

ISSN 2221-5190

Кременчуцький національний університет
імені Михайла Остроградського

Інститут електромеханіки, енергозбереження
і систем управління



**ПРОБЛЕМИ
ЕНЕРГОРЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ
В ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ
СИСТЕМАХ
НАУКА, ОСВІТА І ПРАКТИКА**



Випуск 1/2011 (1)

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ,
МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ**

**Кременчуцький національний університет
імені Михайла Остроградського**

**Інститут електромеханіки, енергозбереження
і систем управління**

**ПРОБЛЕМИ
ЕНЕРГОРЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ
В ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ
СИСТЕМАХ
НАУКА, ОСВІТА І ПРАКТИКА**

№ 1/2011 (1)

Кременчук – 2011

ISSN 2221-5190

До збірника увійшли матеріали доповідей, представлених на XIII Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика», яка організована та проведена Інститутом електромеханіки, енергозбереження і систем управління Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського.

Наукове видання представляє результати досліджень і розробок провідних наукових шкіл України та зарубіжжя у наступних галузях знань: електромеханічні системи та автоматизація; енергетика та електропостачання промислових підприємств; енергетичний менеджмент; енергоресурсозбереження; електричні машини і апарати; проблеми аварійності та діагностика в електромеханічних системах та електричних машинах; моделювання та методи оптимізації; інновації в освіті та виробництві, проблематика вищої школи.

Затверджено науково-технічною радою Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського (протокол №27 від 26.04.2011р.)

Програмний комітет конференції:

Загірняк М.В., д.т.н., проф., ректор КНУ імені Михайла Остроградського – голова; Родькін Д.Й., д.т.н., проф.; Сінчук О.М., д.т.н., проф.; Чорний О.П., д.т.н., проф. – заступники голови.

Члени програмного комітету:

Бешта О.С., д.т.н., проф.; Грабко В.В., д.т.н., проф.; Качан Ю.Г., д.т.н., проф.; Кондратенко І.П., д.т.н., проф.; Кузьмін В.В., д.т.н., проф.; Кутін В.М., д.т.н., проф.; Кухарчук В.В., д.т.н., проф.; Мазуренко Л.І., д.т.н., проф.; Нізімов В.Б., д.т.н., проф.; Рашепкін А.П., д.т.н., проф.; Розен В.П., к.т.н., доц.; Праховник А.В., д.т.н., проф.; Садовой О.В., д.т.н., проф.; Сивокобиленко В.Ф., д.т.н., проф.; Сінолиций А.П., д.т.н., проф.; Сенько В.І., д.т.н., проф.; Толочко О.І., д.т.н., проф.; Чермалих В.М., д.т.н., проф.; Юрченко М.М., д.т.н., проф.

Головний редактор:

Загірняк М.В., д.т.н., проф.,
ректор Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського

Заступники головного редактора:

Чорний О.П., д.т.н., проф.; Родькін Д.Й., д.т.н., проф.; Сінчук О.М., д.т.н., проф.

Технічний редактор: асист. Купрій О.О.

e-mail: pees@kdu.edu.ua

Відповідальний за випуск: к.т.н., доц., Гладир А.І. e-mail: gai@kdu.edu.ua

© Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

© Інститут електромеханіки, енергозбереження і систем управління, 2011 р.

ISSN 2221-5190

Адреса редакції: 39600, Кременчук, вул. Першотравнева, 20, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, ІЕЕСУ
Телефон: (05366) 3-11-47. E-mail: pees@kdu.edu.ua

ISSN 2221-5190

Materials of reports, presented on XIII to the International scientific and technical conference of «Problems of energy and resource saving in electrical systems. Science, education and practice. Bulletin.», which is organized and conducted Institute of electromechanics, energy-savings and control system of the Kremenchuk Mykhaylo Ostrogradskiy National University.

Scientific bulletin presents the results of research and development of scientific schools of Ukraine and abroad in the following topics: electromechanical systems and automation, power engineering and manufactures energy supply; energy management; energy and recourses saving; electrical machinery and apparatus; accident problems and diagnostics of electromechanical systems and electric machinery; simulation and optimization methods; innovations in education and production, problems of high school.

It is ratified scientific and technical advice of the Kremenchuk Mykhaylo Ostrogradskiy National University (protocol №27 from 26.04.2011p.)

Program Committee:

Prof. M.V. Zagirnyak, rector of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University – chair, Prof. O.P. Chorny, Prof. D.Y. Rodkin, Prof. O.M. Sinchuk – vice chairs.

Members:

Prof. O.S. Beshta, Prof. V.M. Chermalyh, Prof. V.V. Grabko, Prof. U.H. Kachan, Prof. Kondratenko I.P., Prof. V.V. Kukharchuk, Prof. V.M. Kutin, Prof. V.V. Kuzmin, Prof. L.I. Mazurenko, Prof. A.P. Raschepkin, Dr. V.P. Rozen, Prof. A.V. Prahovnik, Prof. O.V. Sadovoy, Prof. V.F. Sivokobylenko, Prof. A.P. Sinolytsyi, Prof. V.I. Senko, Prof. O.I. Tolochko, Prof. M.M. Yurchenko.

Editor-in-chief:

M. Zagirnyak, Doctor of Sciences (Engineering), Professor,
Rector of Kremenchuk Mykhaylo Ostrogradskiy National University

Deputy editors:

O. Chorniy, Doctor of Sciences (Engineering), Professor; D. Rodkin, Doctor of Sciences (Engineering), Professor; O.Sinchuk, Doctor of Sciences (Engineering), Professor.

Technical editor: O. Kuprii, assistant;

e-mail: pees@kdu.edu.ua

Commissioning editor: A. Gladyr, Ph. D. (Engineering), Associate Professor;

e-mail: gai@kdu.edu.ua

© Kremenchuk Mykhaylo Ostrogradskiy National University

© Institute of Electromechanics, Energy Saving and Control Systems, 2011

ISSN 2221-5190

Office address: Kremenchuk Mykhaylo Ostrogradskiy National University, vul. Pershotravneva, 20,
Kremenchuk, 39600

Tel: +3805366 31147. E-mail: pees@kdu.edu.ua

УДК 656(1-21):681.5+658.58

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ РОБОТИ ПРИСКОРЮВАЧА ТРАМВАЯ

М. П. Розводюк, к.т.н., доц., С. О. Слободянюк, студ.

Вінницький національний технічний університет

Хмельницьке шосе, 95, 21021, м. Вінниця, Україна

E-mail: rozvodyukmp@vntu.edu.ua; rozvodyukmp@mail.ru

Розглядається питання математичного опису роботи прискорювача трамвая КТ-4СУ. Здійснено удосконалення існуючої математичної моделі функціонування трамвая, що дозволило більш об'єктивно описати поведінку прискорювача.

Ключові слова: прискорювач, трамвай.

Вступ. Однією з важливих функціональних систем трамвая КТ-4СУ є його прискорювач типу ОА22. Він являє собою регульований пуско-гальмівний опір, розрахований на максимальну силу струму тягових електродвигунів [1]. Поряд з тим він є одним із ненадійних елементів в роботі електропривода трамвая, як показано в роботі [2]. Тому дослідження цієї функціональної системи трамвая є актуальним.

В роботах [3, 4] вже були намагання здійснити математичний опис функціонування прискорювача трамвая. Однак моделі містять поверхневий характер, що не відображає повної поведінки прискорювача в тій чи іншій ситуації.

Мета роботи. Здійснити уточнення існуючої математичної моделі функціонування трамвая, що дасть змогу більш об'єктивно оцінити роботу прискорювача з метою подальшої розробки структури пристрою для його діагностування.

Матеріал і результати дослідження. Прискорювач (рис. 1) складається з 101-го контактної пальця 1 ($K_1 \div K_{101}$), які з'єднані з секціями опорів 2, барабана 3 з кулачками у вигляді сегментів, який розміщений на валу, поводка 4 з ізолюючим роликом 5, який поступово прижимає контактні пальці 1 до мідного струмознімального кільця 6. Поворот ролика 5 здійснюється за допомогою електродвигуна управління.

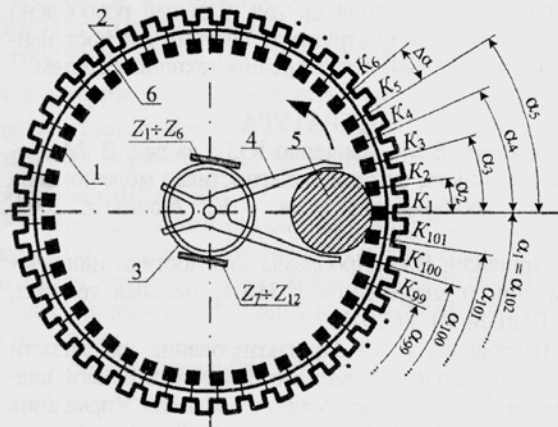


Рисунок 1 – Схема роботи прискорювача

В залежності від позиції (фіксованого положення барабана 3 з поводком 4 й роликом 5 [5]) відбувається комутація відповідного контактної пальця та дванадцяти пар блок контактів $Z_1 \div Z_{12}$. Введемо позначення: K_i – замкнений стан i -го контактної пальця

ця, $\overline{K_i}$ – розімкнений стан i -го контактної пальця ($i = 1, 101$); Z_{ij} – замкнений стан блок-контакту з номером ij , $\overline{Z_{ij}}$ – розімкнений стан блок-контакту з номером ij ($j = 1, 12$).

Діаграма роботи прискорювача подана в табл. 1, в якій "1" відповідає замкнутому стану контактів Z_{ij} , а "0" – розімкнутому.

Таблиця 1 – Діаграма роботи прискорювача

K_i	$Z_{i,j}$											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
3÷5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1
6÷26	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1
27÷47	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1
48÷68	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1
69÷84	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1
85÷95	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1
96	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1
97	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1
98÷99	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
100	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1
101	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1

Положення ізолюючого ролика визначається кутом його повороту α_i , що відповідає контактному пальцю K_i . Кут між двома контактними пальцями відповідно до рис. 1 можна визначити як

$$\Delta\alpha = \frac{360^0}{K_k}, \tag{1}$$

де K_k – кількість контактних пальців ($K_k = 101$);

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

За вихідну позицію прийемо стан, коли ізолюючий ролик 5 здійснює комутацію першого контактної пальця K_1 (рис. 1), що відповідає куту повороту ролика $\alpha_1 = 0^0$. За такої умови кут повороту ролика і стан контактних пальців можна представити як

$$\begin{aligned} \alpha_1 &\Leftrightarrow K_1; \\ \alpha_2 &= \alpha_1 + \Delta\alpha = \Delta\alpha \Leftrightarrow K_2; \\ \alpha_3 &= \alpha_2 + \Delta\alpha = 2\Delta\alpha \Leftrightarrow K_3; \\ &\dots \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha_i &= \alpha_{i-1} + \Delta\alpha = (i-1)\Delta\alpha \Leftrightarrow K_i; \\ \alpha_{100} &= \alpha_{99} + \Delta\alpha = 99\Delta\alpha \Leftrightarrow K_{100}; \\ \alpha_{101} &= \alpha_{100} + \Delta\alpha = 100\Delta\alpha \Leftrightarrow K_{101}; \\ \alpha_{102} &= \alpha_{101} + \Delta\alpha = 101\Delta\alpha = 360^0 \Leftrightarrow K_1. \end{aligned} \quad (2)$$

Як видно з рівнянь (2), положення ізолюючого ролика при замиканні i -го контактної пальця визначається за співвідношенням:

$$\alpha_i = (i-1) \cdot \Delta\alpha. \quad (3)$$

Тоді роботу прискорювача можна представити такими співвідношеннями:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= k_1 \wedge Z_{1,1} \wedge \dots \wedge Z_{1,6} \wedge \overline{Z_{1,7}} \wedge Z_{1,8} \wedge Z_{1,9} \wedge \\ &\wedge Z_{1,10} \wedge \dots \wedge Z_{1,12}, \\ \alpha_2 &= k_2 \wedge Z_{2,1} \wedge \dots \wedge Z_{2,9} \wedge \overline{Z_{2,10}} \wedge \dots \wedge Z_{2,12}, \\ \alpha_3 &= k_3 \wedge Z_{3,1} \wedge \dots \wedge Z_{3,9} \wedge Z_{3,10} \wedge \overline{Z_{3,11}} \wedge \\ &\wedge \dots \wedge Z_{3,12}, \\ \dots \\ \alpha_5 &= k_5 \wedge Z_{5,1} \wedge \dots \wedge Z_{5,9} \wedge \overline{Z_{5,10}} \wedge Z_{5,11} \wedge \\ &\wedge \dots \wedge Z_{5,12}, \\ \alpha_6 &= k_6 \wedge Z_{6,1} \wedge \dots \wedge \overline{Z_{6,5}} \wedge \overline{Z_{6,6}} \wedge Z_{6,7} \wedge \\ &\wedge \dots \wedge Z_{6,9} \wedge Z_{6,10} \wedge \overline{Z_{6,11}} \wedge Z_{6,12}, \\ \dots \\ \alpha_{26} &= k_{26} \wedge Z_{26,1} \wedge \dots \wedge \overline{Z_{26,5}} \wedge \overline{Z_{26,6}} \wedge Z_{26,7} \wedge \\ &\wedge \dots \wedge Z_{26,9} \wedge Z_{26,10} \wedge \overline{Z_{26,11}} \wedge \overline{Z_{26,12}}, \\ \alpha_{27} &= k_{27} \wedge Z_{27,1} \wedge \dots \wedge Z_{27,4} \wedge \overline{Z_{27,5}} \wedge Z_{27,6} \wedge \\ &\wedge Z_{27,7} \wedge \dots \wedge Z_{27,9} \wedge \overline{Z_{27,10}} \wedge \overline{Z_{27,11}} \wedge Z_{27,12}, \\ \dots \\ \alpha_{47} &= k_{47} \wedge Z_{47,1} \wedge \dots \wedge Z_{47,4} \wedge \overline{Z_{47,5}} \wedge \overline{Z_{47,6}} \wedge \\ &\wedge Z_{47,7} \wedge \dots \wedge Z_{47,9} \wedge \overline{Z_{47,10}} \wedge \overline{Z_{47,11}} \wedge \overline{Z_{47,12}}, \\ \alpha_{48} &= k_{48} \wedge Z_{48,1} \wedge \dots \wedge \overline{Z_{48,3}} \wedge \overline{Z_{48,4}} \wedge Z_{48,6} \wedge \\ &\wedge Z_{48,7} \wedge \dots \wedge Z_{48,9} \wedge \overline{Z_{48,10}} \wedge \overline{Z_{48,11}} \wedge Z_{48,12}, \\ \dots \\ \alpha_{68} &= k_{68} \wedge Z_{68,1} \wedge \dots \wedge \overline{Z_{68,3}} \wedge \overline{Z_{68,4}} \wedge \overline{Z_{68,6}} \wedge \\ &\wedge Z_{68,7} \wedge \dots \wedge Z_{68,9} \wedge \overline{Z_{68,10}} \wedge \overline{Z_{68,11}} \wedge \overline{Z_{68,12}}, \\ \alpha_{69} &= k_{69} \wedge Z_{69,1} \wedge \overline{Z_{69,2}} \wedge \overline{Z_{69,3}} \wedge \dots \wedge Z_{69,6} \wedge \\ &\wedge Z_{69,7} \wedge \dots \wedge Z_{69,9} \wedge \overline{Z_{69,10}} \wedge \overline{Z_{69,11}} \wedge Z_{69,12}, \\ \dots \\ \alpha_{84} &= k_{84} \wedge Z_{84,1} \wedge \overline{Z_{84,2}} \wedge \overline{Z_{84,3}} \wedge \dots \wedge Z_{84,6} \wedge \\ &\wedge Z_{84,7} \wedge \dots \wedge Z_{84,9} \wedge \overline{Z_{84,10}} \wedge \overline{Z_{84,11}} \wedge Z_{84,12}, \\ \alpha_{85} &= k_{85} \wedge Z_{85,1} \wedge \overline{Z_{85,2}} \wedge \dots \wedge \overline{Z_{85,6}} \wedge Z_{85,7} \wedge \\ &\wedge \dots \wedge Z_{85,9} \wedge \overline{Z_{85,10}} \wedge \overline{Z_{85,11}} \wedge Z_{85,12}, \\ \dots \\ \alpha_{95} &= k_{94} \wedge Z_{95,1} \wedge \overline{Z_{95,2}} \wedge \dots \wedge \overline{Z_{95,6}} \wedge Z_{95,7} \wedge \\ &\wedge \dots \wedge Z_{95,9} \wedge \overline{Z_{95,10}} \wedge \overline{Z_{95,11}} \wedge \overline{Z_{95,12}}, \\ \alpha_{96} &= k_{96} \wedge Z_{96,1} \wedge \overline{Z_{96,2}} \wedge \dots \wedge \overline{Z_{96,6}} \wedge Z_{96,7} \wedge \\ &\wedge \dots \wedge Z_{96,10} \wedge \overline{Z_{96,11}} \wedge \overline{Z_{96,12}}, \\ \alpha_{97} &= k_{97} \wedge \overline{Z_{97,1}} \wedge \dots \wedge \overline{Z_{97,6}} \wedge Z_{97,7} \wedge \dots \wedge \\ &\wedge Z_{97,10} \wedge \overline{Z_{97,11}} \wedge \overline{Z_{97,12}}, \\ \alpha_{98} &= k_{98} \wedge \overline{Z_{98,1}} \wedge \dots \wedge \overline{Z_{98,6}} \wedge Z_{98,7} \wedge \dots \wedge Z_{98,12}, \\ \alpha_{99} &= k_{99} \wedge \overline{Z_{99,1}} \wedge \dots \wedge \overline{Z_{99,6}} \wedge Z_{99,7} \wedge \dots \wedge Z_{99,12}, \\ \alpha_{100} &= k_{100} \wedge Z_{100,1} \wedge \dots \wedge Z_{100,6} \wedge Z_{100,7} \wedge Z_{100,8} \wedge \\ &\wedge Z_{100,9} \wedge Z_{100,10} \wedge \dots \wedge \overline{Z_{100,12}}, \\ \alpha_{101} &= k_{101} \wedge Z_{101,1} \wedge \dots \wedge Z_{101,6} \wedge Z_{101,7} \wedge Z_{101,8} \wedge \\ &\wedge Z_{101,9} \wedge Z_{101,10} \wedge \dots \wedge Z_{101,12}, \end{aligned} \quad (4)$$

де стан контактних пальців описується рівняннями:

$$\begin{cases} k_1 = \overline{K_1} \wedge \overline{K_2} \wedge \dots \wedge \overline{K_{101}}, \\ k_2 = \overline{K_1} \wedge \overline{K_2} \wedge K_3 \wedge \dots \wedge K_{101}, \\ k_3 = K_1 \wedge \overline{K_2} \wedge K_3 \wedge \overline{K_4} \wedge \dots \wedge K_{101}, \\ \dots \\ k_i = \overline{K_1} \wedge \dots \wedge \overline{K_{i-1}} \wedge K_i \wedge \overline{K_{i+1}} \wedge \dots \wedge K_{101}, \\ \dots \\ k_{100} = \overline{K_1} \wedge \dots \wedge \overline{K_{99}} \wedge K_{100} \wedge \overline{K_{101}}, \\ k_{101} = K_1 \wedge \dots \wedge K_{100} \wedge K_{101}. \end{cases} \quad (5)$$

В рівняннях (4) під пропусками (...) стрічок слід розуміти, що стани блок-контактів $Z_{i,j}$ від попереднього положення ролика до наступного мають таке ж саме значення, що й у попередніх стрічках, а стан контактних пальців характеризується відповідним рівнянням з системи (5), тобто

$$\alpha_i = k_i \wedge z_{i,j}, \quad (6)$$

де $z_{i,j}$ – стан блок-контактів в i -му положенні ролика. Наприклад, для четвертого положення ролика, рівняння, що описує роботу прискорювача, має вигляд:

$$\begin{aligned} \alpha_4 &= k_4 \wedge Z_{4,1} \wedge \dots \wedge Z_{4,9} \wedge \\ &\wedge Z_{4,10} \wedge Z_{4,11} \wedge \dots \wedge Z_{4,12}. \end{aligned} \quad (7)$$

Тобто при положенні ролика з третьої до п'ятої позиції відповідно до (4) стан блок-контактів (замкнений чи розімкнений) залишається незмінним. Змінюється лише індекс i з $i=3$ до $i=5$, а індекс j , який фактично і характеризує стан блок-контактів залишається незмінним.

Отримані співвідношення у вигляді (4) і характеризують всі етапи функціонування прискорювача трамвая.

Висновки. Здійснено удосконалення математичної моделі функціонування прискорювача трамвая, що забезпечує більш точну оцінку поведінки прискорювача. В подальших дослідженнях планується здійснити синтез структури системи діагностування прискорювача на базі отриманої моделі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Техническое описание трамвайного вагона типа КТ4SU. – СКД ПРАНА, 1988.
2. Мокін Б.І., Бурденюк С.І., Гурильова Н.В. Проблеми та перспективи експлуатації засобів міського електротранспорту в функції їх стану // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2000. – № 6. – С. 22 - 25.
3. Мокін Б.І., Розводюк М.П. Математична модель функціонування прискорювача трамвая. – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2003. – С. 140.
4. Мокін Б.І., Розводюк М.П. Математична модель функціонування прискорювача трамвая // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2003. – № 6. – С. 72-76.
5. Иванов М.Д., Алпаткин А.П., Иеропольский Б.К. Устройство и эксплуатация трамвая. – М.: Высшая школа, 1975. – 291 с.