

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України

Вінницький національний технічний університет

М. П. Розводюк

**ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ
ПРИСКОРЮВАЧА ТРАМВАЯ**

Монографія

Вінниця
ВНТУ
2012

УДК 656.1/.5: 681.5
ББК 30.82:39.82
Р64

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (протокол № 9 від 26.04.2012 р.).

Рецензенти:

В. В. Кухарчук, доктор технічних наук, професор

В. Х. Далека, доктор технічних наук, професор

Розводюк, М. П.

Р64 Діагностування технічного стану прискорювача трамвая :
монографія / М. П. Розводюк. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 66 с.

ISBN 978-966-641-480-2

В монографії подано розроблені математичні моделі функціонування та оцінки технічного стану прискорювача трамвая, а також структури систем діагностування, реалізовані на запропонованих математичних моделях.

Розрахована на інженерно-технічних працівників трамвайно-тролейбусних управлінь, а також може бути корисною студентам та аспірантам вузів, котрі спеціалізуються в галузі математичного моделювання та технічної діагностики міського електротранспорту.

УДК 656.1/.5: 681.5
ББК 30.82:39.82

ISBN 978-966-641-480-2

© М. П. Розводюк, 2012

ЗМІСТ

Вступ	4
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПРИСКОРЮВАЧА	6
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ, ПРИДАТНИХ ДЛЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ПРИСКОРЮВАЧА	11
2.1 Розробка математичної моделі функціонування прискорювача	11
2.2 Розробка математичної моделі для оцінки технічного стану прискорювача	12
2.2.1 Математична модель для оцінки технічного стану прискорювача з врахуванням стану контактних пальців та блок-контактів	12
2.2.2 Математична модель для оцінки технічного стану прискорювача з врахуванням кута переміщення ролика ...	13
2.2.3 Математична модель для оцінки технічного стану прискорювача на основі струму якоря	14
2.2.4 Уточнення математичної моделі для оцінки технічного стану прискорювача на основі струму якоря	17
РОЗДІЛ 3 СИНТЕЗ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ ПРИСКОРЮВАЧА	25
3.1 Синтез структури системи діагностування прискорювача з врахуванням стану контактних пальців та блок-контактів ..	25
3.2 Синтез структури системи діагностування прискорювача з врахуванням кута переміщення ролика	36
3.3 Синтез структури системи діагностування прискорювача на основі струму якоря	41
3.4 Синтез структури системи діагностування прискорювача на базі уточненої математичної моделі на основі струму якоря	43
Висновки ..	61
Література	62

ВСТУП

Прискорювач являє собою видозмінений реостатний контролер, суміщений з пускогальмівними реостатами, і призначений для плавного введення пускових або гальмівних реостатів при роботі вагона. Він є однією з важливих функціональних систем тягового електропривода трамваїв «Татра» Т-3 та КТ-4СУ.

Поряд з тим він є одним із ненадійних елементів в роботі електропривода трамвая.

Тому дослідження процесу функціонування прискорювача з перспективою розробки структур систем його діагностування є актуальною задачею.

Об'єктом дослідження в роботі є процеси зміни технічного стану прискорювача.

Предметом дослідження є математичні моделі для вдосконалення методів оцінки технічного стану прискорювача.

Метою дослідження є вдосконалення методів оцінки технічного стану прискорювача, придатних для розробки систем його діагностування.

Для досягнення цієї мети необхідно розв'язати такі задачі:

- проаналізувати особливості та режими роботи прискорювача;
- розробити математичні моделі, придатні для діагностування прискорювача;
- синтезувати структури систем діагностування прискорювача.

Методи досліджень. При виконанні поставлених задач використовувались: теорія ідентифікації, теорія автоматичного керування, математична логіка, планування експериментів.

Наукова новизна основних результатів і положень полягає в подальшому розвитку теорії побудови математичних моделей і методів синтезу пристроїв систем діагностування для підвищення якості і надійності функціонування об'єктів.

В роботі отримані такі нові наукові результати:

1. Розроблено математичні моделі функціонування прискорювача з врахуванням стану контактних пальців та блок-контактів, кута переміщення ролика, а також на основі струму якоря з подальшим її удо-

сконаленням, які, на відміну від існуючих, мають можливість на основі меншої кількості вхідних даних здійснити адекватний аналіз технічного стану прискорювача.

2. Синтезовано структури систем технічної діагностики прискорювача на основі розроблених математичних моделей, які, на відміну від існуючих, придатні для здійснення ідентифікації технічного стану прискорювача в реальному процесі експлуатації трамвая на маршруті.

Практичне значення одержаних результатів полягає в підвищенні точності оцінки технічного стану прискорювача, що при правильному плануванні ремонтних робіт унеможливорює вихід його з ладу при роботі трамвая на маршруті, зменшуючи при цьому вартість самих ремонтних робіт та вартість простоїв вагонів на маршруті.

Робота містить три розділи.

У першому розділі проаналізовано конструкцію прискорювача, особливості режимів його функціонування.

У другому розділі подано діаграму роботи прискорювача у зручній для подальшого використання формі, на основі чого розроблено математичний опис його функціонування. Розроблено математичні моделі для оцінки технічного стану прискорювача з врахуванням стану контактних пальців та блок-контактів, кута переміщення ролика, на основі струму якоря, а також здійснено уточнення математичної моделі для оцінки технічного стану прискорювача на основі струму якоря.

У третьому розділі на основі запропонованих у другому розділі математичних моделей здійснено синтез структур систем для діагностування прискорювача трамвая.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ФУНКЦІОНУВАННЯ

ПРИСКОРЮВАЧА

Однією з функціональних систем трамваїв, наприклад, «Татра» Т-3 та КТ-4СУ, є його прискорювач.

В роботі [1] автори показали, що він є однією з слабких ланок в структурі трамвая: співвідношення несправностей прискорювача по відношенню до інших функціональних систем трамваїв Вінницького трамвайного управління від загальної кількості несправностей в 1998 році становить 25,13 %, «поступаючись» лише релейно-контакторній системі – 27,33 %. Тому проблема оцінки стану прискорювача є актуальною.

Прискорювач трамвая КТ-4СУ типу ОА22 являє собою регульований пускогальмівний опір, розрахований на максимальну силу струму тягових електродвигунів [2].

Коротко розглянемо загальну будову прискорювача (рис. 1.1). Контактні пальці 1 ($K_1 - K_{101}$) з'єднані з секціями опорів 2. На валу розміщений барабан 3 з кулачками у вигляді сегментів й поводок 4 з роликком 5, що виготовлений з ізоляційного матеріалу, який послідовно прижимає контактні пальці 1 до мідного струмознімального кільця 6.

Поворот ролика 5 здійснюється за допомогою електродвигуна управління. В залежності від положення ролика 5, який визначає стан (розімкнений чи замкнений) контактних пальців 1, матимемо й відповідні стани блок-контактів $Z_1 - Z_{12}$ (12 пар), які замикаються або розмикаються кулачковим барабаном 3. Блок-контакти призначені для комутації низьковольтних кіл, які використовуються в автоматичній системі пуску і гальмування трамвая. Фіксоване положення барабана 3 з поводком 4 й роликом 5 називається позицією [3].

В основному положенні опори прискорювача повністю ввімкнені в електричну схему двигунів. Виведення пускогальмівних реостатів з кола тягових електродвигунів прискорювачем забезпечує плавний розгін й гальмування вагона [3].

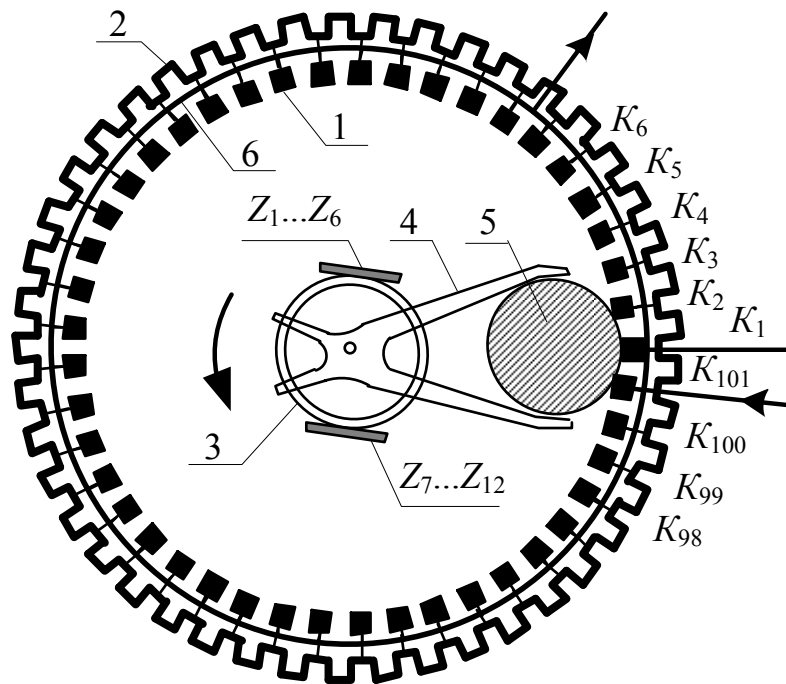


Рисунок 1.1 – Положення ролика й пальців прискорювача на першій позиції

При розгоні водій натисканням на ходову педаль може настроїти пусковий струм на перший–п’ятий ступені в залежності від величини необхідного прискорення. Перший ступінь відповідає мінімальному прискоренню, а п’ятий – максимальному. Виведення реостата залежить від заданого пускового струму. При пуску в хід і подальшому розгоні прискорювач виводить опори до нульового значення. Потім прискорювач закорочується, після чого ролик автоматично повертається в початкове положення. Наприклад, на першій позиції прискорювача (див. рис. 1.1) струм ввійде через клему контактного пальця K_{101} , пройде всі секції опорів від K_{101} до K_1 , через контактний палець K_1 , який прижаний до струмознімального кільця, далі по струмознімальному кільцю на вихідний провід.

При подальшому русі поводка з роликом прижимаються інші контактні пальці, що приводить до зменшення кількості підключених елементів реостата. Так, на п’ятій позиції прискорювача (рис. 1.2) струм ввійде через клему контактного пальця K_{101} , пройде всі секції опорів від K_{101} до K_5 , через прижаний до струмознімального кільця контактний палець K_5 , а потім по струмознімальному кільцю на вихідний провід.

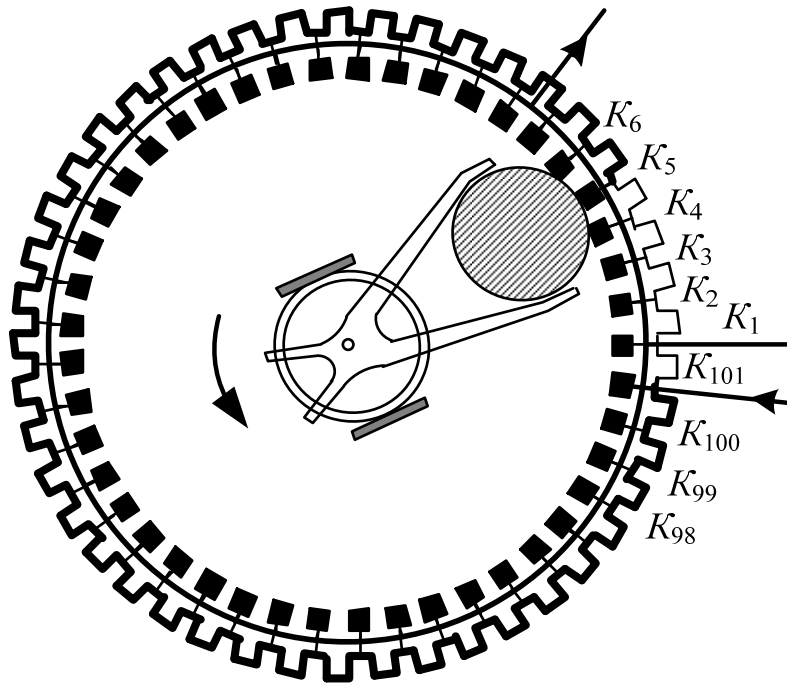


Рисунок 1.2 – Положення ролика й пальців прискорювача на п'ятій позиції

Як відомо, є три основних режими роботи трамвая: розгін, вибіг і гальмування [4, 5].

При вибігу (або при гальмуванні) реостати прискорювача виводяться, при цьому ролик рухається з позиції 1 в позицію 101 і в зворотному напрямку.

В початковий момент гальмування в коло двигунів введено всі опори прискорювача та гальмівний опір. Коли прискорювач перейде в позицію 101, то опір прискорювача виведений. На цій позиції внаслідок перемикавання контакторів гальмівний опір замінюється опором прискорювача. Оскільки ці опори мають однакове омічне значення, то струм двигунів не зміниться.

При подальшій роботі прискорювача, при переміщенні ролика з позиції 101 в позицію 1, поступово виводиться опір прискорювача до стану закорочення. При цьому вхідним проводом буде провід, який підключений до контактного пальця K_1 , далі струм пройде через секції опорів до прижатого роликом відповідного контактного пальця, прижатиї контактний палець, струмознімальне кільце і на вихідний провід [3].

При вибігу прискорювач підтримує певне значення струму в колі двигунів – «струм підготовки» (30-60 А). Він необхідний для забезпечення необхідного збудження двигунів і забезпечує підготовку апаратури для подальшої роботи в тяговому чи гальмівному режимі. При вибігу під уклоном, якщо швидкість трамвая при цьому збільшується, то поводи з роликів прискорювача змінюють напрямок обертання і в коло двигунів вводяться реостати [3].

При гальмуванні робота прискорювача аналогічна режиму вибігу: поводи з роликів переміщуються з позиції 1 в позицію 101 і повертаються в початкове положення.

В пускагальмівних реостатах прискорювача при роботі вагона виділяється велика кількість тепла. Для уникнення перегрівання прискорювач під час роботи охолоджується повітрям, яке подається від вентиляторів двигун-генератора. В холодну пору року тепле повітря, яке нагрівається прискорювачем, по коробах подається в салон для його обігріву. В теплу пору року перекривається заслінка коробів, що забезпечує направлення теплого повітря назовні, під кузов вагона [6].

Прискорювач розміщений в середній частині вагона під кузовом.

Діаграма роботи прискорювача наведена на рис. 1.3.

Основною проблемою роботи прискорювача є вихід з ладу контактних пальців 1 та блок-контактів $Z_1 - Z_{12}$, внаслідок чого вони можуть перебувати не у відповідності до діаграми рис. 1.3.

Тому задачею дослідження є створення системи для діагностування прискорювача [7]. Першим кроком при вирішенні поставленої задачі є розробка моделі функціонування прискорювача трамвая, яка могла б водночас оцінити технічний стан прискорювача на певний момент часу експлуатації.

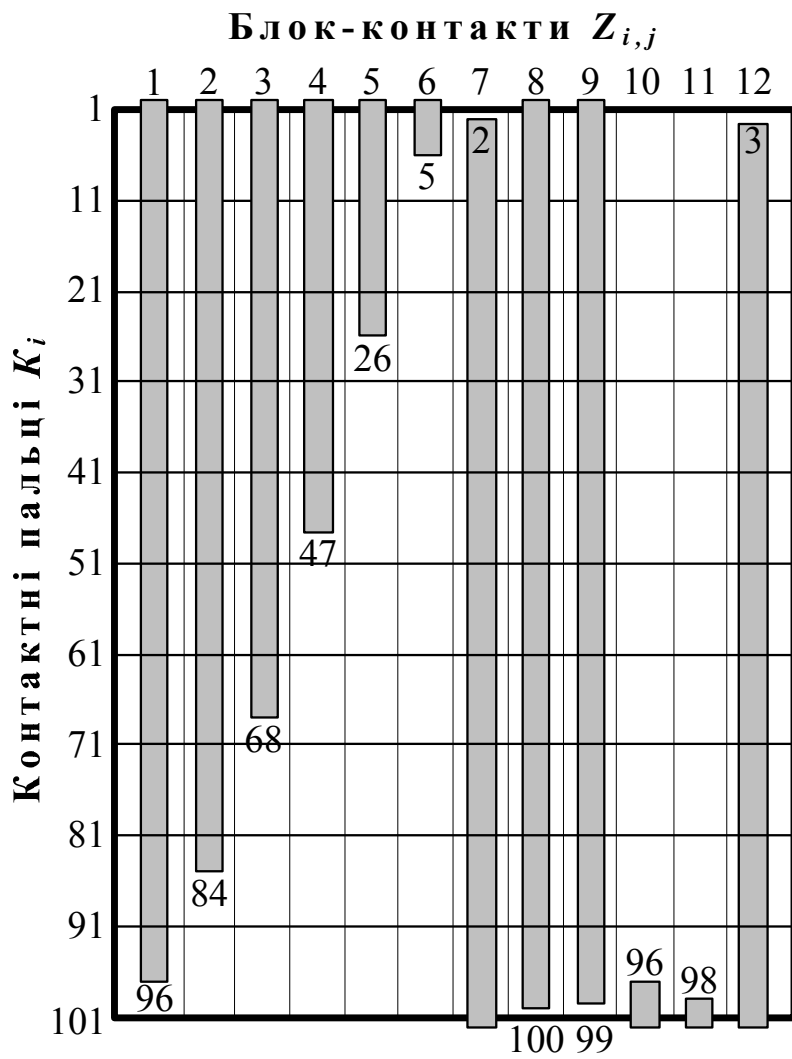


Рисунок 1.3 – Діаграма роботи прискорювача

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ, ПРИДАТНИХ ДЛЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ПРИСКОРЮВАЧА

2.1 Розробка математичної моделі функціонування прискорювача

Для зручності представимо діаграму роботи прискорювача (див. рис. 1.2) у вигляді табл. 2.1, в якій «1» відповідає замкненому стану контактів $Z_{i,j}$ ($i = \overline{1, 101}$, $j = \overline{1,12}$), а «0» – розімкненому [8].

Таблиця 2.1 – Таблична форма діаграми роботи прискорювача

		Контакти $Z_{i,j}$											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Контактні пальці K_i	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	

Введемо деякі позначення: K_i – замкнений i -ий контактний палець; $\overline{K_i}$ –розімкнений i -ий контактний палець; $Z_{i,j}$ – стан блок-контакту з номером i,j . Під станом $Z_{i,j}$ будемо розуміти такий стан блок-контакту, в якому він відповідає табл. 2.1 (наприклад, $Z_{96,1} = 1$, $Z_{96,2} = 0$ і т. д.), а відповідно позначення $\overline{Z_{i,j}}$ означає, що цей контакт знаходиться в несправному стані.

Визначити контактний палець K_i , який замикається роликом 5, можна, визначивши положення самого ролика за кутом α :

$$\alpha_i = (i - 1) \cdot \Delta\alpha;$$

$$\Delta\alpha = \frac{360}{102} = 3,529412 \text{ (град.)}. \quad (2.1)$$

Враховуючи вищевказане, можна побудувати співвідношення для опису системи функціонування прискорювача, подані в табл. 2.2, за умови, що прискорювач знаходиться в справному стані.

Таблиця 2.2 – Математичний опис функціонування прискорювача

Кут α	Стани контактних пальців K_i й блок-контактів $Z_{i,j}$
α_1	$K_1 \wedge Z_{1,1} \wedge Z_{1,2} \wedge \dots \wedge Z_{1,12} \wedge \overline{K_2} \wedge \dots \wedge \overline{K_{101}}$
α_2	$K_2 \wedge Z_{2,1} \wedge Z_{2,2} \wedge \dots \wedge Z_{2,12} \wedge \overline{K_1} \wedge \overline{K_3} \wedge \dots \wedge \overline{K_{101}}$
α_3	$K_3 \wedge Z_{3,1} \wedge Z_{3,2} \wedge \dots \wedge Z_{3,12} \wedge \overline{K_1} \wedge \overline{K_2} \wedge \overline{K_4} \wedge \dots \wedge \overline{K_{101}}$
...
α_i	$K_i \wedge Z_{i,1} \wedge Z_{i,2} \wedge \dots \wedge Z_{i,12} \wedge \overline{K_1} \wedge \overline{K_2} \wedge \dots \wedge \overline{K_{i-1}} \wedge \overline{K_{i+1}} \wedge \dots \wedge \overline{K_{101}}$
...
α_{100}	$K_{100} \wedge Z_{100,1} \wedge Z_{100,2} \wedge \dots \wedge Z_{100,12} \wedge \overline{K_1} \wedge \overline{K_2} \wedge \dots \wedge \overline{K_{99}} \wedge \overline{K_{101}}$
α_{101}	$K_{101} \wedge Z_{101,1} \wedge Z_{101,2} \wedge \dots \wedge Z_{101,12} \wedge \overline{K_1} \wedge \overline{K_2} \wedge \dots \wedge \overline{K_{100}}$

2.2 Розробка математичної моделі для оцінки технічного стану прискорювача

2.2.1 Математична модель для оцінки технічного стану прискорювача з врахуванням стану контактних пальців та блок-контактів

Для побудови математичної моделі оцінки стану прискорювача трамвая введемо додаткові позначення: $y_{i,0}$ – вихідний сигнал, який відповідає несправному контактному пальцю K_i ; $y_{i,j}$ – вихідний сигнал, який відповідає несправному блок-контакту $Z_{i,j}$; $y_{i(m)}$ – вихідний сиг-

У відповідності до напруги задання $U^{yД}$, що подається на електродвигун управління прискорювачем, його вал повертається на відповідний кут β , тобто $\beta = f(U^{yД})$ [9]. При цьому ролик повинен переміститися на відповідний кут α . Якщо прискорювач функціонує згідно із робочою діаграмою, то повинна виконуватися рівність $\alpha = \beta$. За таких умов математична модель оцінки технічного стану прискорювача [1] набуде вигляду:

$$\bar{y} = \begin{cases} K_i \wedge Z_{i,1} \wedge Z_{i,2} \wedge \dots \wedge Z_{i,12} \wedge \overline{K_1} \wedge \overline{K_2} \wedge \dots \wedge \overline{K_{i-1}} \wedge \\ \wedge \overline{K_{i+1}} \wedge \dots \wedge \overline{K_{101}} & \text{при } \alpha_i = (i-1) \cdot \Delta\alpha, \\ U_i^{yД} \leftrightarrow \beta_i \wedge \beta_i = \alpha_i; \end{cases}$$

$$\left. \begin{array}{l} y_{i,0} = \overline{K_i}, \\ y_{i,j} = \overline{Z_{i,j}}, \\ y_{i(m)} = K_{i(m)}, \end{array} \right\} \text{при } \alpha_i = (i-1) \cdot \Delta\alpha; \quad (2.3)$$

$$y_i = \begin{cases} U_i^{yД} \leftrightarrow \beta_i, \\ \beta_i \neq \alpha_i. \end{cases}$$

2.2.3 Математична модель для оцінки технічного стану прискорювача на основі струму якоря

Як відомо, струм, що протікає по якірній обмотці тягового електродвигуна, можна визначити з формули [10]

$$I = \frac{U}{R + R_{пр}}, \quad (2.4)$$

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

При повністю введеному опорі прискорювача $R_{пр} = R_{пр.маx}$ струм двигуна буде мати мінімальну величину I_{min} , що відповідає першому замкненому контактному пальцю K_1 і навпаки, при замкненому сто першому контактному пальці K_{101} , що відповідає повністю виведено-

му опорі прискорювача $R_{\text{пр.}} = R_{\text{пр.}\min} = 0$, струм двигуна досягне свого максимального значення I_{max} , що відповідає номінальному значенню струму $I_{\text{н}}$ [11].

Прийнемо значення струму, що протікає по обмотці якоря електричного двигуна при повністю введеному реостаті ($R_{\text{пр.}} = R_{\text{пр.}\max}$), рівним нулю. Тоді при замиканні i -го контактної пальця по обмотці якоря електричного двигуна протікатиме струм I_i :

$$I_i = \frac{I_{\text{н}}}{101} \cdot (i - 1). \quad (2.5)$$

Вимірюючи значення струму I_i , можна, виходячи із рівняння (2.5), визначити контактний палець, який повинен бути замкненим при такому струмі:

$$i = \frac{I_i}{I_{\text{н}}} \cdot 101 + 1. \quad (2.6)$$

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

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

$$\alpha_k = \frac{360^\circ}{101} \cdot (k - 1). \quad (2.7)$$

Вимірюючи значення кутового переміщення ролика α_k , можна, виходячи із рівняння (2.7), визначити, який контактний палець повинен бути замкненим при цьому кутовому положенні:

$$k = \frac{\alpha_k}{360^\circ} \cdot 101 + 1. \quad (2.8)$$

$$\left\{ \begin{array}{l}
Y_{Z1} = 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 \\
\quad \wedge Z_9 \wedge \bar{Z}_{10} \wedge \bar{Z}_{11} \wedge \bar{Z}_{12}; \\
Y_{Z2} = Z_1 \wedge Z_2 \wedge Z_3 \wedge Z_4 \wedge Z_5 \wedge Z_6 \wedge Z_7 \wedge Z_8 \wedge \\
\quad \wedge Z_9 \wedge \bar{Z}_{10} \wedge \bar{Z}_{11} \wedge \bar{Z}_{12}; \\
Y_{Z3-5} = Z_1 \wedge Z_2 \wedge Z_3 \wedge Z_4 \wedge Z_5 \wedge Z_6 \wedge Z_7 \wedge Z_8 \wedge \\
\quad \wedge Z_9 \wedge \bar{Z}_{10} \wedge \bar{Z}_{11} \wedge Z_{12}; \\
Y_{Z6-26} = 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 \\
\quad \wedge Z_9 \wedge \bar{Z}_{10} \wedge \bar{Z}_{11} \wedge Z_{12}; \\
Y_{Z27-47} = 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 \\
\quad \wedge Z_9 \wedge \bar{Z}_{10} \wedge \bar{Z}_{11} \wedge Z_{12}; \\
Y_{Z48-84} = 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 \\
\quad \wedge Z_9 \wedge \bar{Z}_{10} \wedge \bar{Z}_{11} \wedge Z_{12}; \\
Y_{Z85-95} = 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 \\
\quad \wedge Z_9 \wedge \bar{Z}_{10} \wedge \bar{Z}_{11} \wedge Z_{12}; \\
Y_{Z96} = 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 \\
\quad \wedge Z_9 \wedge Z_{10} \wedge \bar{Z}_{11} \wedge Z_{12}; \\
Y_{Z97} = \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 \\
\quad \wedge Z_9 \wedge Z_{10} \wedge \bar{Z}_{11} \wedge Z_{12}; \\
Y_{Z98-99} = \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 \\
\quad \wedge Z_9 \wedge Z_{10} \wedge Z_{11} \wedge Z_{12}; \\
Y_{Z100} = \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 \\
\quad \wedge \bar{Z}_9 \wedge Z_{10} \wedge Z_{11} \wedge Z_{12}; \\
Y_{Z101} = \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 \\
\quad \wedge \bar{Z}_9 \wedge Z_{10} \wedge Z_{11} \wedge Z_{12}.
\end{array} \right. \quad (2.11)$$

2.2.4 Уточнення математичної моделі для оцінки технічного стану прискорювача на основі струму якоря

Положення ролика визначається кутом його повороту α_i , що відповідає контактному пальцю K_i . Кут між двома контактними пальцями відповідно до рис. 2.1 можна визначити як

$$\Delta\alpha = \frac{360^0}{K_k}; \quad (2.12)$$

$$\Delta\alpha = \frac{360^0}{101} = 3,5644 \text{ (град).}$$

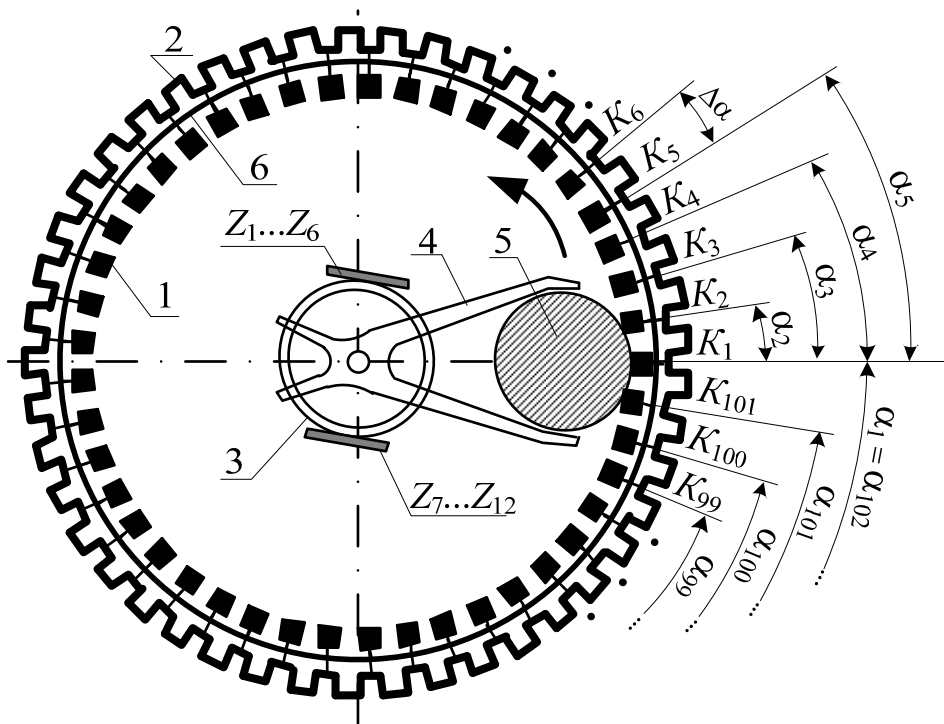


Рисунок 2.1 – Схема роботи прискорювача

За вихідну позицію приймемо стан, коли ролик 5 здійснює комутацію першого контактного пальця K_1 (див. рис. 2.1), що відповідає куту повороту ролика $\alpha_1 = 0^\circ$. За такої умови кут повороту ролика і стан контактних пальців можна представити як [13]

ЛІТЕРАТУРА

1. Мокін Б. І. Проблеми та перспективи експлуатації засобів міського електротранспорту в функції їх стану / Б. І. Мокін, С. І. Бурденюк, Н. В. Гурильова // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2000. – № 6. – С. 22–25.
2. Техническое описание трамвайного вагона типа КТ4SU. – Praha : SKD PRAHA, 1988. – 468 с.
3. Иванов М. Д. Устройство и эксплуатация трамвая / М.Д. Иванов, А. П. Алпаткин, Б. К. Иеропольский. – М. : «Высшая школа», 1975. – 291 с.
4. Корягина Е. Е. Электрооборудование трамваев и троллейбусов. Учебник для техникумов городского транспорта / Е. Е. Корягина, О. А. Коськин. – М. : Транспорт, 1982. – 296 с.
5. Ефремов И. С. Технические средства городского электрического транспорта. Учебное пособие для студентов вузов специальности «Городской электрический транспорт» / И. С. Ефремов, В. М. Кобозев, В. В. Шевченко. – М. : Высшая школа, 1985. – 448 с.
6. Пономарев А. А. Подвижной состав и сооружения городского электротранспорта. Учебник для техникумов городского транспорта / А. А. Пономарев, Б. К. Иеропольский. – М. : Транспорт, 1981. – 274 с.
7. Мокін Б. І. Математична модель функціонування прискорювача трамвая / Б. І. Мокін, М. П. Розводюк // Тези доповідей VII Міжнародної науково-технічної конференції «Контроль і управління в складних системах» (КУСС-2003). – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця”, 2003. – С. 140.
8. Мокін Б. І. Математична модель функціонування прискорювача трамвая / Б. І. Мокін, М. П. Розводюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2003. – № 6. – С. 72–76.
9. Розводюк М. П. До питання технічної діагностики прискорювача трамвая / М. П. Розводюк // Вісник національного технічного

- університету «Харківський політехнічний університет». – Харків : НТУ «ХПІ». – 2005. – № 45. – С. 446–448.
10. Грабко В. В. Експериментальні дослідження електричних машин. Частина I. Машини постійного струму: навчальний посібник / В. В. Грабко, М. П. Розводюк, І. В. Грабенко. – Вінниця : ВНТУ, 2005. – 86 с.
 11. Мокін Б. Розробка математичної моделі функціонування пристрою для діагностування прискорювача трамвая КТ-4СУ / Б. Мокін, М. Розводюк, Ю. Шевчук. – Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування (СПРТП-2007). Матеріали III міжнародної науково-технічної конференції. м. Вінниця, 31 травня – 2 червня 2007 р. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2007. – 210 с. – С. 142–143.
 12. Мокін Б. І. Математична модель, алгоритм та пристрій для діагностування прискорювача трамвая КТ-4СУ з релейно-контакторною системою керування / Б. І. Мокін, М. П. Розводюк, Ю. В. Шевчук // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2007. – № 5. – С. 7–11.
 13. Розводюк М. П. Розробка математичної моделі роботи прискорювача трамвая / М. П. Розводюк, С. О. Слободянюк // Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика. Наукове видання. – Кременчук : КНУ, 2011. – Вип. 1/2011(1). – 426 с. – С. 62–63.
 14. Вольдек А. И. Электрические машины / А. И. Вольдек. – М. : Энергия, 1978. – 832 с.
 15. Розводюк М. П. Структура системи діагностування прискорювача трамвая / М. П. Розводюк // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2011. – № (03) 79. – С. 435–437.
 16. Мокін Б. І. Синтез структури системи для діагностування прискорювача трамвая / Б. І. Мокін, М. П. Розводюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2004. – № 1. – С. 41–45.
 17. Шило В. Л. Популярные цифровые микросхемы: Справочник / В. Л. Шило. – М. : Радио и связь, 1987. – 352 с.
 18. Применение интегральных микросхем в электронной вычислительной технике: Справочник / [Р. В. Данилов, С. А. Ельцова,

- Ю. П. Иванов и др.]; Под ред. Б. Н. Файзулаева, Б. В. Тарабрина. – М. : Радио и связь, 1987. – 384 с.
19. Справочник по интегральным микросхемам / Под общ. ред. Б. В. Тарабрина. – М. : Энергия, 1977.
 20. Костинюк Л. Д. Мікропроцесорні засоби та системи: Навчальний посібник / Л. Д. Костинюк, Я. С. Паранчук. – Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2001. – 200 с.
 21. Интегральные микросхемы: Микросхемы для аналого-цифрового преобразования и средств мультимедиа. Выпуск № 2. – М. : ДОДЭКА, 1996. – 384 с.
 22. Федорков Б. Г. Микросхемы ЦАП и АЦП: функционирование, параметры, применение / Б. Г. Федорков, В. А. Телец. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 320 с.
 23. Гитис Э. И. Аналого-цифровые преобразователи : учеб. пособие для вузов / Э. И. Гитис, Е. А. Пискунов. – М. : Энергоиздат, 1981. – 360 с.
 24. Пат. 71264 А Україна, МПК 7 В60L3/12. Пристрій для автоматичного діагностування прискорювача трамвая / Мокін Б.І., Розводюк М. П.; заявник та патентоутримувач Вінницький національний технічний університет. – № 20031211552; заявл. 15.12.2003; опубл. 15.11.2004. Бюл. № 11.
 25. Розводюк Михайло Петрович. Математичні моделі для вдосконалення методів оцінки стану та відновлення основних електротехнічних систем міських трамваїв : дис. канд. техн. наук : 05.09.03 / Розводюк Михайло Петрович. – Вінниця, 2004. – 161 с. – С. 139–149.
 26. Розводюк М. П. Математичні моделі для вдосконалення методів оцінки стану та відновлення основних електротехнічних систем міських трамваїв : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.09.03 «Електротехнічні комплекси та системи» / Розводюк Михайло Петрович; Вінницький національний технічний університет. – Вінниця, 2002. – 19 с.
 27. Мокін Б. І. Математичні моделі та системи технічної діагностики основних електротехнічних систем міських трамваїв : моногра-

- фія / Б. І. Мокін, М. П. Розводюк. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 126 с.
28. Пат. 11970 Україна, МПК В60L 3/12. Пристрій для технічної діагностики прискорювача трамвая / Мокін Б. І., Розводюк М. П.; заявник та патентоутримувач Вінницький національний технічний університет. – № u200507039; заявл. 15.07.2005; опубл. 16.01.2006. Бюл. №1.
29. Розводюк М. П. Синтез математичної моделі для діагностування прискорювача трамвая [Електронний ресурс] / М. П. Розводюк // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Щоквартальний науково-виробничий журнал. – Кременчук : КрНУ, 2011. – Вип. 3/2011 (15). – 188 с. – С. 75–78. – Режим доступу: http://www.nbuv.gov.ua/portal/natural/Ees/2011_3/75.pdf, http://www.kdu.edu.ua/EES_jurnal/EES_3_2011/75.pdf
30. Пат. 64914 Україна, МПК В60L 31/12 (2006.01). Пристрій для діагностування прискорювача трамвая / Розводюк М. П., Бомбик В. С., Устяк Л. А.; заявник та патентоутримувач Вінницький національний технічний університет. – № u201104360; заявл. 11.04.2011; опубл. 25.11.2011. Бюл. № 22.

Наукове видання

Розводюк Михайло Петрович

**ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ
ПРИСКОРЮВАЧА ТРАМВАЯ**

Монографія

Редактор Н. Мазур

Оригінал-макет підготовлено М. Розводюком

Підписано до друку 05.09.2012 р.
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Ум. др. арк. 3,81
Наклад 100 прим. Зам № 2012-125

Вінницький національний технічний університет,
КІВЦ ВНТУ,
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-85-32.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті,
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі,
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-81-59
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.