

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-

© 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].

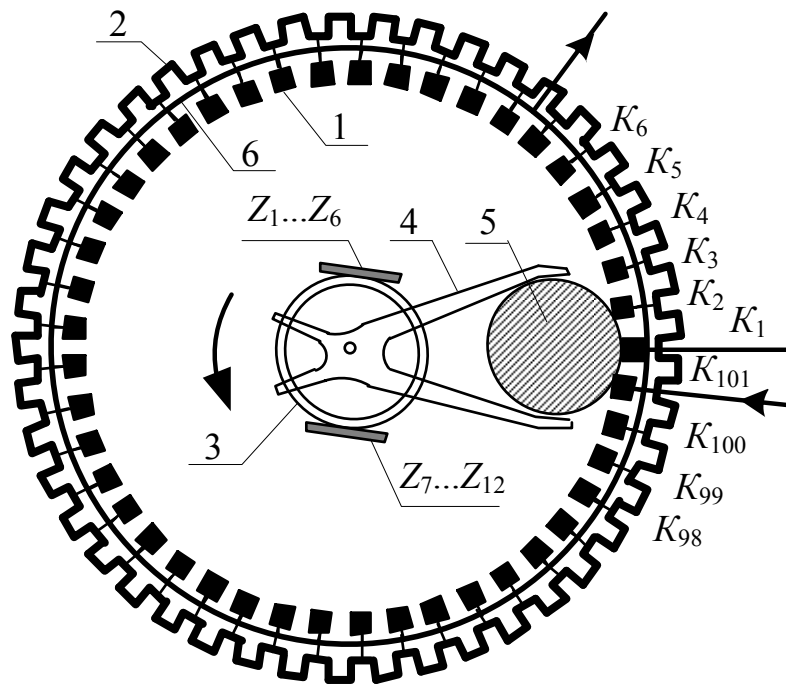


Рисунок 1.1 – Положення ролика й пальців прискорювача на першій позиції

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.

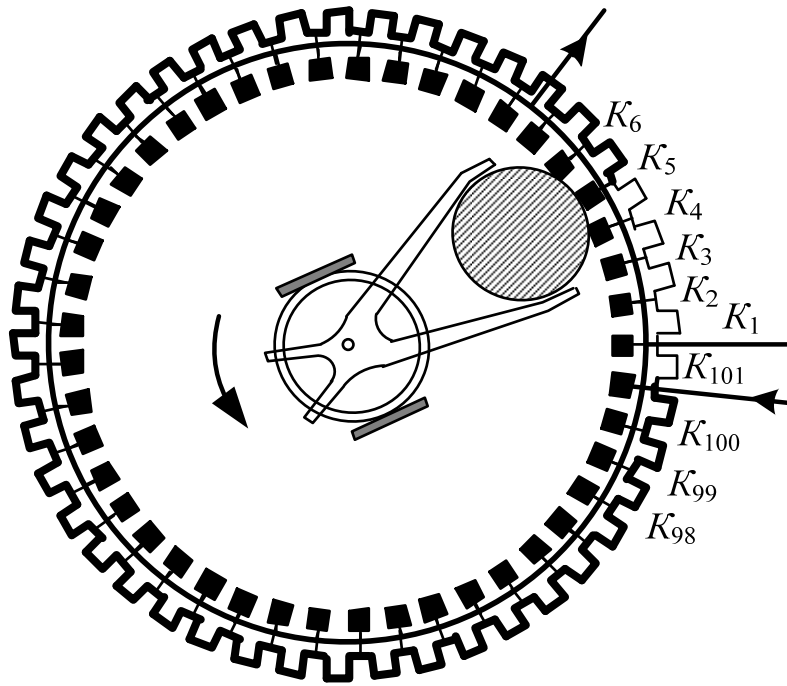


Рисунок 1.2 – Положення ролика й пальців прискорювача на п'ятій позиції

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 контактної пальця K_1 , далі струм пройде через секції опорів до прижатого роликом відповідного контактної пальця, прижатої контактної пальця, 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 поводок з роликком прискорювача змінюють напрямом обертання і в коло двигунів вводяться реостати [3].

При гальмуванні робота прискорювача аналогічна режиму вибігу: поводок з роликком 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 перебивається 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.

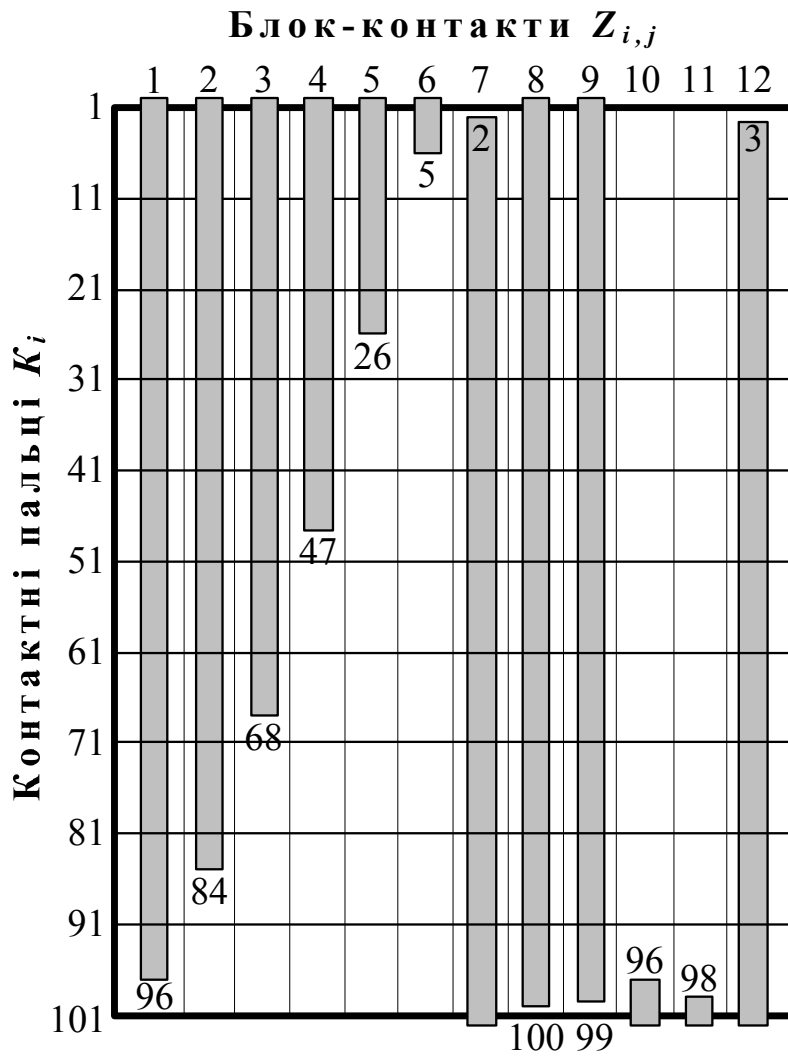


Рисунок 1.3 – Діаграма роботи прискорювача

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 $R_{пр} = R_{пр,max}$ 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

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

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

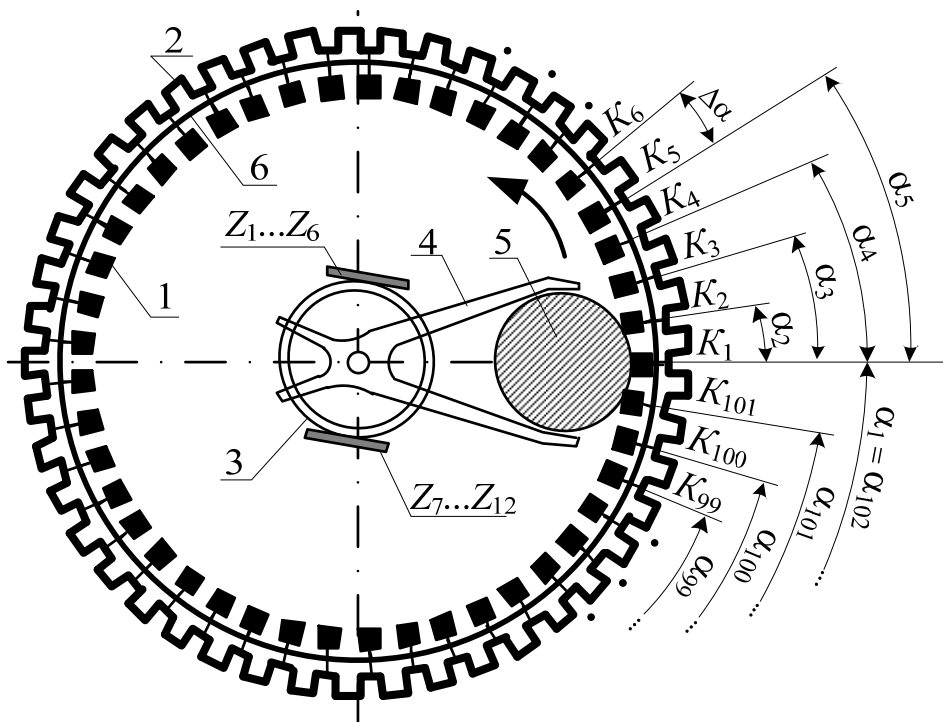


Рисунок 2.1 – Схема роботи прискорювача

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]

Кут повороту α_i ролика при замиканні контактної пальця K_i визначається електродвигуном управління прискорювача відповідно до напруги задання $U_i^{yД}$, що надходить з кола керування. При цьому вал даного електродвигуна повертається на кут β_i . Якщо прискорювач функціонує відповідно до робочої діаграми (табл. 2.1), то повинна виконуватися рівність $\alpha_i = \beta_i$.

За таких умов математична модель оцінки технічного стану прискорювача набуде вигляду

$$\begin{aligned} \bar{y} &= \begin{cases} \alpha_i = k_i \wedge z_{i,j}; \\ U_i^{yД} \Leftrightarrow \beta_i; \\ \beta_i = \alpha_i; \end{cases} \\ y_{i,0} &= \overline{K_i}; \\ y_{i,j} &= \overline{Z_{i,j}}; \\ y_{i(m)} &= K_{i(m)}; \\ y_i &= \alpha_i \neq k_i \wedge z_{i,j}; \\ y_{i(U)} &= U_i^{yД} \not\Leftrightarrow \beta_i; \\ y_{i(\beta)} &= \beta_i \neq \alpha_i, \end{aligned} \tag{2.19}$$

де $y_{i(U)}$ – вихідний сигнал, який відповідає неправильному відпрацюванню електродвигуном управління прискорювача напруги задання $U^{yД}$; $y_{i(\beta)}$ – вихідний сигнал, який характеризує невідповідність положення ролика куту повороту вала електродвигуна управління прискорювача.

Відповідно до рівнянь (2.19) на рис. 2.2 наведена структура процесу отримання інформації про технічний стан прискорювача.

Вище передбачалося, що для ідентифікації станів (замкнений/розімкнений) блок-контактів можна використати дванадцять сенсорів потенціалів, а для ідентифікації станів контактних пальців – сто один сенсор потенціалів. Однак використання такої великої кількості сенсорів для контактних пальців приводить до невисокої надійності системи діагностування та збільшує її вартість.

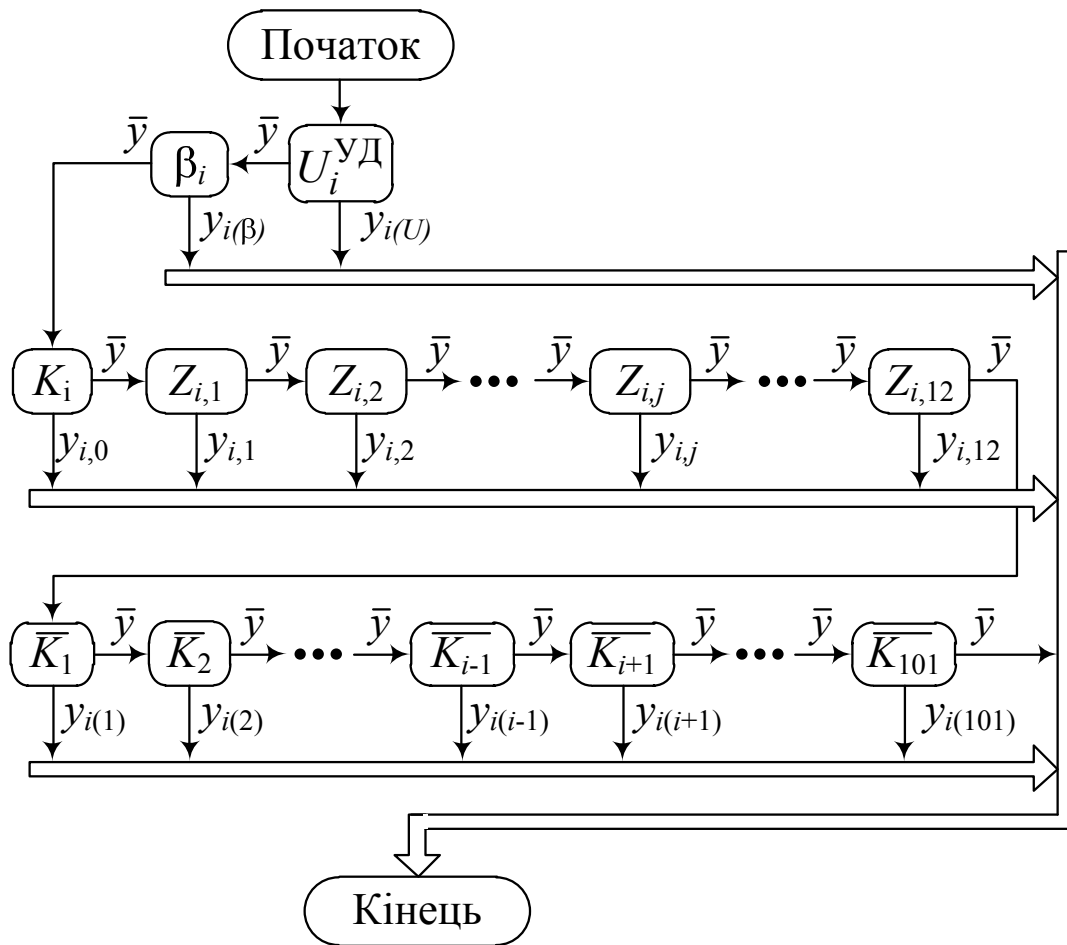


Рисунок 2.2 – Структура процесу отримання інформації про технічний стан прискорювача

Одним із способів усунення вище наведеного недоліку є використання одного сенсора струму. Обґрунтування цьому таке.

При напрузі живлення U_d серієсного двигуна по його обмотках протікає струм [10, 14]

$$I_d = \frac{U_d}{R_d + R_{пр}}, \quad (2.20)$$

де R_d – сумарний опір обмоток двигуна з врахуванням перехідного опору щітково-колекторного вузла; $R_{пр}$ – опір прискорювача.

На час пуску двигуна опір прискорювача повністю введений (ролик знаходиться на першому контактному пальці K_1). За таких умов $R_{пр} = R_{пр,max}$, а пусковий струм двигуна $I_d = I_{д,п}$ буде максимальним ($I_d = I_{д,max}$). На кінцевій стадій вибігу опір прискорювача виводиться,

РОЗДІЛ 3

СИНТЕЗ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ ПРИСКОРЮВАЧА

3.1 Синтез структури системи діагностування прискорювача з врахуванням стану контактних пальців та блок-контактів

Згідно моделі (2.2) можна побудувати структурну схему функціонування системи діагностування прискорювача трамвая (рис. 3.1).

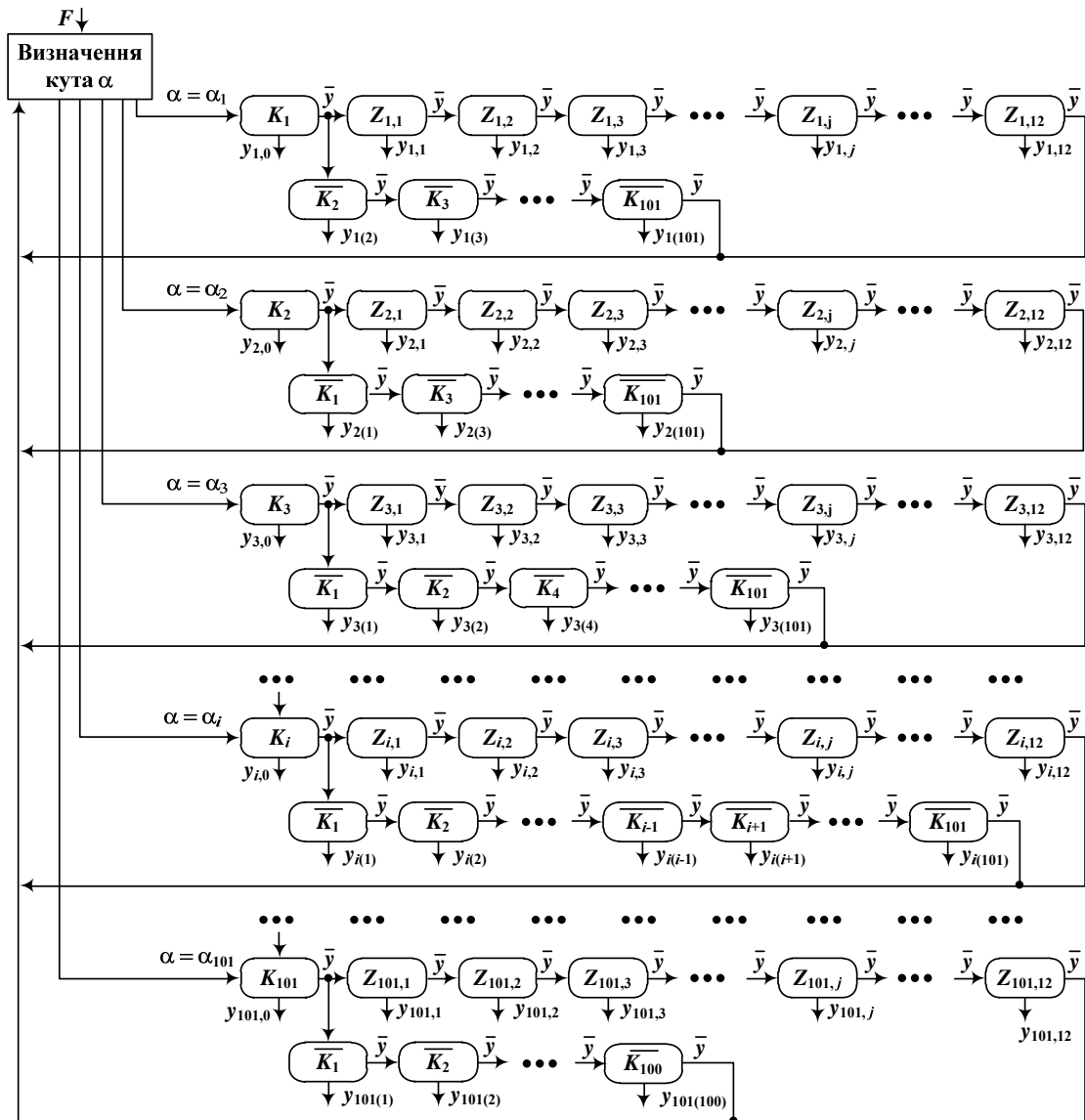


Рисунок 3.1 – Структурна схема функціонування системи діагностування прискорювача з врахуванням стану контактних пальців та блок-контактів

Отримана структурна схема функціонування системи діагностування прискорювача трамвая визначає послідовність перевірки контактних пальців K_i та блок-контактів $Z_{i,j}$.

На рис. 3.1 F – вхідний сигнал, який характеризує початок діагностування. Стан, в якому може перебувати система позначимо, як S , а узагальнюючу вхідну змінну – X . Символ «*» над прийнятими позначеннями означає, що цей параметр ще не ідентифіковано системою.

Для виконання процесу діагностування прискорювача системі необхідно виконати такі операції [16]:

- 1) визначити кут α_i ;
- 2) перевірити контактний палець K_i (замкнений/розімкнений);
- 3) перевірити блок-контакти $Z_{i,j}$ на відповідність робочій діаграмі;
- 4) перевірити стани (замкнений/розімкнений) інших контактних пальців K_m .

Стани, в яких може перебувати система при діагностуванні прискорювача трамвая, можуть бути представлені у вигляді графа, наведеного на рис. 3.2.

Аналітично процес функціонування системи діагностування прискорювача трамвая, представлений у вигляді графа, наведеного на рис. 3.2, може бути описаний такою системою логічних рівнянь:

$$X_{0,0} = K_i Z_{i,j} \alpha \bar{F};$$

$$X_{0,1} = K_i Z_{i,j} \alpha F;$$

$$X_{1,0} = K_i Z_{i,j} \alpha_1;$$

$$X_{1,1} = K_1 Z_{i,j} K_2 \dots K_{101} \alpha_1;$$

$$X_{1,2} = \bar{K}_1 Z_{i,j} K_2 \dots K_{101} \alpha_1;$$

$$X_{1,3} = K_1 Z_{1,1} Z_{1,2} \dots Z_{1,12} K_2 \dots K_{101} \alpha_1;$$

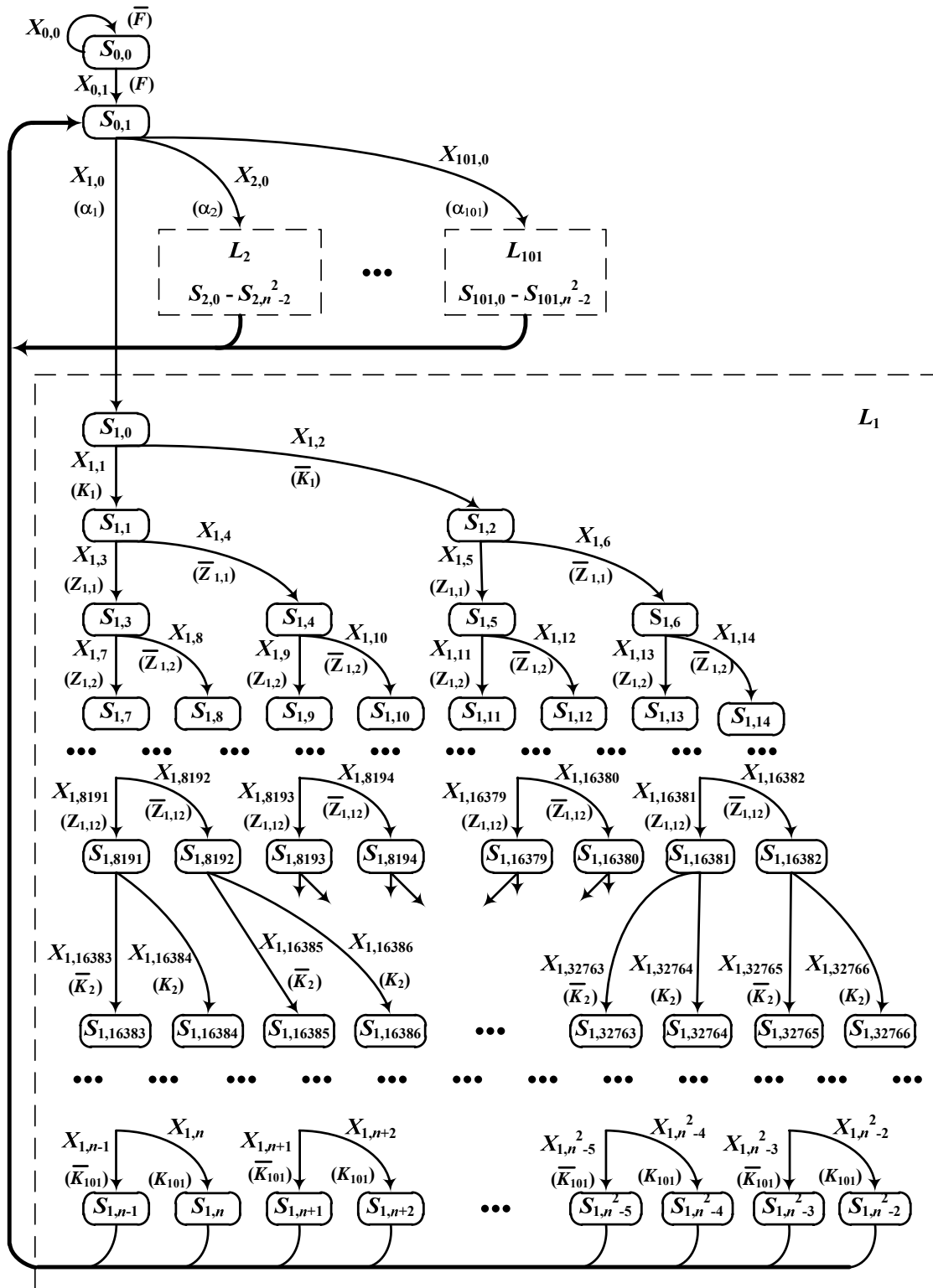


Рисунок 3.2 – Граф функціонування системи діагностування прискорювача з врахуванням стану контактних пальців та блок-контактів

$$X_{1,4} = K_1 \bar{Z}_{1,1} Z_{1,2} \dots Z_{1,12} K_2 \dots K_{101} \alpha_1;$$

$$\begin{aligned}
X_{1,5} &= \overline{K}_1 \overline{Z}_{1,1} \overset{*}{Z}_{1,2} \dots \overset{*}{Z}_{1,12} \overset{*}{K}_2 \dots \overset{*}{K}_{101} \alpha_1; \\
X_{1,6} &= \overline{K}_1 \overline{Z}_{1,1} \overset{*}{Z}_{1,2} \dots \overset{*}{Z}_{1,12} \overset{*}{K}_2 \dots \overset{*}{K}_{101} \alpha_1; \\
X_{1,7} &= K_1 \overset{*}{Z}_{1,1} \overset{*}{Z}_{1,2} \overset{*}{Z}_{1,3} \dots \overset{*}{Z}_{1,12} \overset{*}{K}_2 \dots \overset{*}{K}_{101} \alpha_1; \\
X_{1,8} &= K_1 \overset{*}{Z}_{1,1} \overline{Z}_{1,2} \overset{*}{Z}_{1,3} \dots \overset{*}{Z}_{1,12} \overset{*}{K}_2 \dots \overset{*}{K}_{101} \alpha_1; \\
X_{1,9} &= K_1 \overline{Z}_{1,1} \overset{*}{Z}_{1,2} \overset{*}{Z}_{1,3} \dots \overset{*}{Z}_{1,12} \overset{*}{K}_2 \dots \overset{*}{K}_{101} \alpha_1; \\
X_{1,10} &= K_1 \overline{Z}_{1,1} \overline{Z}_{1,2} \overset{*}{Z}_{1,3} \dots \overset{*}{Z}_{1,12} \overset{*}{K}_2 \dots \overset{*}{K}_{101} \alpha_1; \\
X_{1,11} &= \overline{K}_1 \overset{*}{Z}_{1,1} \overset{*}{Z}_{1,2} \overset{*}{Z}_{1,3} \dots \overset{*}{Z}_{1,12} \overset{*}{K}_2 \dots \overset{*}{K}_{101} \alpha_1; \\
X_{1,12} &= \overline{K}_1 \overset{*}{Z}_{1,1} \overline{Z}_{1,2} \overset{*}{Z}_{1,3} \dots \overset{*}{Z}_{1,12} \overset{*}{K}_2 \dots \overset{*}{K}_{101} \alpha_1; \\
X_{1,13} &= \overline{K}_1 \overline{Z}_{1,1} \overset{*}{Z}_{1,2} \overset{*}{Z}_{1,3} \dots \overset{*}{Z}_{1,12} \overset{*}{K}_2 \dots \overset{*}{K}_{101} \alpha_1; \\
X_{1,14} &= \overline{K}_1 \overline{Z}_{1,1} \overline{Z}_{1,2} \overset{*}{Z}_{1,3} \dots \overset{*}{Z}_{1,12} \overset{*}{K}_2 \dots \overset{*}{K}_{101} \alpha_1; \\
&\dots\dots\dots \\
X_{1,8191} &= K_1 \overset{*}{Z}_{1,1} \dots \overset{*}{Z}_{1,12} \overset{*}{K}_2 \dots \overset{*}{K}_{101} \alpha_1; \\
X_{1,8192} &= K_1 \overset{*}{Z}_{1,1} \dots \overset{*}{Z}_{1,11} \overline{Z}_{1,12} \overset{*}{K}_2 \dots \overset{*}{K}_{101} \alpha_1; \\
X_{1,8193} &= K_1 \overset{*}{Z}_{1,1} \dots \overset{*}{Z}_{1,10} \overline{Z}_{1,11} \overset{*}{Z}_{1,12} \overset{*}{K}_2 \dots \overset{*}{K}_{101} \alpha_1; \\
X_{1,8194} &= K_1 \overset{*}{Z}_{1,1} \dots \overset{*}{Z}_{1,10} \overline{Z}_{1,11} \overline{Z}_{1,12} \overset{*}{K}_2 \dots \overset{*}{K}_{101} \alpha_1; \\
&\dots\dots\dots \\
X_{1,16379} &= \overline{K}_1 \overline{Z}_{1,1} \dots \overline{Z}_{1,10} \overset{*}{Z}_{1,11} \overset{*}{Z}_{1,12} \overset{*}{K}_2 \dots \overset{*}{K}_{101} \alpha_1;
\end{aligned} \tag{3.1}$$

$$X_{1,16380} = \bar{K}_1 \bar{Z}_{1,1} \dots \bar{Z}_{1,10} Z_{1,11} \bar{Z}_{1,12} \overset{*}{K}_2 \dots \overset{*}{K}_{101} \alpha_1;$$

$$X_{1,16381} = \bar{K}_1 \bar{Z}_{1,1} \dots \bar{Z}_{1,11} Z_{1,12} \overset{*}{K}_2 \dots \overset{*}{K}_{101} \alpha_1;$$

$$X_{1,16382} = \bar{K}_1 \bar{Z}_{1,1} \dots \bar{Z}_{1,12} \overset{*}{K}_2 \dots \overset{*}{K}_{101} \alpha_1;$$

$$X_{1,16383} = K_1 Z_{1,1} \dots Z_{1,12} \bar{K}_2 \overset{*}{K}_3 \dots \overset{*}{K}_{101} \alpha_1;$$

$$X_{1,16384} = K_1 Z_{1,1} \dots Z_{1,12} K_2 \overset{*}{K}_3 \dots \overset{*}{K}_{101} \alpha_1;$$

$$X_{1,16385} = K_1 Z_{1,1} \dots Z_{1,11} \bar{Z}_{1,12} \bar{K}_2 \overset{*}{K}_3 \dots \overset{*}{K}_{101} \alpha_1;$$

$$X_{1,16386} = K_1 Z_{1,1} \dots Z_{1,11} \bar{Z}_{1,12} K_2 \overset{*}{K}_3 \dots \overset{*}{K}_{101} \alpha_1;$$

.....

$$X_{1,32763} = \bar{K}_1 \bar{Z}_{1,1} \dots \bar{Z}_{1,11} Z_{1,12} \bar{K}_2 \overset{*}{K}_3 \dots \overset{*}{K}_{101} \alpha_1;$$

$$X_{1,32764} = \bar{K}_1 \bar{Z}_{1,1} \dots \bar{Z}_{1,11} Z_{1,12} K_2 \overset{*}{K}_3 \dots \overset{*}{K}_{101} \alpha_1;$$

$$X_{1,32765} = \bar{K}_1 \bar{Z}_{1,1} \dots \bar{Z}_{1,12} \bar{K}_2 \overset{*}{K}_3 \dots \overset{*}{K}_{101} \alpha_1;$$

$$X_{1,32766} = \bar{K}_1 \bar{Z}_{1,1} \dots \bar{Z}_{1,12} K_2 \overset{*}{K}_3 \dots \overset{*}{K}_{101} \alpha_1;$$

.....

$$X_{1,n-1} = K_1 Z_{1,1} \dots Z_{1,12} \bar{K}_2 \dots \bar{K}_{101} \alpha_1;$$

$$X_{1,n} = K_1 Z_{1,1} \dots Z_{1,12} \bar{K}_2 \dots \bar{K}_{100} K_{101} \alpha_1;$$

$$X_{1,n+1} = K_1 Z_{1,1} \dots Z_{1,12} \bar{K}_2 \dots \bar{K}_{99} K_{100} \bar{K}_{101} \alpha_1;$$

$$X_{1,n+2} = K_1 Z_{1,1} \dots Z_{1,12} \bar{K}_2 \dots \bar{K}_{99} K_{100} K_{101} \alpha_1;$$

.....

$$X_{1,n^2-5} = \bar{K}_1 \bar{Z}_{1,1} \dots \bar{Z}_{1,12} K_2 \dots K_{99} \bar{K}_{100} \bar{K}_{101} \alpha_1;$$

$$X_{1,n^2-4} = \bar{K}_1 \bar{Z}_{1,1} \dots \bar{Z}_{1,12} K_2 \dots K_{99} \bar{K}_{100} K_{101} \alpha_1;$$

$$X_{1,n^2-3} = \bar{K}_1 \bar{Z}_{1,1} \dots \bar{Z}_{1,12} K_2 \dots K_{100} \bar{K}_{101} \alpha_1;$$

$$X_{1,n^2-2} = \bar{K}_1 \bar{Z}_{1,1} \dots \bar{Z}_{1,12} K_2 \dots K_{101} \alpha_1;$$

.....

$$X_{101,n^2-5} = \bar{K}_{101} \bar{Z}_{101,1} \dots \bar{Z}_{101,12} K_1 \dots K_{98} \bar{K}_{99} \bar{K}_{100} \alpha_{101};$$

$$X_{101,n^2-4} = \bar{K}_{101} \bar{Z}_{101,1} \dots \bar{Z}_{101,12} K_1 \dots K_{98} \bar{K}_{99} K_{100} \alpha_{101};$$

$$X_{101,n^2-3} = \bar{K}_{101} \bar{Z}_{101,1} \dots \bar{Z}_{101,12} K_1 \dots K_{99} \bar{K}_{100} \alpha_{101};$$

$$X_{101,n^2-2} = \bar{K}_{101} \bar{Z}_{101,1} \dots \bar{Z}_{101,12} K_1 \dots K_{100} \alpha_{101}$$

i

$$S_{0,0} = \overset{*}{y}_{i,0} \overset{*}{y}_{i,j} \overset{*}{y}_{i(m)};$$

$$S_{0,1} = \overset{*}{y}_{i,0} \overset{*}{y}_{i,j} \overset{*}{y}_{i(m)};$$

$$S_{1,0} = \overset{*}{y}_{i,0} \overset{*}{y}_{i,j} \overset{*}{y}_{i(m)};$$

$$S_{1,1} = \bar{y} \overset{*}{y}_{i,j} \overset{*}{y}_{1(2)} \dots \overset{*}{y}_{1(101)};$$

$$S_{1,2} = y_{1,0} \overset{*}{y}_{i,j} \overset{*}{y}_{1(2)} \dots \overset{*}{y}_{1(101)};$$

$$S_{1,3} = \bar{y} \overset{*}{y}_{1,2} \dots \overset{*}{y}_{1,12} \overset{*}{y}_{1(2)} \dots \overset{*}{y}_{1(101)};$$

$$\begin{aligned}
S_{1,4} &= \overset{*}{y_{1,1}} \overset{*}{y_{1,2}} \cdots \overset{*}{y_{1,12}} \overset{*}{y_{1(2)}} \cdots \overset{*}{y_{1(101)}}; \\
S_{1,5} &= \overset{*}{y_{1,0}} \overset{*}{y_{1,2}} \cdots \overset{*}{y_{1,12}} \overset{*}{y_{1(2)}} \cdots \overset{*}{y_{1(101)}}; \\
S_{1,6} &= \overset{*}{y_{1,0}} \overset{*}{y_{1,1}} \overset{*}{y_{1,2}} \cdots \overset{*}{y_{1,12}} \overset{*}{y_{1(2)}} \cdots \overset{*}{y_{1(101)}}; \\
S_{1,7} &= \overline{\overset{*}{y}} \overset{*}{y_{1,3}} \cdots \overset{*}{y_{1,12}} \overset{*}{y_{1(2)}} \cdots \overset{*}{y_{1(101)}}; \\
S_{1,8} &= \overset{*}{y_{1,2}} \overset{*}{y_{1,3}} \cdots \overset{*}{y_{1,12}} \overset{*}{y_{1(2)}} \cdots \overset{*}{y_{1(101)}}; \\
S_{1,9} &= \overset{*}{y_{1,1}} \overset{*}{y_{1,3}} \cdots \overset{*}{y_{1,12}} \overset{*}{y_{1(2)}} \cdots \overset{*}{y_{1(101)}}; \\
S_{1,10} &= \overset{*}{y_{1,1}} \overset{*}{y_{1,2}} \overset{*}{y_{1,3}} \cdots \overset{*}{y_{1,12}} \overset{*}{y_{1(2)}} \cdots \overset{*}{y_{1(101)}}; \\
S_{1,11} &= \overset{*}{y_{1,0}} \overset{*}{y_{1,3}} \cdots \overset{*}{y_{1,12}} \overset{*}{y_{1(2)}} \cdots \overset{*}{y_{1(101)}}; \\
S_{1,12} &= \overset{*}{y_{1,0}} \overset{*}{y_{1,2}} \overset{*}{y_{1,3}} \cdots \overset{*}{y_{1,12}} \overset{*}{y_{1(2)}} \cdots \overset{*}{y_{1(101)}}; \\
S_{1,13} &= \overset{*}{y_{1,0}} \overset{*}{y_{1,1}} \overset{*}{y_{1,3}} \cdots \overset{*}{y_{1,12}} \overset{*}{y_{1(2)}} \cdots \overset{*}{y_{1(101)}}; \\
S_{1,14} &= \overset{*}{y_{1,0}} \overset{*}{y_{1,1}} \overset{*}{y_{1,2}} \overset{*}{y_{1,3}} \cdots \overset{*}{y_{1,12}} \overset{*}{y_{1(2)}} \cdots \overset{*}{y_{1(101)}}; \\
&\dots\dots\dots \\
S_{1,8191} &= \overline{\overset{*}{y}} \overset{*}{y_{1(2)}} \cdots \overset{*}{y_{1(101)}}; \\
S_{1,8192} &= \overset{*}{y_{1,12}} \overset{*}{y_{1(2)}} \cdots \overset{*}{y_{1(101)}}; \\
S_{1,8193} &= \overset{*}{y_{1,11}} \overset{*}{y_{1(2)}} \cdots \overset{*}{y_{1(101)}}; \\
S_{1,8194} &= \overset{*}{y_{1,11}} \overset{*}{y_{1,12}} \overset{*}{y_{1(2)}} \cdots \overset{*}{y_{1(101)}}; \\
&\dots\dots\dots
\end{aligned}$$

$$S_{1,16379} = y_{1,0} y_{1,1} \cdots y_{1,10} \overset{*}{y_{1(2)}} \cdots \overset{*}{y_{1(101)}}; \quad (3.2)$$

$$S_{1,16380} = y_{1,0} y_{1,1} \cdots y_{1,10} \overset{*}{y_{1,12}} \overset{*}{y_{1(2)}} \cdots y_{1(101)};$$

$$S_{1,16381} = y_{1,0} y_{1,1} \cdots y_{1,11} \overset{*}{y_{1(2)}} \cdots \overset{*}{y_{1(101)}};$$

$$S_{1,16382} = y_{1,0} y_{1,1} \cdots y_{1,12} \overset{*}{y_{1(2)}} \cdots \overset{*}{y_{1(101)}};$$

$$S_{1,16383} = \overline{y} \overset{*}{y_{1(3)}} \cdots \overset{*}{y_{1(101)}};$$

$$S_{1,16384} = \overset{*}{y_{1(2)}} \overset{*}{y_{1(3)}} \cdots y_{1(101)};$$

$$S_{1,16385} = \overset{*}{y_{1,12}} \overset{*}{y_{1(3)}} \cdots y_{1(101)};$$

$$S_{1,16386} = \overset{*}{y_{1,12}} \overset{*}{y_{1(2)}} \overset{*}{y_{1(3)}} \cdots y_{1(101)};$$

.....

$$S_{1,32763} = y_{1,0} y_{1,1} \cdots y_{1,11} \overset{*}{y_{1(3)}} \cdots \overset{*}{y_{1(101)}};$$

$$S_{1,32764} = y_{1,0} y_{1,1} \cdots y_{1,11} \overset{*}{y_{1,12}} \overset{*}{y_{1(3)}} \cdots \overset{*}{y_{1(101)}};$$

$$S_{1,32765} = y_{1,0} y_{1,1} \cdots y_{1,12} \overset{*}{y_{1(3)}} \cdots \overset{*}{y_{1(101)}};$$

$$S_{1,32766} = y_{1,0} y_{1,1} \cdots y_{1,12} \overset{*}{y_{1,12}} \overset{*}{y_{1(2)}} \overset{*}{y_{1(3)}} \cdots \overset{*}{y_{1(101)}};$$

.....

$$S_{1,n-1} = \overline{y};$$

$$S_{1,n} = y_{1(101)};$$

$$S_{1,n+1} = y_{1(100)};$$

$$S_{1,n+2} = y_{1(100)} y_{1(101)};$$

$$\begin{aligned}
& \dots\dots\dots \\
S_{1,n^2-5} &= y_{1(0)}y_{1,1} \dots y_{1,12}y_{1(2)} \dots y_{1(99)}; \\
S_{1,n^2-4} &= y_{1(0)}y_{1,1} \dots y_{1,12}y_{1(2)} \dots y_{1(99)}y_{1(101)}; \\
S_{1,n^2-3} &= y_{1(0)}y_{1,1} \dots y_{1,12}y_{1(2)} \dots y_{1(100)}; \\
S_{1,n^2-2} &= y_{1(0)}y_{1,1} \dots y_{1,12}y_{1(2)} \dots y_{1(101)}; \\
& \dots\dots\dots \\
S_{101,n^2-5} &= y_{101(0)}y_{101,1} \dots y_{101,12}y_{101(1)} \dots y_{101(98)}; \\
S_{101,n^2-4} &= y_{101(0)}y_{101,1} \dots y_{101,12}y_{101(1)} \dots y_{101(98)}y_{101(100)}; \\
S_{101,n^2-3} &= y_{101(0)}y_{101,1} \dots y_{101,12}y_{101(1)} \dots y_{101(99)}; \\
S_{101,n^2-2} &= y_{101(0)}y_{101,1} \dots y_{101,12}y_{101(1)} \dots y_{101(100)}.
\end{aligned}$$

Якщо проаналізувати послідовність переходів систем (3.1) і (3.2), то можна побачити, що при перевірці двох параметрів (контактного пальця K_1 та блок-контакту $Z_{1,1}$) вхідна змінна і стан починаються з індексу 3 ($2^2 - 1 = 3$), при перевірці трьох параметрів ($K_1, Z_{1,1}, Z_{1,2}$) – з індексу 7 ($2^3 - 1 = 7$), при перевірці чотирьох параметрів ($K_1, Z_{1,1}, Z_{1,2}, Z_{1,3}$) – з індексу 15 ($2^4 - 1 = 15$). За таких умов перевірка блок-контакту $Z_{1,12}$ буде починатися з індексу $2^{13} - 1 = 8191$, перевірка контактної пальця K_2 – з індексу $2^{14} - 1 = 16383$, перевірка контактної пальця K_{101} – з індексу n ($n = 2^{13} - 1 \approx 1,04 \cdot 10^{34}$).

Структурна схема системи діагностування прискорювача, яка розроблена у відповідно до графа рис. 3.2 та системи логічних рівнянь (3.1) і (3.2), наведена на рис. 3.3.

На схемі: 1 – сенсор кута повороту ролика; 2 – НП; 3, 10, 21 – логічні елементи І; 4 – компаратор; 5, 19, 26 – індикатори; 6, 7 – сенсори потенціалів на контактних пальцях; 8, 16, 29 – функціональні блоки; 9 –ЦАП; 11 – аналоговий комутатор; 12 – підсилювач сигналу; 13 – логічний елемент НІ; 14 – мультиплексор; 15, 18, 25 – регістри; 17 – цифровий компаратор; 20, 22 – генератори імпульсів; 23 – лічильник імпульсів; 24 – дешифратор; 27, 28 – сенсори потенціалів на блок-

контактах. Схеми цих елементів і принцип роботи та основні параметри наведені в роботах [17–23].

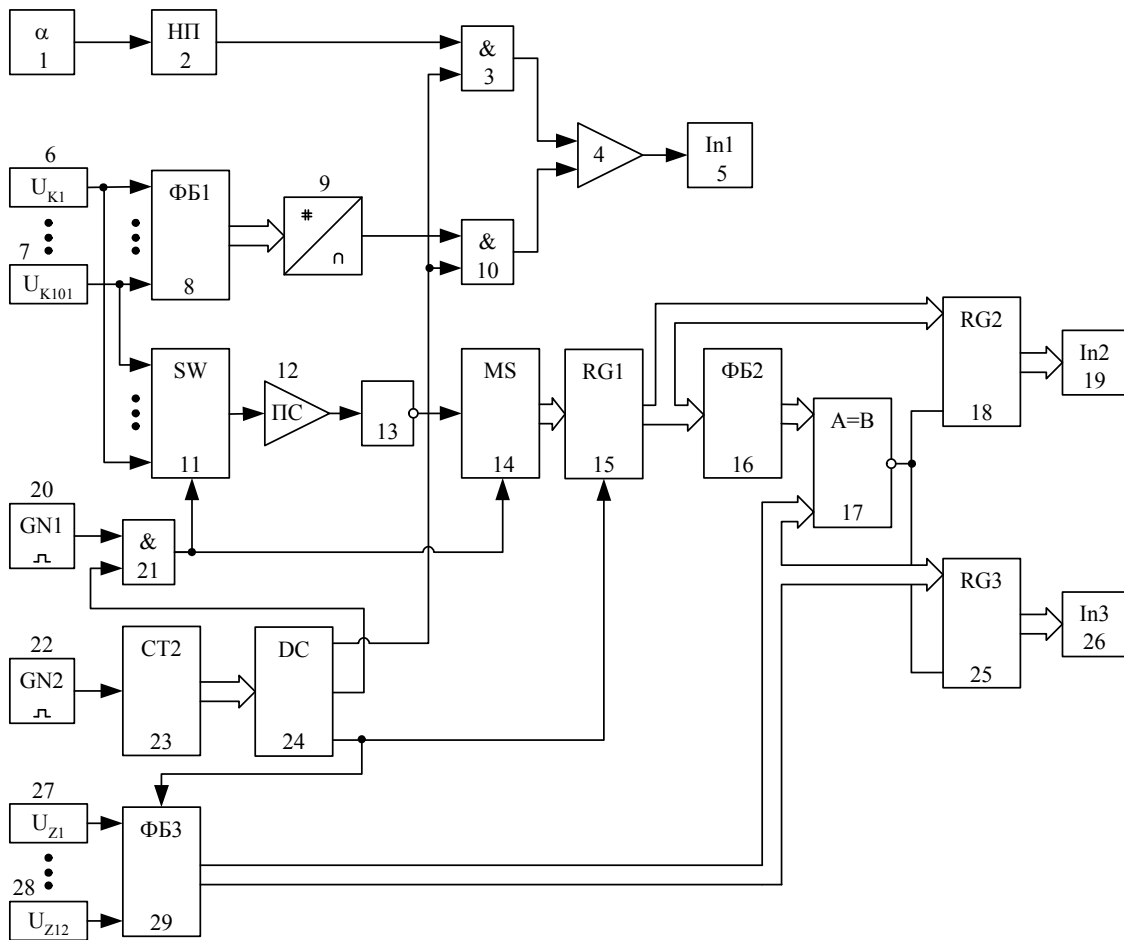


Рисунок 3.3 – Структурна схема системи діагностування прискорювача з врахуванням стану контактних пальців та блок-контактів

Працює ця система таким чином.

При ввімкненні пристрою починає працювати генератор імпульсів GN2 22, який за допомогою лічильника імпульсів CT2 23 і дешифратора DC 24 формує тактові сигнали [24–27]. Також зчитується сигнал з сенсора 1 кута повороту ролика і на виході НП 2 з’являється сигнал, який відповідає заданому куту повороту. В цей же момент часу зчитуються сигнали і з сенсорів потенціалу на контактних пальцях 6, 7 (на схемі показано лише два сенсори, а в реальності їх 101) і подаються на ФБ1 8, на виході якого формується цифровий код, що характеризує стан (замкнений/розімкнений) контактних пальців.

Якщо замкненим є лише один контактний палець, то на виході ФБ1 8 з'являється сигнал, який характеризує деякий кут φ , що відповідає замкненому контактному пальцю. При появі першого тактового сигналу з виходу дешифратора DC 24 відкриваються елементи І 3 і 10 і сигнали з виходу НП 2 (відповідає куту α) та ЦАП 9 (відповідає куту φ), проходячи логічні елементи І 3 й 10 відповідно, надходять на вхід компаратора 4. Якщо вхідні сигнали компаратора 4 однакові за рівнем аналогового сигналу, то на його виході формується сигнал логічного нуля і на індикатор In1 5 сигнал не подається. В іншому випадку індикатор In1 сигналізує про те, що необхідний контактний палець розімкнений, або замкнені два чи більше контактних пальці.

На другому такті відкривається елемент І 21 і сигнали з генератора імпульсів GN1 20 по черзі перемикають кожен вхід комутатора SW 11 на його вихід. Також одночасно з цим ті ж сигнали по черзі перемикають вхід мультиплексора MS 14 на кожен з його виходів і посиляють сигнал дозволу на запис в регістр RG1 15. За час існування імпульсу з генератора імпульсів GN1 20 аналоговий сигнал з виходу комутатора SW 11 через підсилювач сигналу ПС 12 і елемент НІ 13 перетворюються в логічний сигнал 0 або 1, який через мультиплексор MS 14 подається на відповідний вхід регістра RG1 15. При зникненні імпульсу з генератора імпульсів GN1 20 виконується запис логічної одиниці у відповідну комірку регістра RG1 15. Цикл запису в регістр RG1 15 складає 101 імпульс. Наприкінці циклу запису в регістрі RG1 15 міститься цифровий код, який відповідає замкненому (логічна 1) та розімкненому (логічний 0) стану всіх контактних пальців. Цикл припиняється при зникненні другого тактового сигналу з дешифратора DC 24.

На третьому такті сигнали з сенсорів потенціалів на блок-контактах 27, 28 (на схемі показано лише два сенсори, а в реальності їх 12) поступають на ФБ3 29, на виході якого формується цифровий код, що відповідає реальним станам кожного з блок-контактів, і записується в регістр RG3 25 та подається на один з входів цифрового компаратора 17. В цей же момент часу з регістра RG1 15 інформація записується в регістр RG2 18 і передається на ФБ2 16. В цьому блоці записана інформація у вигляді матриці про стани блок-контактів. На

виході ФБ2 16 формується цифровий код про стани блок-контактів згідно з вхідним сигналом (i, j) , що відповідає замкненому контактному пальцю. В компараторі 17 відбувається порівняння вхідних цифрових кодів. Якщо цифрові коди ідентичні, то на виході цифрового компаратора 17 формується сигнал логічного нуля. За таких умов на входах індикаторів In2 19 і In3 26 сигнал не змінюється. В іншому випадку на виході цифрового компаратора 17 з'являється сигнал логічної 1. Відповідно індикатори In2 19 і In3 26 змінюють свій стан і вказують на замикання більше ніж одного контактного пальця та невідповідність замикання блок-контактів робочій діаграмі відповідно.

Співвідношення частот генераторів імпульсів GN1 20 і GN2 22 визначається як $f_{GN_1} / f_{GN_2} = 101$.

3.2 Синтез структури системи діагностування прискорювача з врахуванням кута переміщення ролика

Виходячи із запропонованої моделі, перейдемо до алгоритму функціонування системи технічної діагностики прискорювача (рис. 3.4).

Початок діагностування починається із визначення наявності задаючого сигналу $U_i^{yД}$ на двигуні управління (блок 2).

При наявності сигналу $U_i^{yД}$ (блок 3) на першому етапі діагностування ідентифікується кут α_i повороту ролика (блок 4) та визначаються потенціали на контактних пальцях U_i^K (блок 5).

В блоках 6 та 7 відбувається перетворення вхідних сигналів U_i^K та $U_i^{yД}$ у відповідні кути φ_i та β_i відповідно. В блоках 8 та 9 відбувається порівняння кутів α_i , φ_i та β_i . Якщо $\alpha_i \neq \varphi_i \neq \beta_i$, то на індикатор 10 подається сигнал, що свідчить про неправильність замикання контактних пальців у відповідності до повороту ролика або ж неправильність відпрацювання сигналу задання електродвигуном управління.

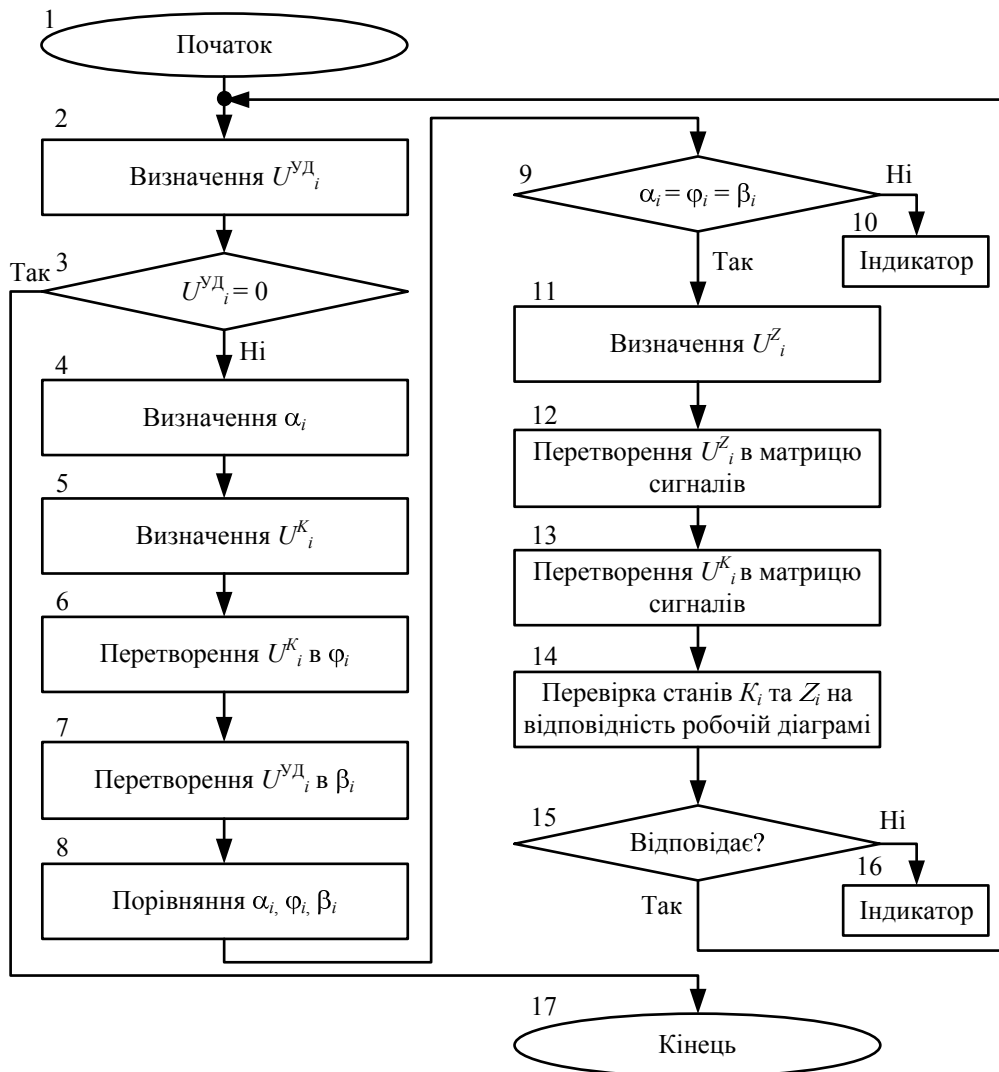


Рисунок 3.4 – Алгоритм функціонування системи технічної діагностики прискорювача з врахуванням кута переміщення ролика

На другому етапі діагностування визначаються потенціали на блок-контактах U_i^Z (блок 11) та перетворюються у матрицю кодів про їх стан (замкнений/розімкнений) у блоці 12.

Потенціали, зняті з контактних пальців U_i^K , перетворюються у матрицю кодів про їх стан (замкнений/розімкнений) у блоці 13.

Далі у блоках 14 та 15 відбувається порівняння реальних станів блок-контактів та контактних пальців у відповідності до робочої діаграми прискорювача. Якщо результат позитивний, то відбувається наступний цикл діагностування. В іншому випадку сигнал подається на індикатор 16, що свідчить про відхилення роботи прискорювача від його робочої діаграми.

Якщо відсутній сигнал задання $U_i^{уд}$ на двигуні управління, що відповідає нерухомому стану вагона, то система закінчує процес діагностування.

Структура системи технічної діагностики прискорювача, синтезована на основі розробленої математичної моделі оцінки його технічного стану та запропонованого алгоритму функціонування цієї системи, подана на рис. 3.5.

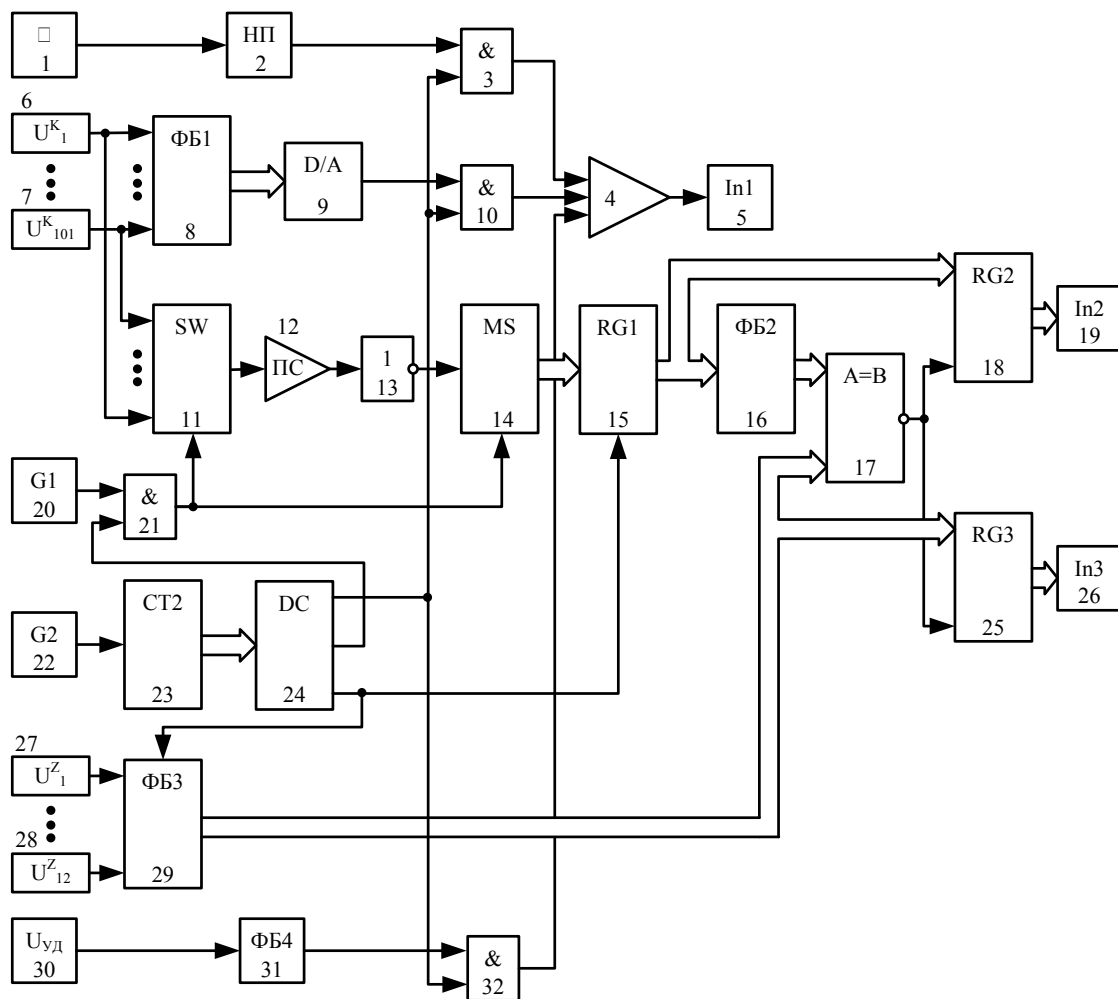


Рисунок 3.5 – Структура системи технічної діагностики прискорювача з врахуванням кута переміщення ролика

На рис. 3.5: 1 – сенсор кута повороту ролика; 2 – нормуючий перетворювач; 3, 10, 21, 32 – відповідно перший, другий, третій і четвертий логічні елементи І; 4 – компаратор; 5, 19, 26 – відповідно перший, другий і третій індикатори; 6, 7 – відповідно перший і сто перший се-

нсори потенціалів на контактних пальцях; 8, 16, 29, 31 – відповідно перший, другий, третій і четвертий функціональні блоки; 9 – цифро-аналоговий перетворювач; 11 – комутатор; 12 – підсилювач сигналу; 13 – логічний елемент НІ; 14 – мультиплексор; 15, 18, 25 – відповідно перший, другий і третій регістри; 17 – цифровий компаратор з інверсним виходом; 20, 22 – відповідно перший і другий генератори імпульсів; 23 – лічильник імпульсів; 24 – дешифратор; 27, 28 – відповідно перший і дванадцятий сенсори потенціалів на блок-контактах, 30 – сенсор рівня задаючої напруги електродвигуна управління переміщенням ролика.

Пристрій працює таким чином.

При ввімкненні пристрою починає працювати перший генератор імпульсів G2 22, який за допомогою лічильника імпульсів СТ2 23 і дешифратора DC 24 формує тактові сигнали [28]. Також зчитується сигнал з сенсора 1 кута повороту ролика і на виході нормуючого перетворювача НП 2 з'являється сигнал, який відповідає заданому куту повороту. Одночасно із попередньою операцією відбувається зчитування сигналу із сенсора рівня задаючої напруги електродвигуна управління переміщенням ролика 30 і на виході четвертого функціонального блока ФБ4 31 формується сигнал, що відповідає заданому куту переміщення вала електродвигуна, а відповідно й ролика. В цей же момент часу зчитуються сигнали і з сенсорів потенціалу на контактних пальцях 6, 7 (на схемі показано лише два сенсори, а в реальності їх 101) і подаються на перший функціональний блок ФБ1 8, на виході якого формується цифровий код, який характеризує стан (замкнений/розімкнений) контактних пальців. Якщо замкнений лише один контактний палець, то на виході першого функціонального блока ФБ1 8 з'являється сигнал, який характеризує деякий кут φ , що відповідає замкненому контактному пальцю. При появі першого тактового сигналу з першого виходу дешифратора DC 24 відкриваються перший логічний елементи І 3, другий логічний елемент І 10 та четвертий логічний елемент І 32 і сигнал з виходу нормуючого перетворювача НП 2 (відповідає куту α), ЦАП 9 (відповідає куту φ) та четвертого функціонального перетворювача ФБ4 31 (відповідає куту β), проходячи перший, другий та четвертий логічні елементи І 3, 10 й 32 відповідно,

надходять на вхід компаратора 4. Якщо вхідні сигнали компаратора 4 однакові за рівнем аналогового сигналу (тобто сигнали, що відповідають кутам α , φ та β рівні), то на його виході формується сигнал логічного нуля і на перший індикатор In1 5 сигнал не подається. В іншому випадку перший індикатор In1 5 сигналізує про те, що необхідний контактний палець розімкнений, або замкнені два чи більше контактних пальці, або електродвигун неправильно відпрацьовує сигнал задання.

На другому такті відкривається другий логічний елемент I 21 і сигнали з першого генератора імпульсів G1 20 по черзі перемикають кожен вхід комутатора SW 11 на його вихід. Також одночасно з цим ті ж сигнали по черзі перемикають вхід мультиплексора MS 14 на кожен з його виходів і посиляють сигнал дозволу на запис в перший регістр RG1 15. За час існування імпульсу з першого генератора імпульсів GN1 20 аналоговий сигнал з виходу комутатора SW 11 через підсилювач сигналу ПС 12 і елемент НІ 13 перетворюються в логічний сигнал 0 або 1, який через мультиплексор MS 14 подається на відповідний вхід першого регістра RG1 15. При зникненні імпульсу з першого генератора імпульсів G1 20 виконується запис логічної одиниці у відповідну комірку першого регістра RG1 15. Цикл запису в перший регістр RG1 15 складає 101 імпульс. Наприкінці циклу запису в першому регістрі RG1 15 міститься цифровий код, який відповідає замкненому (логічна 1) та розімкненому (логічний 0) стану всіх контактних пальців. Цикл припиняється при зникненні другого тактового сигналу з дешифратора DC 24.

На третьому такті сигнали з сенсорів потенціалів на блок-контактах 27, 28 (на схемі показано лише два сенсори, а в реальності їх 12) поступають на третій функціональний блок ФБ3 29, на виході якого формується цифровий код, що відповідає реальним станам кожного з блок-контактів, і записується в третій регістр RG3 25 та подається на один з входів цифрового компаратора 17. В цей же момент часу з першого регістра RG1 15 інформація записується в другий регістр RG2 18 і передається на другий функціональний блок ФБ2 16. В цьому блоці записана інформація у вигляді матриці про стани блок-контактів. На виході другого функціонального блока ФБ2 16 форму-

ється цифровий код про стани блок-контактів згідно з вхідним сигналом, що відповідає замкненому контактному пальцю. В компараторі 17 відбувається порівняння вхідних цифрових кодів. Якщо цифрові коди ідентичні, то на виході цифрового компаратора 17 формується сигнал логічного нуля. За таких умов на входах другого In2 19 і третього In3 26 індикаторів сигнал не змінюється. В іншому випадку на виході цифрового компаратора 17 з'являється сигнал логічної 1. Відповідно другий In2 19 і третій In3 26 індикатори змінюють свій стан і вказують на замикання більше ніж одного контактного пальця та невідповідність замикання блок-контактів робочій діаграмі відповідно.

Співвідношення частот першого G1 20 і другого G2 22 генераторів імпульсів визначається як $f_1/f_2 = 101$.

3.3 Синтез структури системи діагностування прискорювача на основі струму якоря

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

$$\left\{ \begin{array}{l} D_1 = Y_{\Pi 1} \wedge Y_{Z1}; \\ D_2 = Y_{\Pi 2} \wedge Y_{Z2}; \\ \dots\dots\dots \\ D_i = Y_{\Pi i} \wedge Y_{Zi}; \\ \dots\dots\dots \\ D_{101} = Y_{\Pi 101} \wedge Y_{Z101} \end{array} \right. \quad (3.3)$$

і

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{D}_1 = \bar{Y}_{\Pi 1} \wedge Y_{Z1} \vee Y_{\Pi 1} \wedge \bar{Y}_{Z1} \vee \bar{Y}_{\Pi 1} \wedge \bar{Y}_{Z1}; \\ \bar{D}_2 = \bar{Y}_{\Pi 2} \wedge Y_{Z2} \vee Y_{\Pi 2} \wedge \bar{Y}_{Z2} \vee \bar{Y}_{\Pi 2} \wedge \bar{Y}_{Z2}; \\ \dots\dots\dots \\ \bar{D}_i = \bar{Y}_{\Pi i} \wedge Y_{Zi} \vee Y_{\Pi i} \wedge \bar{Y}_{Zi} \vee \bar{Y}_{\Pi i} \wedge \bar{Y}_{Zi}; \\ \dots\dots\dots \\ \bar{D}_{101} = \bar{Y}_{\Pi 101} \wedge Y_{Z101} \vee Y_{\Pi 101} \wedge \bar{Y}_{Z101} \vee \bar{Y}_{\Pi 101} \wedge \bar{Y}_{Z101}. \end{array} \right. \quad (3.4)$$

На основі запропонованих математичних моделей розроблено структуру системи діагностування прискорювача, структурна схема якої наведена на рис. 3.6.

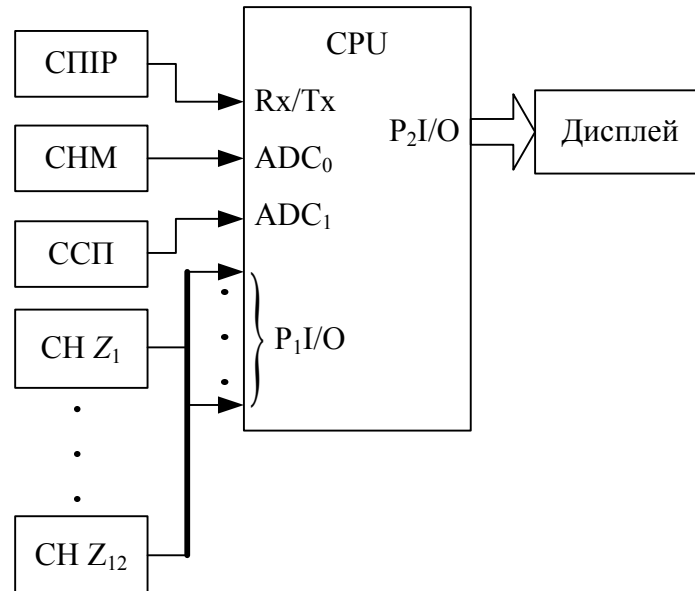


Рисунок 3.6 – Структурна схема системи діагностування прискорювача на основі струму якоря

Для визначення кута повороту α_k ролика, що прижимає 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 СН Z_1 –СН Z_{12} типу MLX90215, побудовані на ефекті 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 пропорційну йому напругу (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

на 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. 3.7.

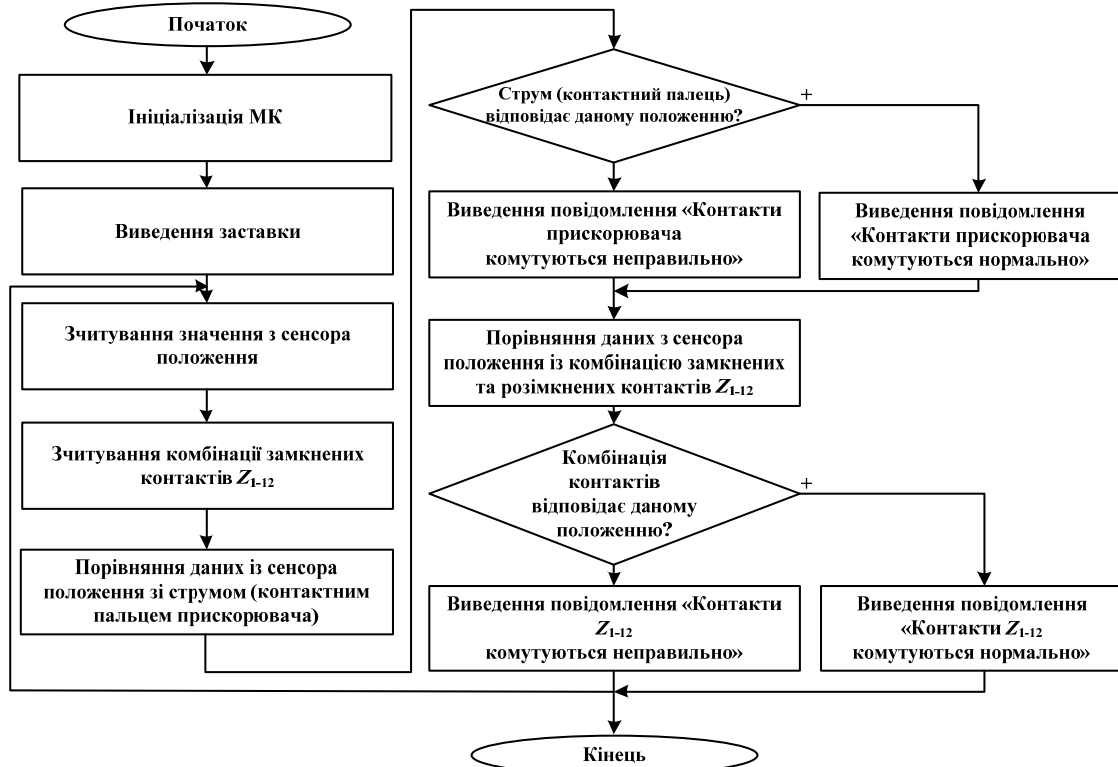


Рисунок 3.7 – Алгоритм роботи пристрою діагностування прискорювача на основі струму якоря

3.4 Синтез структури системи діагностування прискорювача на базі уточненої математичної моделі на основі струму якоря

Процес діагностування можна реалізувати в такій послідовності:

- 1) визначення напруги задання $U_i^{УД}$ електродвигуна управління;
- 2) визначення кута β_i повороту вала електродвигуна управління;
- 3) визначення кута α_i повороту ролика;
- 4) перевірка стану контактного пальця K_i (замкнений/розімкнений);

5) перевірка стану блок-контактів $Z_{i,j}$ на відповідність робочій діаграмі;

6) перевірка станів (замкнений/розімкнений) інших контактних пальців K_m ($K_m \neq K_i$).

Виходячи з вищевикладеного, граф функціонування системи діагностування прискорювача трамвая можна представити у вигляді рис. 3.8.

Стан, в якому може перебувати система, позначимо через S , а узагальнюючу вхідну змінну (дію на систему) – через X . Символ «*» над прийнятими позначеннями означає, що цей параметр ще не ідентифіковано системою [29].

Математичний опис графа може бути представлено такою системою рівнянь:

$$\begin{aligned}
 S_{0,0} &= \overset{*}{y_{i(U)}} \overset{*}{y_{i(\beta)}} \overset{*}{y_{i,0}} \overset{*}{y_{i,j}} \overset{*}{y_{i(m)}} \overset{*}{y_i}; \\
 S_{0,1(U)} &= \overset{*}{y_{i(U)}} \overset{*}{y_{i(\beta)}} \overset{*}{y_{i,0}} \overset{*}{y_{i,j}} \overset{*}{y_{i(m)}} \overset{*}{y_i}; \\
 S_{0,1(\beta)} &= \overset{*}{y_{1(U)}} \overset{*}{y_{i(\beta)}} \overset{*}{y_{i,0}} \overset{*}{y_{i,j}} \overset{*}{y_{i(m)}} \overset{*}{y_i}; \\
 S_{0,1(\bar{\beta})} &= \overset{*}{y_{1(U)}} \overset{*}{y_{i(\beta)}} \overset{*}{y_{i,0}} \overset{*}{y_{i,j}} \overset{*}{y_{i(m)}} \overset{*}{y_i}; \\
 S_{0,1(\alpha)} &= \overset{*}{y_{1(U)}} \overset{*}{y_{1(\beta)}} \overset{*}{y_{i,0}} \overset{*}{y_{i,j}} \overset{*}{y_{i(m)}} \overset{*}{y_i}; \\
 S_{0,1(\bar{\alpha})} &= \overset{*}{y_{1(U)}} \overset{*}{y_{1(\beta)}} \overset{*}{y_{i,0}} \overset{*}{y_{i,j}} \overset{*}{y_{i(m)}} \overset{*}{y_i}; \\
 S_{1,0} &= \overset{*}{y_{1(U)}} \overset{*}{y_{1(\beta)}} \overset{*}{y_{1,0}} \overset{*}{y_{i,j}} \overset{*}{y_{i(m)}} \overset{*}{y_i}; \\
 S_{1,\bar{0}} &= \overset{*}{y_{1(U)}} \overset{*}{y_{1(\beta)}} \overset{*}{y_{1,0}} \overset{*}{y_{i,j}} \overset{*}{y_{i(m)}} \overset{*}{y_i}; \\
 S_{1,1} &= \overset{*}{y_{1(U)}} \overset{*}{y_{1(\beta)}} \overset{*}{y_{1,0}} \overset{*}{y_{1,1}} \overset{*}{y_{i(m)}} \overset{*}{y_i};
 \end{aligned}$$

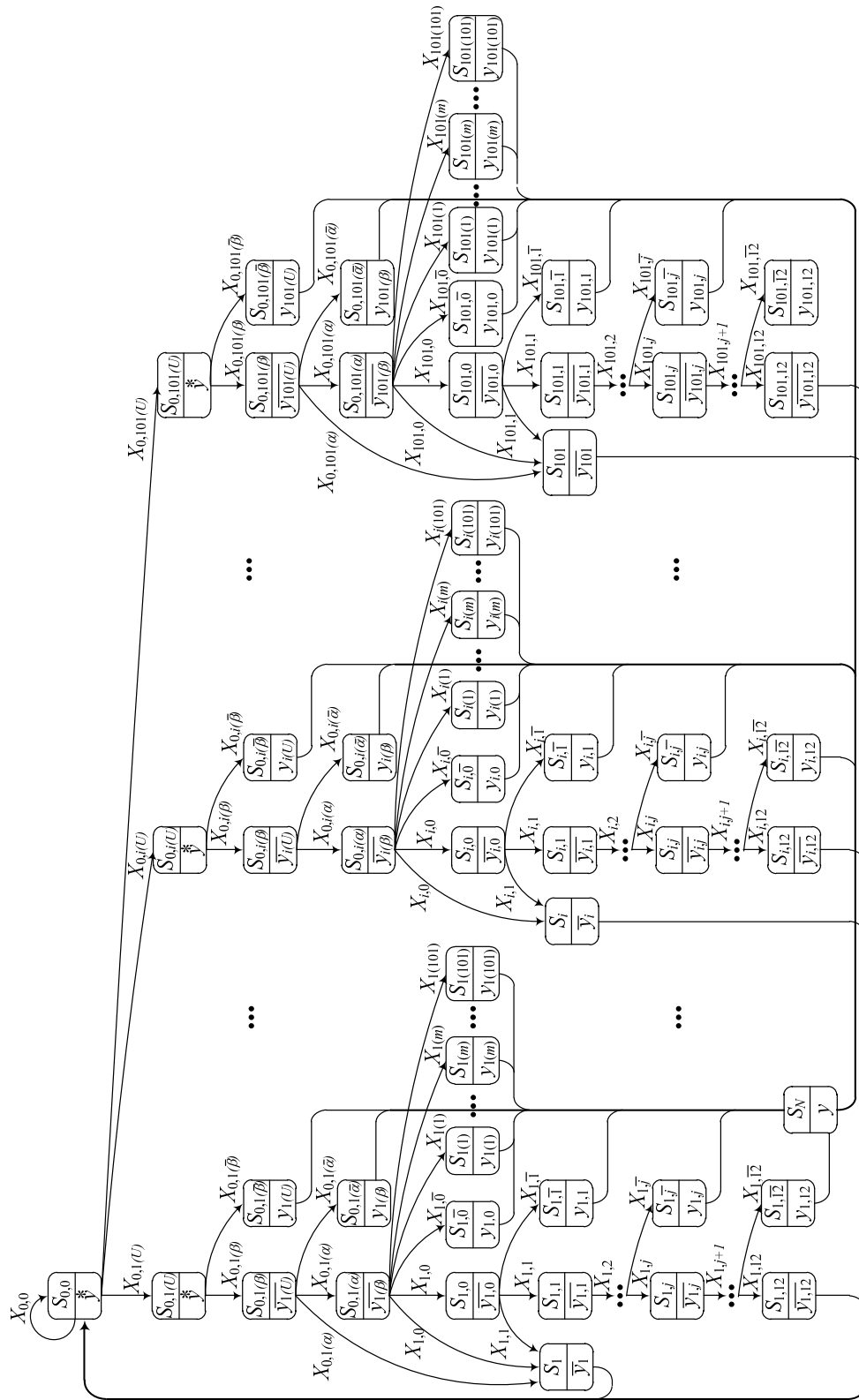


Рисунок 3.8 – Граф функціонування системи діагностування пристроювача на базі уточненої математичної моделі на основі струму якоря

$$\begin{aligned}
S_{1,\bar{1}} &= \overline{y_{1(U)} y_{1(\beta)} y_{1,0} y_{1,1}} y_{i(m)} y_i; \\
&\dots\dots\dots \\
S_{1,j} &= \overline{y_{1(U)} y_{1(\beta)} y_{1,0} y_{1,j}} y_{i(m)} y_i; \\
S_{1,\bar{j}} &= \overline{y_{1(U)} y_{1(\beta)} y_{1,0} y_{1,j}} y_{i(m)} y_i; \\
&\dots\dots\dots \\
S_{1,12} &= \overline{y_{1(U)} y_{1(\beta)} y_{1,0} y_{1,12}} y_{i(m)} y_i; \\
S_{1,\bar{12}} &= \overline{y_{1(U)} y_{1(\beta)} y_{1,0} y_{1,12}} y_{i(m)} y_i; \\
S_{1(1)} &= \overline{y_{1(U)} y_{1(\beta)} y_{1,0} y_{1,j} y_{1(1)}} y_i; \\
&\dots\dots\dots \\
S_{1(m)} &= \overline{y_{1(U)} y_{1(\beta)} y_{1,0} y_{1,j} y_{1(m)}} y_i; \\
&\dots\dots\dots \\
S_{1(101)} &= \overline{y_{1(U)} y_{1(\beta)} y_{1,0} y_{1,j} y_{1(101)}} y_i; \\
S_{0,i(U)} &= \overline{y_{i(U)} y_{i(\beta)} y_{i,0} y_{i,j} y_{i(m)}} y_i; \\
S_{0,i(\beta)} &= \overline{y_{i(U)} y_{i(\beta)} y_{i,0} y_{i,j} y_{i(m)}} y_i; \\
S_{0,i(\bar{\beta})} &= \overline{y_{i(U)} y_{i(\beta)} y_{i,0} y_{i,j} y_{i(m)}} y_i; \\
S_{0,i(\alpha)} &= \overline{y_{i(U)} y_{i(\beta)} y_{i,0} y_{i,j} y_{i(m)}} y_i; \\
S_{0,i(\bar{\alpha})} &= \overline{y_{i(U)} y_{i(\beta)} y_{i,0} y_{i,j} y_{i(m)}} y_i;
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \mathcal{S}_{i,0} = \overline{y_{i(U)} y_{i(\beta)} y_{i,0}} \overset{*}{y_{i,j}} \overset{*}{y_{i(m)}} \overset{*}{y_i}; \\
& \mathcal{S}_{i,\bar{0}} = \overline{y_{i(U)} y_{i(\beta)} y_{i,0}} \overset{*}{y_{i,j}} \overset{*}{y_{i(m)}} \overset{*}{y_i}; \\
& \mathcal{S}_{i,1} = \overline{y_{i(U)} y_{i(\beta)} y_{i,0}} \overset{*}{y_{i,1}} \overset{*}{y_{i(m)}} \overset{*}{y_i}; \\
& \mathcal{S}_{i,\bar{1}} = \overline{y_{i(U)} y_{i(\beta)} y_{i,0}} \overset{*}{y_{i,1}} \overset{*}{y_{i(m)}} \overset{*}{y_i}; \\
& \dots\dots\dots \\
& \mathcal{S}_{i,j} = \overline{y_{i(U)} y_{i(\beta)} y_{i,0}} \overset{*}{y_{i,j}} \overset{*}{y_{i(m)}} \overset{*}{y_i}; \\
& \mathcal{S}_{i,\bar{j}} = \overline{y_{i(U)} y_{i(\beta)} y_{i,0}} \overset{*}{y_{i,j}} \overset{*}{y_{i(m)}} \overset{*}{y_i}; \\
& \dots\dots\dots \\
& \mathcal{S}_{i,12} = \overline{y_{i(U)} y_{i(\beta)} y_{i,0}} \overset{*}{y_{i,12}} \overset{*}{y_{i(m)}} \overset{*}{y_i}; \\
& \mathcal{S}_{i,\bar{12}} = \overline{y_{i(U)} y_{i(\beta)} y_{i,0}} \overset{*}{y_{i,12}} \overset{*}{y_{i(m)}} \overset{*}{y_i}; \\
& \mathcal{S}_{i(1)} = \overline{y_{i(U)} y_{i(\beta)} y_{i,0}} \overset{*}{y_{i,j} y_{i(1)}} \overset{*}{y_i}; \\
& \dots\dots\dots \\
& \mathcal{S}_{i(m)} = \overline{y_{i(U)} y_{i(\beta)} y_{i,0}} \overset{*}{y_{i,j} y_{i(m)}} \overset{*}{y_i}; \\
& \dots\dots\dots \\
& \mathcal{S}_{i(101)} = \overline{y_{i(U)} y_{i(\beta)} y_{i,0}} \overset{*}{y_{i,j} y_{1(101)}} \overset{*}{y_i}; \\
& \dots\dots\dots \\
& \mathcal{S}_{0,101(U)} = \overline{y_{i(U)} y_{i(\beta)} y_{i,0}} \overset{*}{y_{i,j}} \overset{*}{y_{i(m)}} \overset{*}{y_i}; \\
& \mathcal{S}_{0,101(\beta)} = \overline{y_{101(U)} y_{i(\beta)} y_{i,0}} \overset{*}{y_{i,j}} \overset{*}{y_{i(m)}} \overset{*}{y_i};
\end{aligned} \tag{3.5}$$

$$\begin{aligned}
S_{0,101(\bar{\beta})} &= \overset{*}{y_{101(U)}} \overset{*}{y_{i(\beta)}} \overset{*}{y_{i,0}} \overset{*}{y_{i,j}} \overset{*}{y_{i(m)}} \overset{*}{y_i}; \\
S_{0,101(\alpha)} &= \overset{*}{y_{101(U)}} \overset{*}{y_{101(\beta)}} \overset{*}{y_{i,0}} \overset{*}{y_{i,j}} \overset{*}{y_{i(m)}} \overset{*}{y_i}; \\
S_{0,101(\bar{\alpha})} &= \overset{*}{y_{101(U)}} \overset{*}{y_{101(\beta)}} \overset{*}{y_{i,0}} \overset{*}{y_{i,j}} \overset{*}{y_{i(m)}} \overset{*}{y_i}; \\
S_{101,0} &= \overset{*}{y_{101(U)}} \overset{*}{y_{101(\beta)}} \overset{*}{y_{101,0}} \overset{*}{y_{i,j}} \overset{*}{y_{i(m)}} \overset{*}{y_i}; \\
S_{101,\bar{0}} &= \overset{*}{y_{101(U)}} \overset{*}{y_{101(\beta)}} \overset{*}{y_{101,0}} \overset{*}{y_{i,j}} \overset{*}{y_{i(m)}} \overset{*}{y_i}; \\
S_{101,1} &= \overset{*}{y_{101(U)}} \overset{*}{y_{101(\beta)}} \overset{*}{y_{101,0}} \overset{*}{y_{101,1}} \overset{*}{y_{i(m)}} \overset{*}{y_i}; \\
S_{101,\bar{1}} &= \overset{*}{y_{101(U)}} \overset{*}{y_{101(\beta)}} \overset{*}{y_{101,0}} \overset{*}{y_{101,1}} \overset{*}{y_{i(m)}} \overset{*}{y_i}; \\
&\dots\dots\dots \\
S_{101,j} &= \overset{*}{y_{101(U)}} \overset{*}{y_{101(\beta)}} \overset{*}{y_{101,0}} \overset{*}{y_{101,j}} \overset{*}{y_{i(m)}} \overset{*}{y_i}; \\
S_{101,\bar{j}} &= \overset{*}{y_{101(U)}} \overset{*}{y_{101(\beta)}} \overset{*}{y_{101,0}} \overset{*}{y_{101,j}} \overset{*}{y_{i(m)}} \overset{*}{y_i}; \\
&\dots\dots\dots \\
S_{101,12} &= \overset{*}{y_{101(U)}} \overset{*}{y_{101(\beta)}} \overset{*}{y_{101,0}} \overset{*}{y_{101,12}} \overset{*}{y_{i(m)}} \overset{*}{y_i}; \\
S_{101,\bar{12}} &= \overset{*}{y_{101(U)}} \overset{*}{y_{101(\beta)}} \overset{*}{y_{101,0}} \overset{*}{y_{101,12}} \overset{*}{y_{i(m)}} \overset{*}{y_i}; \\
S_{101(1)} &= \overset{*}{y_{101(U)}} \overset{*}{y_{101(\beta)}} \overset{*}{y_{101,0}} \overset{*}{y_{101,j}} \overset{*}{y_{101(1)}} \overset{*}{y_i}; \\
&\dots\dots\dots \\
S_{101(m)} &= \overset{*}{y_{101(U)}} \overset{*}{y_{101(\beta)}} \overset{*}{y_{101,0}} \overset{*}{y_{101,j}} \overset{*}{y_{1(m)}} \overset{*}{y_i}; \\
&\dots\dots\dots
\end{aligned}$$

$$S_{101(101)} = \overline{y_{101(U)} y_{101(\beta)} y_{101,0} y_{101,j} y_{101(101)} y_i}^*$$

i

$$X_{0,0} = U_i^{y\mathbb{D}} \beta_i \alpha_i k_i z_{i,j};$$

$$X_{0,1(U)} = U_1^{y\mathbb{D}} \beta_i \alpha_i k_i z_{i,j};$$

$$X_{0,1(\beta)} = U_1^{y\mathbb{D}} \beta_1 \alpha_i k_i z_{i,j};$$

$$X_{0,1(\bar{\beta})} = U_1^{y\mathbb{D}} \bar{\beta}_1 \alpha_i k_i z_{i,j};$$

$$X_{0,1(\alpha)} = U_1^{y\mathbb{D}} \beta_1 \alpha_1 k_i z_{i,j};$$

$$X_{0,1(\bar{\alpha})} = U_1^{y\mathbb{D}} \beta_1 \bar{\alpha}_1 k_i z_{i,j};$$

$$X_{1,0} = U_1^{y\mathbb{D}} \beta_1 \alpha_1 K_1 z_{i,j};$$

$$X_{1,\bar{0}} = U_1^{y\mathbb{D}} \beta_1 \alpha_1 \bar{K}_1 z_{i,j};$$

$$X_{1,1} = U_1^{y\mathbb{D}} \beta_1 \alpha_1 K_1 z_{1,1};$$

$$X_{1,\bar{1}} = U_1^{y\mathbb{D}} \beta_1 \alpha_1 K_1 \bar{z}_{1,1};$$

.....

$$X_{1,j} = U_1^{y\mathbb{D}} \beta_1 \alpha_1 K_1 z_{1,j};$$

$$X_{1,\bar{j}} = U_1^{y\mathbb{D}} \beta_1 \alpha_1 K_1 \bar{z}_{1,j};$$

.....

$$X_{1,12} = U_1^{y\mathbb{D}} \beta_1 \alpha_1 K_1 z_{1,12};$$

$$X_{1,\bar{12}} = U_1^{y\mathbb{D}} \beta_1 \alpha_1 K_1 \bar{z}_{1,12};$$

$$X_{1(1)} = U_1^{y\mathbb{D}} \beta_1 \alpha_1 \bar{K}_1 z_{1,12};$$

.....

$$X_{1(m)} = U_1^{y\mathbb{D}} \beta_1 \alpha_1 K_m z_{1,12};$$

.....

$$X_{1(101)} = U_1^{y\mathbb{D}} \beta_1 \alpha_1 K_{101} z_{1,12};$$

$$\begin{aligned}
X_{0,i(U)} &= U_i^{y\mathbb{D}} \overset{* * * *}{\beta_i \alpha_i k_i z_{i,j}}; \\
X_{0,i(\beta)} &= U_i^{y\mathbb{D}} \overset{* * *}{\beta_i \alpha_i k_i z_{i,j}}; \\
X_{0,i(\bar{\beta})} &= U_i^{y\mathbb{D}} \overset{* * *}{\bar{\beta}_i \alpha_i k_i z_{i,j}}; \\
X_{0,i(\alpha)} &= U_i^{y\mathbb{D}} \overset{* *}{\beta_i \alpha_i k_i z_{i,j}}; \\
X_{0,i(\bar{\alpha})} &= U_i^{y\mathbb{D}} \overset{* *}{\beta_i \bar{\alpha}_i k_i z_{i,j}}; \\
X_{i,0} &= U_i^{y\mathbb{D}} \overset{*}{\beta_i \alpha_i K_i z_{i,j}}; \\
X_{i,\bar{0}} &= U_i^{y\mathbb{D}} \overset{*}{\beta_i \alpha_i \bar{K}_i z_{i,j}}; \\
X_{i,1} &= U_i^{y\mathbb{D}} \beta_i \alpha_i K_i z_{i,1}; \\
X_{i,\bar{1}} &= U_i^{y\mathbb{D}} \beta_i \alpha_i \bar{K}_i z_{i,1}; \\
&\dots\dots\dots \\
X_{i,j} &= U_i^{y\mathbb{D}} \beta_i \alpha_i K_i z_{i,j}; \\
X_{i,\bar{j}} &= U_i^{y\mathbb{D}} \beta_i \alpha_i \bar{K}_i z_{i,j}; \\
&\dots\dots\dots \\
X_{i,12} &= U_i^{y\mathbb{D}} \beta_i \alpha_i K_i z_{i,12}; \\
X_{i,\bar{12}} &= U_i^{y\mathbb{D}} \beta_i \alpha_i \bar{K}_i z_{i,12}; \\
X_{i(1)} &= U_i^{y\mathbb{D}} \beta_i \alpha_i \bar{K}_i z_{i,12}; \\
&\dots\dots\dots \\
X_{i(m)} &= U_i^{y\mathbb{D}} \beta_i \alpha_i K_m z_{i,12}; \\
&\dots\dots\dots \\
X_{i(101)} &= U_i^{y\mathbb{D}} \beta_i \alpha_i K_{101} z_{i,12}; \\
&\dots\dots\dots \\
X_{0,101(U)} &= U_{101}^{y\mathbb{D}} \overset{* * * *}{\beta_i \alpha_i k_i z_{i,j}}; \\
X_{0,101(\beta)} &= U_{101}^{y\mathbb{D}} \overset{* * *}{\beta_{101} \alpha_i k_i z_{i,j}};
\end{aligned} \tag{3.6}$$

$$\begin{aligned}
X_{0,101(\bar{\beta})} &= U_{101}^{yД} \overline{\beta_{101}} \alpha_i k_i z_{i,j}; \\
X_{0,101(\alpha)} &= U_{101}^{yД} \beta_{101} \alpha_{101} k_i z_{i,j}; \\
X_{0,101(\bar{\alpha})} &= U_{101}^{yД} \beta_{101} \overline{\alpha_{101}} k_i z_{i,j}; \\
X_{101,0} &= U_{101}^{yД} \beta_{101} \alpha_{101} K_{101} z_{i,j}; \\
X_{101,\bar{0}} &= U_{101}^{yД} \beta_{101} \alpha_{101} \overline{K_{101}} z_{i,j}; \\
X_{101,1} &= U_{101}^{yД} \beta_{101} \alpha_{101} K_{101} z_{101,1}; \\
X_{101,\bar{1}} &= U_{101}^{yД} \beta_{101} \alpha_{101} K_{101} \overline{z_{101,1}}; \\
&\dots\dots\dots \\
X_{101,j} &= U_{101}^{yД} \beta_{101} \alpha_{101} K_{101} z_{101,j}; \\
X_{101,\bar{j}} &= U_{101}^{yД} \beta_{101} \alpha_{101} K_{101} \overline{z_{101,j}}; \\
&\dots\dots\dots \\
X_{101,12} &= U_{101}^{yД} \beta_{101} \alpha_{101} K_{101} z_{101,12}; \\
X_{101,\bar{12}} &= U_{101}^{yД} \beta_{101} \alpha_{101} K_{101} \overline{z_{101,12}}; \\
X_{101(1)} &= U_{101}^{yД} \beta_{101} \alpha_{101} \overline{K_{101}} z_{101,12}; \\
&\dots\dots\dots \\
X_{101(m)} &= U_{101}^{yД} \beta_{101} \alpha_{101} K_m z_{101,12}; \\
&\dots\dots\dots \\
X_{101(101)} &= U_{101}^{yД} \beta_{101} \alpha_{101} \overline{K_{101}} z_{101,12}.
\end{aligned}$$

Виходячи із запропонованої моделі, перейдемо до алгоритму функціонування системи технічної діагностики прискорювача (рис. 3.9).

Початок діагностування починається із визначення наявності задаючого сигналу $U_i^{yД}$ на електродвигуні управління. Далі визначається кут β_i та перевіряється його відповідність напрузі $U_i^{yД}$.

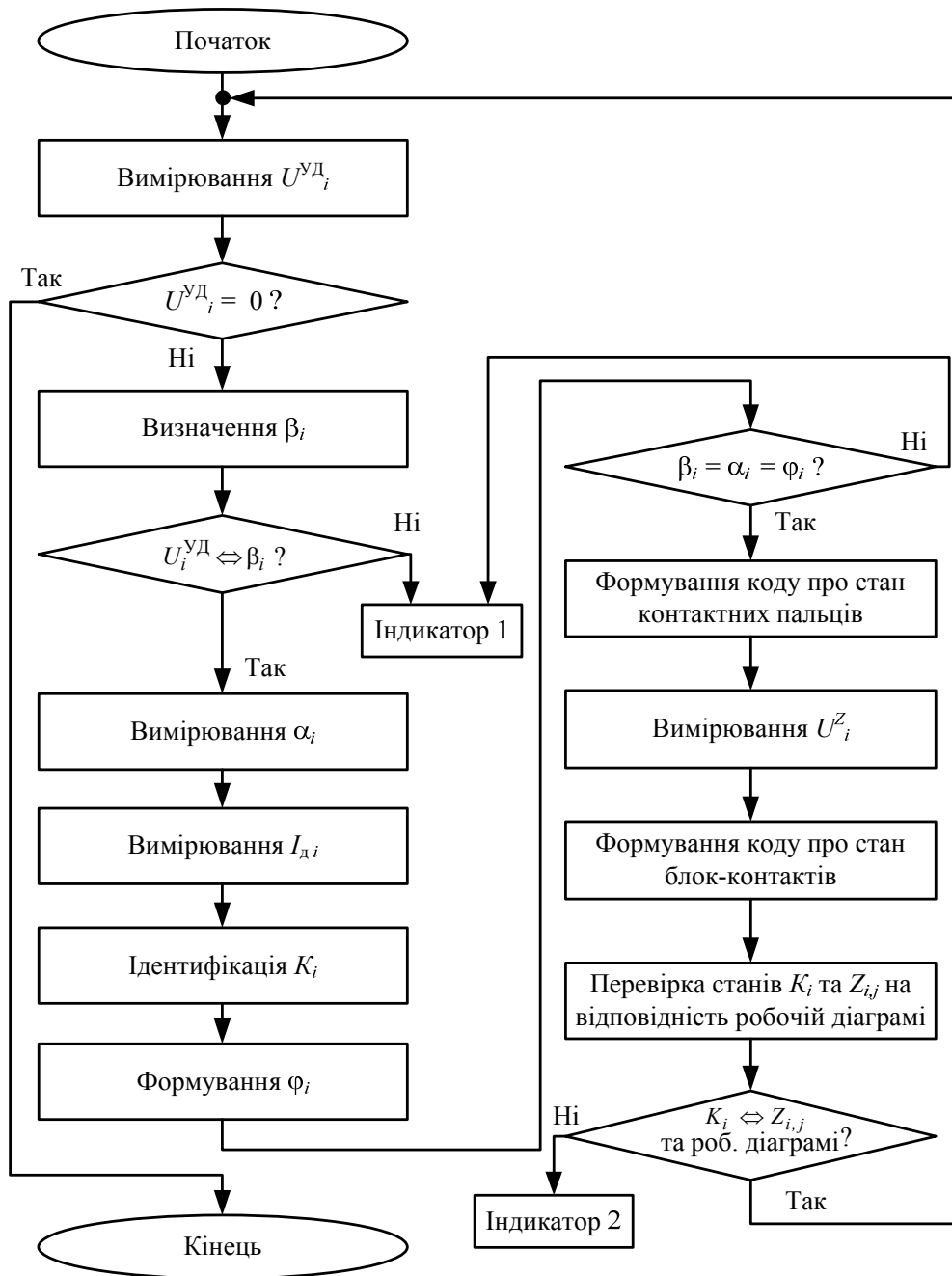


Рисунок 3.9 – Алгоритм функціонування системи технічної діагностики прискорювача на базі уточненої математичної моделі на основі струму якоря

Вимірюється кут α_i та струм $I_{дi}$, який протікає по прискорювачу, на підставі чого формується кут ϕ_i , що відповідає замкненому контактному пальцю. Якщо $y_{i(U)} = U_i^{yД} \not\leftrightarrow \beta_i$ або $\alpha_i \neq \phi_i \neq \beta_i$, то на індикатор 1 подається сигнал, що свідчить про неправильність замикання контактних пальців у відповідності до повороту ролика або ж неправильність відпрацювання задаючого сигналу електродвигуном управління.

На підставі отриманих та перетворених даних формується цифровий код про стан контактних пальців.

Після вимірювання напруги на контактних пальцях U_i^Z формується цифровий код про стан блок-контактів та здійснюється перевірка станів контактних пальців й блок-контактів на відповідність робочій діаграмі прискорювача. Якщо ця умова не виконується, що свідчить про залипання якогось контактного пальця чи невірну комутацію блок-контактів, на індикатор 2 подається відповідний сигнал.

Якщо відсутній сигнал задання $U_i^{yД}$ на двигуні управління, що відповідає нерухомому стану вагона, то система закінчує процес діагностування.

Структурна схема системи діагностування прискорювача, яка розроблена у відповідності до графа рис. 3.8, системи рівнянь (3.5) і (3.6) та запропонованого алгоритму функціонування, наведена на рис. 3.10.

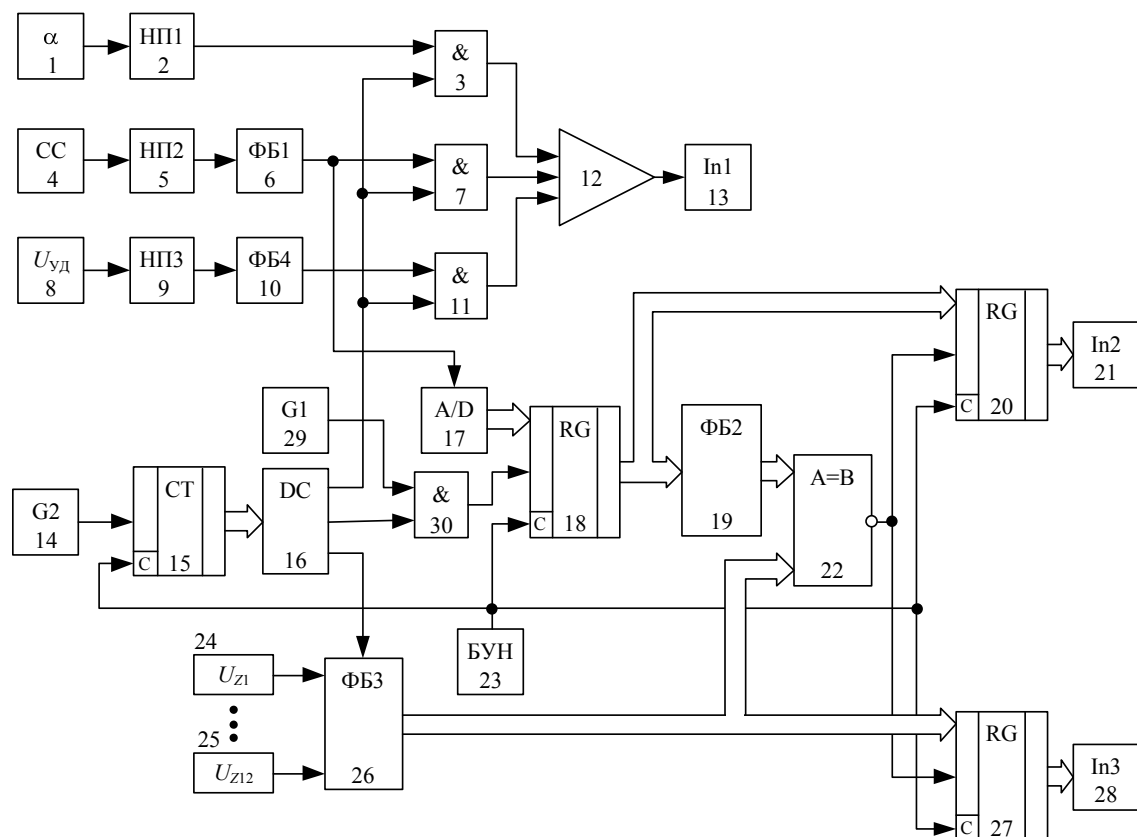


Рисунок 3.10 – Структурна схема системи діагностування прискорювача на базі уточненої математичної моделі на основі струму якоря

На рис. 3.10: 1 – сенсор кута повороту α ролика; 2, 5, 9 – відповідно перший НП1, другий НП2 і третій НП3 нормуючі перетворювачі; 3, 7, 11, 30 – відповідно перший, другий, четвертий і третій логічні елементи І; 4 – сенсор струму СС; 6, 10, 19, 26 – відповідно перший ФБ1, четвертий ФБ4, другий ФБ2 і третій ФБ3 функціональні блоки; 8 – сенсор рівня задаючої напруги $U_{уд}$ електродвигуна управління переміщенням ролика; 12 – компаратор; 13, 21, 28 – відповідно перший In1, другий In2 і третій In3 індикатори; 14, 29 – відповідно другий G2 і перший G1 генератори імпульсів; 15 – лічильник імпульсів СТ; 16 – дешифратор DC; 17 – аналого-цифровий перетворювач A/D; 18, 20, 27 – відповідно перший, другий і третій регістри RG; 22 – цифровий компаратор з інверсним виходом; 23 – блок установки нуля БУН; 24, 25 – відповідно перший U_{z1} – дванадцятий U_{z12} сенсори потенціалів на блок-контактах.

Пристрій працює так.

При ввімкненні пристрою блок установки нуля 23 своїм імпульсом забезпечує обнулення лічильника імпульсів 15, першого 18, другого 20 і третього 27 регістрів. Другий генератор імпульсів 14 за допомогою лічильника імпульсів 15 і дешифратора 16 починає формувати тактові сигнали [30].

Зчитується сигнал з сенсора кута повороту ролика 1 (відповідає куту α) і на виході першого нормуючого перетворювача 2 з'являється сигнал, який відповідає заданому куту повороту. Одночасно із попередньою операцією відбувається зчитування сигналу із сенсора рівня задаючої напруги електродвигуна управління переміщенням ролика 8, який через третій нормуючий перетворювач 9 подається на четвертий функціональний блок 10, на виході якого формується сигнал, що відповідає заданому куту переміщення вала електродвигуна, а відповідно й ролика. В цей же час відбувається зчитування сигналу з сенсора струму 4, який через другий нормуючий перетворювач 5 подається на перший функціональний блок 6, на виході якого формується сигнал, що характеризує стан (замкнений/розімкнений) контактних пальців. Якщо замкнений лише один контактний палець, то на виході першого функціонального блока 6 з'являється сигнал, який характеризує деякий кут φ , що відповідає замкненому контактному пальцю.

При появі першого тактового сигналу з першого виходу дешифратора 16 відкриваються перший логічний елементи І 3, другий логічний елемент І 7 та четвертий логічний елемент І 11 і сигнали з виходів першого логічного елемента І 3 (відповідає куту α), другого логічного елемента І 7 (відповідає куту φ) та четвертого логічного елемента І 11 (відповідає куту β) надходять на відповідні входи компаратора 12. Якщо вхідні сигнали компаратора 12 однакові за рівнем аналогового сигналу (тобто сигнали, що відповідають кутам α , φ та β рівні), то на його виході формується сигнал логічного нуля і на перший індикатор 13 сигнал не подається. В іншому випадку перший індикатор 13 сигналізує про те, що необхідний контактний палець розімкнений, або замкнені два чи більше контактних пальці, або електродвигун неправильно відпрацьовує сигнал задання.

На другому такті відкривається третій логічний елемент І 30 при появі сигналу з першого генератора імпульсів 29 та другого виходу дешифратора 16, що забезпечує появу сигналу дозволу на запис в перший регістр 18 інформацію про стан контактних пальців, яка надходить через аналого-цифровий перетворювач 17 від першого функціонального блоку 6. В першому регістрі 18 міститься цифровий код, який відповідає замкненому (логічна 1) та розімкненому (логічний 0) стану всіх контактних пальців.

На третьому такті сигнали з сенсорів потенціалів на блок-контактах 24, 25 (на схемі показано лише два сенсори, а в реальності їх 12) поступають на третій функціональний блок 26, на виході якого формується цифровий код, що відповідає реальним станам кожного з блок-контактів, і записується в третій регістр 27 та подається на один з входів цифрового компаратора з інверсним виходом 22. В цей же момент часу з першого регістра 18 інформація записується в другий регістр 20 і передається на другий функціональний блок 19. В цьому блоці записана інформація у вигляді матриці про стани блок-контактів. На виході другого функціонального блока 19 формується цифровий код про стани блок-контактів згідно з вхідним сигналом, що відповідає замкненому контактному пальцю. В компараторі з інверсним виходом 22 відбувається порівняння вхідних цифрових кодів. Якщо цифрові коди ідентичні, то на виході цифрового компаратора з

інверсним виходом 22 формується сигнал логічного нуля. За таких умов на входах другого 21 і третього 28 індикаторів сигнал не змінюється. В іншому випадку на виході цифрового компаратора з інверсним виходом 22 з'являється сигнал логічної 1. Відповідно другий 21 і третій 28 індикатори змінюють свій стан і вказують на замикання більше ніж одного контактного пальця та невідповідність замикання блок-контактів робочій діаграмі відповідно.

В процесі подальших досліджень було вдосконалено попередню структуру системи діагностування до вигляду рис. 3.11.

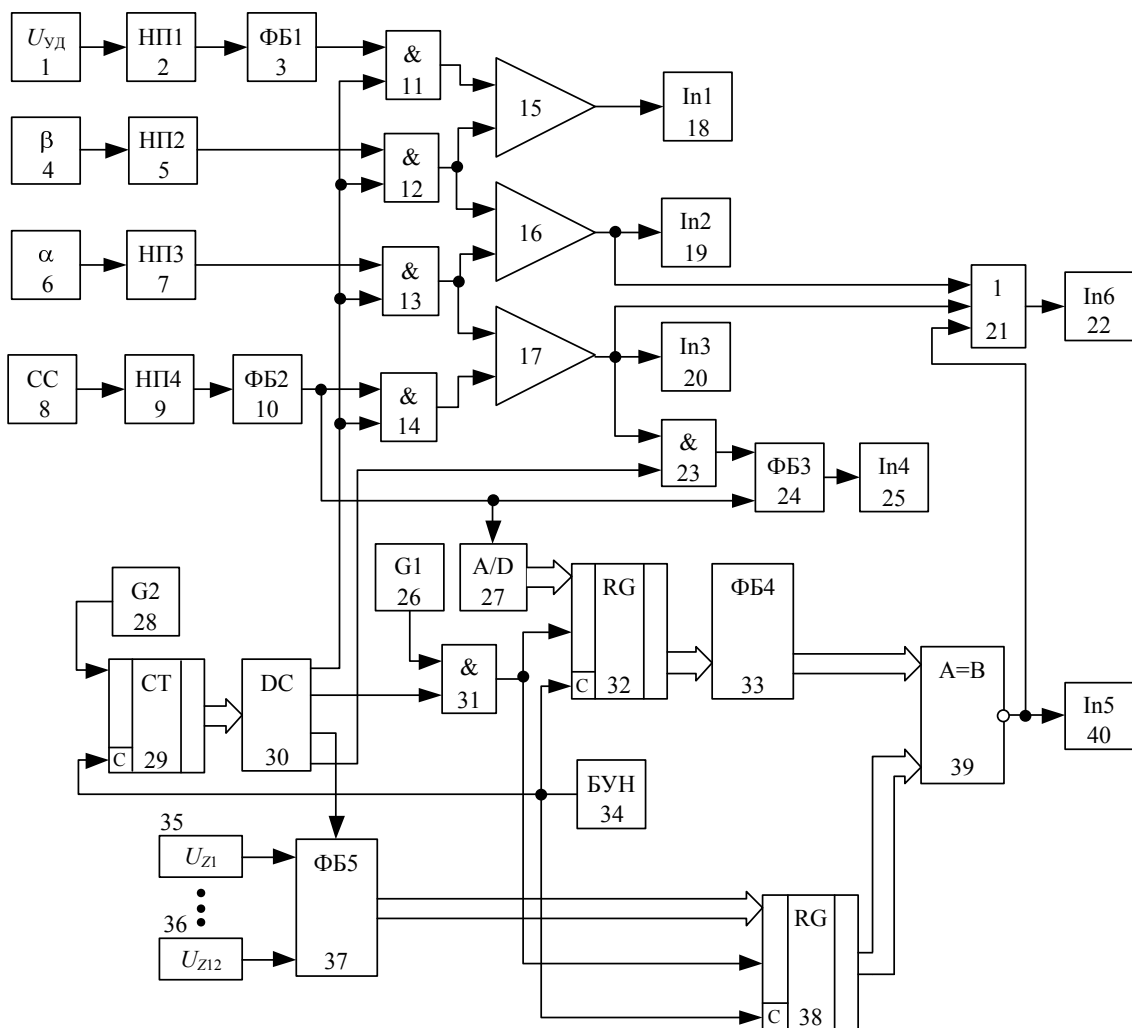


Рисунок 3.11 – Структурна схема системи діагностування прискорювача на базі уточненої математичної моделі на основі струму якоря

На рис. 3.11: 1 – сенсор рівня задаючої напруги $U_{уд}$ електродвигуна управління переміщенням ролика; 2, 5, 7, 9 – відповідно перший

НП1, другий НП2, третій НП3 та четвертий НП4 нормуючі перетворювачі; 3, 10, 24, 33, 37 – відповідно перший ФБ1, другий ФБ2, третій ФБ3, четвертий ФБ4 та п'ятий ФБ5 функціональні блоки; 4 – сенсор кута β повороту вала електродвигуна управління переміщенням ізолоючого ролика; 6 – сенсор кута α повороту ролика; 8 – сенсор струму СС; 11, 12, 13, 14, 23, 31 – відповідно перший, другий, третій, четвертий, п'ятий та шостий логічні елементи І; 15, 16, 17 – відповідно перший, другий та третій компаратори; 18, 19, 20, 22, 25, 40 – відповідно перший In1, другий In2, третій In3, шостий In6, четвертий In6 та п'ятий In5 індикатори; 21 – логічний елемент АБО; 26, 28 – відповідно перший G1 та другий G2 генератори імпульсів; 27 – аналого-цифровий перетворювач А/D; 29 – лічильник імпульсів СТ; 30 – дешифратор DC; 32, 38 – відповідно перший та другий регістри; 34 – блок установки нуля БУН; 35, 36 – відповідно перший U_{z1} – дванадцятий U_{z12} сенсори потенціалів на блок-контактах; 39 – цифровий компаратор з інверсним виходом.

Пристрій працює так. При ввімкненні пристрою блок установки нуля БУН 34 своїм імпульсом забезпечує обнулення лічильника імпульсів СТ 29, першого 32 та другого 38 регістрів. Перший генератор імпульсів G1 26 та другий генератор імпульсів G2 28 за допомогою лічильника імпульсів СТ 29 і дешифратора DC 30 починають формувати тактові сигнали.

Зчитується сигнал із сенсора рівня задаючої напруги $U_{уд}$ електродвигуна управління переміщенням ролика 1, який через перший нормуючий перетворювач НП1 2 подається на перший функціонального блока ФБ1 3, на виході якого формується сигнал, пропорційний заданому куту β' переміщення вала електродвигуна управління переміщенням ролика, а далі – на перший вхід першого логічного елемента І 11.

Одночасно із попередньою операцією відбувається зчитування сигналу з сенсора кута β повороту вала електродвигуна управління переміщенням ролика 4, який через другий нормуючий перетворювач НП2 5 подається на перший вхід другого логічного елемента І 12, зчитування сигналу з сенсора кута α повороту ролика 6, який через третій нормуючий перетворювач НП3 7 подається на перший вхід третього

логічного елемента І 13, а також зчитування сигналу з сенсора струму СС 8, який через четвертий нормуючий перетворювач НП4 9 подається на вхід другого функціонального блока ФБ2 10. Функціональний блок ФБ2 10 забезпечує ідентифікацію за струмом замкнений контактний палець прискорювача. Вихідний сигнал другого функціонального блока ФБ2 10 подається на перший вхід четвертого логічного елемента І 14, на другий вхід третього функціонального блока ФБ3 24 та на вхід аналого-цифрового перетворювача А/D 27, на виході якого формується цифровий сигнал, що відповідає замкненому контактному пальцю, і передається на вхідну цифрову шину першого регістра 32.

Разом з тим відбувається зчитування сигналу з сенсорів потенціалів на блок-контактах 35, 36 (на схемі показано лише два сенсори, а в реальності їх 12), які поступають на відповідні входи п'ятого функціонального блока 37, на виході якого формується цифровий код, що відповідає реальним станам кожного з блок-контактів.

При появі першого тактового сигналу з першого виходу дешифратора ДС 30 відкриваються перший 11, другий 12, третій 13 та четвертий 14 логічні елементи І, що забезпечує передачу сигналів з каналу визначення кута β' переміщення вала електродвигуна управління переміщенням ролика (блоки 1–3) до першого входу першого компаратора 15, з каналу визначення кута β повороту вала електродвигуна управління переміщенням ролика (блоки 4, 5) до другого входу першого компаратора 15 та до першого входу другого компаратора 16, з каналу визначення кута α повороту ролика (блоки 6, 7) до другого входу другого компаратора 16 та до першого входу третього компаратора 17, а також з каналу визначення замкненого контактного пальця (блоки 8–10) до другого входу третього компаратора 17.

Якщо на входах першого компаратора 15 з'являються рівні сигнали, пропорційні кутам β' та β , на виході цього компаратора формується сигнал логічного нуля. За такої умови перший індикатор Іn1 18 не активується. Якщо ж сигнали на входах першого компаратора 15 нерівні, що відповідає $\beta' \neq \beta$, то на його виході формується сигнал логічної одиниці, який активує перший індикатор Іn1 18, що свідчить про неправильне відпрацювання електродвигуном управління прискорювача напруги задання.

Якщо на входах другого компаратора 16 з'являються рівні сигнали, пропорційні кутам β та α , на виході цього компаратора формується сигнал логічного нуля. За такої умови другий індикатор In2 19 не активується. Якщо ж сигнали на входах другого компаратора 16 нерівні, що відповідає $\beta \neq \alpha$, то на його виході формується сигнал логічної одиниці, який активує другий індикатор In2 19, що свідчить про невідповідність положення ролика куту повороту вала електродвигуна управління прискорювача.

Якщо на входах третього компаратора 17 з'являються рівні сигнали, пропорційні куту α та правильному замкненому контактному пальцю відповідно до робочої діаграми прискорювача, на виході цього компаратора формується сигнал логічного нуля. За такої умови третій індикатор In3 20 не активується. Якщо ж сигнали на входах третього компаратора 17 нерівні, то на його виході формується сигнал логічної одиниці, який активує третій індикатор In3 20, що свідчить про неправильну комутацію контактної пальця.

При появі другого тактового сигналу з четвертого виходу дешифратора DC 30 та сигналу про неправильність комутації контактної пальця з виходу третього компаратора 17 через п'ятий логічний елемент I 23 третій функціональний блок ФБ3 24 здійснює ідентифікацію несправного контактної пальця (який «залип» або ж не здійснив комутації) та передає сигнал на четвертий індикатор In4 25.

При подачі третього тактового сигналу з третього виходу дешифратора DC 30 на керуючий вхід п'ятого функціонального блока ФБ5 37 відбувається передача цифрового коду про стан кожного з блок-контактів з п'ятого функціонального блока ФБ5 37 до другого регістра 38.

При подачі четвертого тактового сигналу з другого виходу дешифратора DC 30 через шостий логічний елемент I 31 на керуючий вхід першого регістра 32 в останній записується інформація про замкнений контактний палець з аналого-цифрового перетворювача A/D 27, який далі передається до четвертого функціонального блока ФБ4 33. Також відбувається запис інформації про стан блок-контактів в другий регістр 38. З останнього сигнал передається на другу вхідну цифрову шину цифрового компаратора з інверсним виходом 39.

В четвертому функціональному блоці ФБ4 33 міститься цифровий код, який відповідає замкненим (логічні 1) та розімкненим (логічні 0) станам всіх блок-контактів відповідно до робочої діаграми прискорювача. При надходженні до нього цифрового коду з першого регістра 32 про той чи інший замкнений контактний палець, він здійснює вибірку станів блок-контактів із відповідного рядка таблиці робочої діаграми, яку у вигляді цифрового коду подає на першу вхідну цифрову шину цифрового компаратора з інверсним виходом 39. Якщо цифрові коди ідентичні на входах цифрового компаратора з інверсним виходом 39, на його виході формується сигнал логічного нуля. За такої умови п'ятий індикатор In5 40 не активується. Якщо ж сигнали на входах цифрового компаратора з інверсним виходом 39 нерівні, то на його виході формується сигнал логічної одиниці, який активує п'ятий індикатор In5 40, що свідчить про неправильну комутацію блок-контактів.

Шостий індикатор In6 22 активується за умови, якщо хоча б на одному з входів логічного елемента АБО 21 з'являється сигнал логічної одиниці, що свідчить про несправність функціонування прискорювача трамвая.

ВИСНОВКИ

Основні результати роботи полягають в такому:

1. Здійснено аналіз особливостей функціонування прискорювача в різних режимах.

2. Розроблено математичні моделі функціонування прискорювача:

– з врахуванням стану контактних пальців та блок-контактів;

– з врахуванням кута переміщення ролика;

– на основі струму якоря з подальшим її удосконаленням.

3. Синтезовано структури систем технічної діагностики прискорювача на основі розроблених математичних моделей.

4. Розроблено алгоритми роботи запропонованих структур систем технічної діагностики прискорювача.

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.

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 І. 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.nbu.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. друк. арк. 3,81
Наклад 100 прим. Зам. № 2012-125

Вінницький національний технічний університет,
науково-методичний відділ ВНТУ.
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, к. 2201.
Тел. (0432) 59-87-36.
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) 59-87-38.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК №3516 від 01.07.2009 р.