z}_5 \wedge \bar{Z}_6 \wedge Z_7 \wedge \bar{Z}_8 \wedge \bar{Z}_9 \wedge Z_{10} \wedge Z_{11} \wedge Z_{12}.
 \end{array} \right. \quad (8)$$

Позначимо через D_i вихідний сигнал, що відповідає справному стану прискорювача, тоді \bar{D}_i — вихідний сигнал, що відповідає його несправному стану. Відповідно до цього можна записати

$$\left\{ \begin{array}{l} D_1 = Y_{П1} \wedge Y_{Z1}; \\ D_2 = Y_{П2} \wedge Y_{Z2}; \\ \dots \\ D_i = Y_{Пi} \wedge Y_{Zi}; \\ \dots \\ D_{101} = Y_{П101} \wedge Y_{Z101} \end{array} \right. \quad (9)$$

i

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{D}_1 = \bar{Y}_{П1} \wedge Y_{Z1} \vee Y_{П1} \wedge \bar{Y}_{Z1} \vee \bar{Y}_{П1} \wedge \bar{Y}_{Z1}; \\ \bar{D}_2 = \bar{Y}_{П2} \wedge Y_{Z2} \vee Y_{П2} \wedge \bar{Y}_{Z2} \vee \bar{Y}_{П2} \wedge \bar{Y}_{Z2}; \\ \dots \\ \bar{D}_i = \bar{Y}_{Пi} \wedge Y_{Zi} \vee Y_{Пi} \wedge \bar{Y}_{Zi} \vee \bar{Y}_{Пi} \wedge \bar{Y}_{Zi}; \\ \dots \\ \bar{D}_{101} = \bar{Y}_{П101} \wedge Y_{Z101} \vee Y_{П101} \wedge \bar{Y}_{Z101} \vee \bar{Y}_{П101} \wedge \bar{Y}_{Z101}. \end{array} \right. \quad (10)$$

Розробка системи діагностування прискорювача

На основі запропонованих математичних моделей розроблено структуру системи діагностування прискорювача, яка показана на рис. 1.

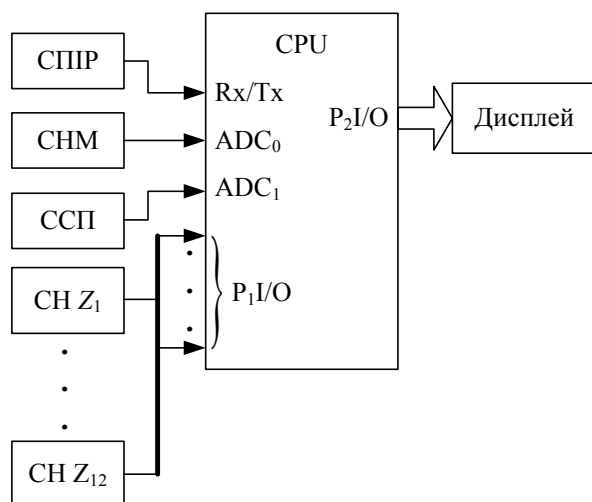


Рис. 1. Структурна схема системи діагностування прискорювача

Для визначення кута повороту α_k ізолюючого ролика, що притискає контактні пальці до контактів секцій реостата, використовується сенсор кута повороту СПП з інтерфейсом RS232 (Rx, Tx), який дозволяє легко зв'язати його з мікроконтролером і на програмному рівні отримати кут повороту.

Для перевірки стану блок-контактів Z_j використовуються сенсори напруги CHZ_1 — CHZ_{12} -типу MLX90215, побудовані на основі ефекту Холла. На виході такого сенсора встановлюється логічна одиниця, якщо через відповідну блок-контактну пару протікатиме струм, і логічний нуль в іншому випадку.

В колі якорів пари тягових двигунів встановлюється сенсор струму ССП типу ДИТ500А, а

напруга живлення двигунів контролюється за допомогою сенсора напруги СНМ типу CV3-1000. На виході сенсора струму ССП маємо напругу йому пропорційну (при максимальному значенні струму напруга на виході набуває значення 5 В). Ця напруга подається на аналоговий вхід вбудованого в мікроконтролер CPU типу ATmega8-16PI аналого-цифровий перетворювач і перетворюється у двійковий код, пропорційний струму в силовому колі I_i , а опорна напруга аналого-цифрового перетворювача задається за допомогою сенсора напруги СНМ. Таким чином враховується коливання напруги в мережі. Повідомлення про технічний стан прискорювача видається на дисплей типу HD44780.

Алгоритм роботи пристрою показаний на рис. 2.

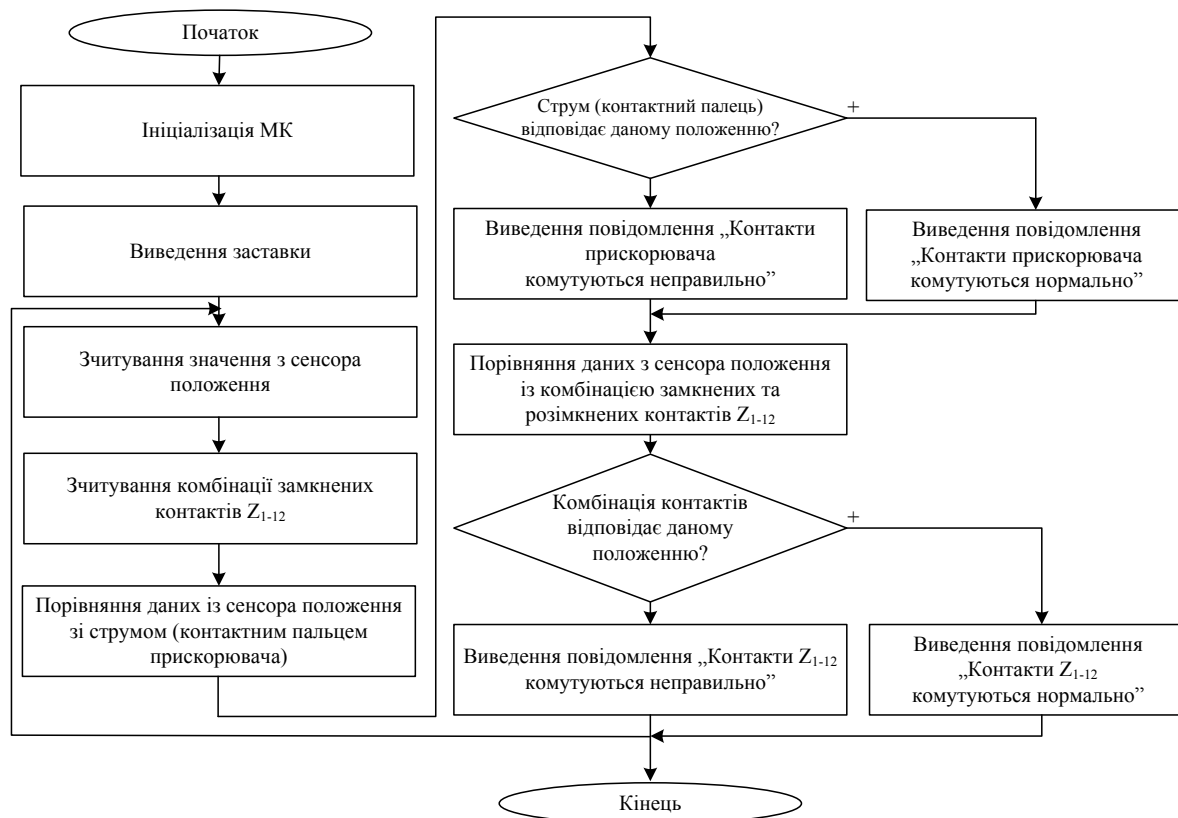


Рис. 2. Алгоритм роботи пристрою

Висновки

1. Розроблено математичну модель функціонування системи діагностування прискорювача трамвая, яка, на відміну від існуючих, дозволяє використовувати лише одне загальне значення струму тягових двигунів, а не конкретне по кожному з контактних пальців.

2. Синтезовано алгоритм та структуру пристрою для діагностування прискорювача, в основу яких покладено запропоновану математичну модель.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Мокін Б. І., Бурденюк С. І., Гурильова Н. В. Проблеми та перспективи експлуатації засобів міського електротранспорту в функції їх стану // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2000. — № 6. — С. 22—25.
2. Мокін Б. І., Розводюк М. П. Математична модель функціонування прискорювача трамвая // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2003. — № 6. — С. 72—76.
3. Мокін Б. І., Розводюк М. П. Синтез структури системи для діагностування прискорювача трамвая // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2004. — № 1. — С. 41—45.
4. Розводюк М. П. До питання технічної діагностики прискорювача трамвая // Вісник національного технічного університету «Харківський політехнічний університет». — Харків: НТУ «ХПІ». — 2005. — № 45. — С. 446—448.
5. Пат. Україна, МПК В60L3/12. Пристрій для технічної діагностики прискорювача трамвая / Б. І. Мокін, М. П. Розводюк. — № 11970 U; Заявл. 15.07.2005; Опубл. 16.01.2006, Бюл. № 1. — 5 с.
6. Грабко В. В., Розводюк М. П., Грабенко І. В. Експериментальні дослідження електричних машин. Частина I. Машини постійного струму. — Вінниця: ВНТУ, 2005. — 86 с.

Матеріали статті рекомендовані до опублікування оргкомітетом III Міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування (СПРТП-2007)» (31.05—2.06.2007 р.)

Надійшла до редакції 30.09.07
Рекомендована до друку 04.10.07

Мокін Борис Іванович — професор, **Розводюк Михайло Петрович** — доцент.

Кафедра електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті;

Шевчук Юрій Володимирович — студент Інституту електроенергетики та електромеханіки.

Вінницький національний технічний університет