

## УДК 656.25

В. В. МАЛОВІЧКО – к.т.н., доцент, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, malovichko\_vv@mail.ru

Р. В. РИБАЛКА – к.т.н., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, r.v.gybalka@gmail.com

Н. В. МАЛОВІЧКО – асистент, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, natali\_mv@mail.ru

Л. С. ТИМОШЕНКО – асистент, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, lyudmila\_timoshenko\_81@mail.ru

## ПРЕДСТАВЛЕННЯ РОБОТИ СТРІЛОЧНОГО ПЕРЕВОДУ У ВИГЛЯДІ ДИСКРЕТНОГО АВТОМАТУ МОДЕЛІ МУРА

*Статтю представив д. фіз.- мат. н., проф. В. І. Гаврилюк*

На залізничному транспорті України все більшого розвитку набувають системи автоматизації, які використовують в якості елементної бази безконтактну апаратуру. Релейні системи електричної централізації (ЕЦ) та системи автоматизації на перегонах, які експлуатуються на даний час є технічно застарілими і при капітальних ремонтах замінюються новими мікропроцесорними та безконтактними системами. При створенні будь якої нової системи, на етапі проектування бажано перевірити можливість роботи системи в заданих за технічною документацією режимах, можливість відновлення системи при різних типах відмов, взаємодію вузлів системи між собою. Для вирішення подібних задач, серед іншого, використовується математичне моделювання систем, що проектуються, з використанням комп'ютерної техніки. Але такі моделі не дозволяють в повній мірі дослідити кожний вузол системи, тому що математична модель в цьому випадку буде надто складною. Тому з метою дослідження роботи окремих пристроїв автоматизації (рейкового кола, стрілочного переводу, схеми керування світлофором і т.д.), які є частинами більш складних систем, доцільно створювати окремі моделі, які дозволяють імітувати роботу пристрою в різних режимах.

Досить зручним є описання роботи об'єктів залізничної автоматизації за допомогою абстрактних та структурних кінцевих

автоматів, так як автомати дозволяють додати просто реалізувати залежності між сигналами на вході, сигналами на виході та внутрішніми станами пристрою.

Метою роботи є створення математичної моделі роботи стрілочного переводу ввімкненого в систему ЕЦ як кінцевого дискретного автомату.

Стрілки, ввімкнені в ЕЦ, є одним з основних елементів, що забезпечують ефективну роботу станційних пристроїв автоматизації. Схеми керування стрілками відносяться до числа найбільш відповідальних в системах ЕЦ [1].

Останнім часом була створена значна кількість математичних моделей роботи стрілочного двигуна, стрілочного приводу та стрілочного переводу. При цьому різними авторами використовувались різні підходи для вирішення даної задачі. Була розроблена модель роботи стрілочного двигуна в просторі станів [2], та виконана модель роботи стрілочного електроприводу в системі MATLAB+Simulink [3]. Також, застосовуючи нейромережеві технології, була створена модель діагностування стрілочних електродвигунів постійного струму [4]. Але всі ці моделі відображають процеси, які відбуваються при переведенні стрілки, але не моделюють роботу стрілочного переводу як елементу системи ЕЦ, а в багатьох випадках необхідно математично описати саме

роботу стрілочного переводу, як одного із елементів більш складної системи.

В даній роботі пропонується методика створення математичної моделі роботи стрілочного переводу як частини більш складної системи. Для створення зручної та не громіздкої моделі роботи стрілочного переводу як елемента ЕЦ стрілок та сигналів на станції було вирішено представити стрілочний перевід як дискретний автомат [5]. Для створення дискретного автомату необхідно описати входні сигнали, внутрішні стани автомату та вихідні сигнали, тобто виконати кодування станів автомату. В якості входних сигналів для стрілочного переводу приймаються команди на переведення стрілки в одне з крайніх положень. Тобто:  $x_1$  – під струмом реле ПУ, або стрілочна ручка в плюсовому положенні;  $\bar{x}_1$  – реле ПУ без струму, стрілочна ручка в середньому положенні;  $x_2$  – під струмом реле МУ, або стрілочна ручка в мінусовому положенні;  $\bar{x}_2$  – реле МУ без струму, стрілочна ручка в середньому положенні.

За внутрішні стани дискретного автомату прийнято положення стрілки:  $S_0$  – стрілка в положенні «+»;  $S_1$  – стрілка в положенні «-»;  $S_2$  – стрілка в проміжному положенні (рух стрілки з одного крайнього положення в інше);  $S_3$  – невизначений стан, неприпустимий для стрілочного переводу.

Як вихідні величини, в даній математичній моделі використовується контроль крайніх положень стрілочного переводу:  $y$  – є контроль крайнього положення стрілки;  $\bar{y}$  – контроль крайнього положення відсутній.

Для математичного опису роботи стрілочного переводу зважаючи на набір входних та вихідних величин досить зручно скористатись дискретним автоматом системи Мура [5]. Це пов'язано з тим, що у даного автомату для кожного внутрішнього стану функції виходів є визначеними, та не

залежать від входних величин. Далі було створено діаграму станів автомату, що являє собою орієнтований граф [7] (рис. 1) в якому кількість вершин дорівнює кількості станів дискретного автомату [6].

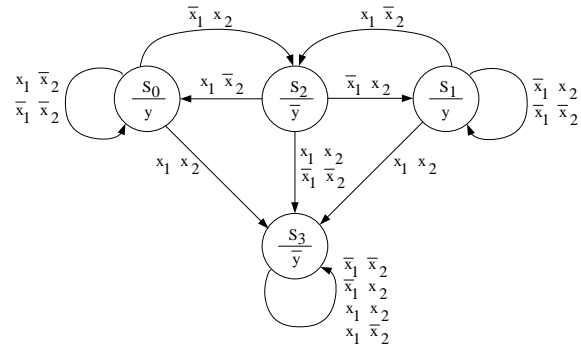


Рис. 1 Орієнтований граф дискретного автомату, що описує роботу стрілочного переводу

Для отримання математичної моделі стрілочного переводу виконується побудова функцій переходів для отриманого направленого графу (табл. 1).

Таблиця 1

Функції переходів дискретного автомату, що описує роботу стрілочного переводу

Стани	Вхідні сигнали			
	00	01	11	10
$S_0$	$S_0$	$S_2$	$S_3$	$S_0$
$S_1$	$S_1$	$S_1$	$S_3$	$S_2$
$S_2$	$S_3$	$S_1$	$S_3$	$S_0$
$S_3$	$S_3$	$S_3$	$S_3$	$S_3$

Також будується окрема таблиця для функцій виходів (табл. 2).

Аналітичний опис автомату передбачає відображення його системою секвенціальних виразів. Секвенціальні вирази, що будуються на базі функцій переходів та виходів для автомату моделі Мура будуть мати наступний вигляд:

$$\begin{aligned}
 \bar{x}_1\bar{x}_2S_0 &\mapsto S_0; \bar{x}_1\bar{x}_2S_2 \mapsto S_3; \\
 \bar{x}_1x_2S_0 &\mapsto S_2; \bar{x}_1x_2S_2 \mapsto S_1; \\
 x_1\bar{x}_2S_0 &\mapsto S_0; x_1\bar{x}_2S_2 \mapsto S_0; \\
 x_1x_2S_0 &\mapsto S_3; x_1x_2S_2 \mapsto S_3; \\
 \bar{x}_1\bar{x}_2S_1 &\mapsto S_1; \bar{x}_1\bar{x}_2S_3 \mapsto S_3 \\
 \bar{x}_1x_2S_1 &\mapsto S_1; \bar{x}_1x_2S_3 \mapsto S_3 \\
 x_1\bar{x}_2S_1 &\mapsto S_2; x_1\bar{x}_2S_3 \mapsto S_3; \\
 x_1x_2S_1 &\mapsto S_3; x_1x_2S_3 \mapsto S_3; \\
 S_0 &\mapsto y; S_1 \mapsto y; S_2 \mapsto \bar{y}; S_3 \mapsto \bar{y}.
 \end{aligned}$$

Таблиця 2

Функції виходів дискретного автомату, що описує роботу стрілочного переводу

Стани	$S_0$	$S_1$	$S_2$	$S_3$
Вихідні сигнали	$y$	$y$	$\bar{y}$	$\bar{y}$

Приведені секвенції є елементарними, так як кожна з них описує лише один перехід (одне ребро графу), або одну функцію таблиці виходів. Для зручності мінімізації доцільно користуватись скороченими секвенціями, перейти до яких можна наступним чином. Всі елементарні секвенції, які прямують до однієї і тієї ж змінної, записуються через знак диз'юнкції і спрямовуються до даної змінної. В результаті такого запису рівняння будуть мати наступний вигляд:

$$\begin{aligned}
 \bar{x}_1\bar{x}_2S_0 \vee x_1\bar{x}_2S_0 \vee x_1\bar{x}_2S_2 &\mapsto S_0; \\
 \bar{x}_1\bar{x}_2S_1 \vee \bar{x}_1x_2S_1 \vee \bar{x}_1x_2S_2 &\mapsto S_1; \\
 \bar{x}_1x_2S_0 \vee x_1\bar{x}_2S_1 &\mapsto S_2; \\
 x_1x_2S_0 \vee x_1x_2S_1 \vee \bar{x}_1\bar{x}_2S_2 \vee x_1x_2S_2 \vee \\
 \vee \bar{x}_1\bar{x}_2S_3 \vee x_1x_2S_3 \vee \bar{x}_1x_2S_3 \vee x_1\bar{x}_2S_3 &\mapsto S_3 \\
 (S_0 \vee S_1) &\mapsto y; (S_2 \vee S_3) \mapsto \bar{y}.
 \end{aligned}$$

З метою отримання найбільш простих виразів скорочені секвенції мінімізують, використовуючи закони та тотожності алгебри

логіки. Отримані після мінімізації скорочені секвенції виглядають наступним чином:

$$\begin{aligned}
 \bar{x}_2S_0 \vee x_1\bar{x}_2S_2 &\mapsto S_0; \bar{x}_1S_1 \vee \bar{x}_1x_2S_2 \mapsto S_1; \\
 \bar{x}_1x_2S_0 \vee x_1\bar{x}_2S_1 &\mapsto S_2; \\
 S_3 \vee \bar{x}_1\bar{x}_2S_2 \vee x_1x_2(S_0 \vee S_1 \vee S_2) &\mapsto S_3; \\
 (S_0 \vee S_1) &\mapsto y; (S_2 \vee S_3) \mapsto \bar{y}.
 \end{aligned}$$

Отримані мінімізовані секвенціальні рівняння, побудовані на базі функцій переходів та виходів і представляють собою абстрактний дискретний автомат моделі Мура, що описує роботу стрілки, ввімкненої в ЕЦ. Для побудови на базі секвенціального опису структури автомату, необхідна наявність двох блоків: блока реєстрації переходів, який описує стан автомату і блока реалізації функцій виходу [5]. При реалізації переходів, необхідно використовувати в якості перемикаючих сигналів тригерні схеми, які виконують роль елементів пам'яті. Так як у даного автомату чотири внутрішніх стани, то для побудови елементів пам'яті використовуються два тригери RS типу. Для зменшення необхідного об'єму пам'яті, зручно будь-якому стану автомату поставити у відповідність одну з можливих комбінацій станів тригерних схем (табл. 3).

Таблиця 3

Комбінації стану тригерних схем

Стан автомату	Стан тригерних схем	
	$Q_1$	$Q_2$
$S_0$	0	0
$S_1$	0	1
$S_2$	1	0
$S_3$	1	1

Для реалізації відповідності між станом автомату і тригерними схемами складається таблиця функцій збудження для кожного тригера (табл. 4).

Таблиця 4

Таблиця функцій збудження RS-тригерів

Стан автомату				Функції збудження тригерів			
$S_3$	$S_2$	$S_1$	$S_0$	$S_1$	$R_1$	$S_2$	$R_2$
0	0	0	0	-	-	-	-
0	0	0	1	0	1	0	1
0	0	1	0	0	1	1	0
0	0	1	1	-	-	-	-
0	1	0	0	1	0	0	1
0	1	0	1	-	-	-	-
0	1	1	0	-	-	-	-
0	1	1	1	-	-	-	-
1	0	0	0	1	0	1	0
1	0	0	1	-	-	-	-
1	0	1	0	-	-	-	-
1	0	1	1	-	-	-	-
1	1	0	0	-	-	-	-
1	1	0	1	-	-	-	-
1	1	1	0	-	-	-	-
1	1	1	1	-	-	-	-

Враховуючи неможливість одночасного знаходження автомату в двох станах, в незаповнені клітинки таблиці ставиться символ «X». Даний символ означає неможливість прийняття функцією збудження на даному наборі аргументів як нульового так і одиничного значення. Тобто функція алгебри логіки має на даному наборі невизна-

чений стан. Для мінімізації функцій збудження кожного тригеру використовується метод карт Карно (рис. 2).

По результатам мінімізації функцій збудження тригерів та секвенціальних рівнянь можна при необхідності побудувати структурну схему дискретного автомату моделі Мура.

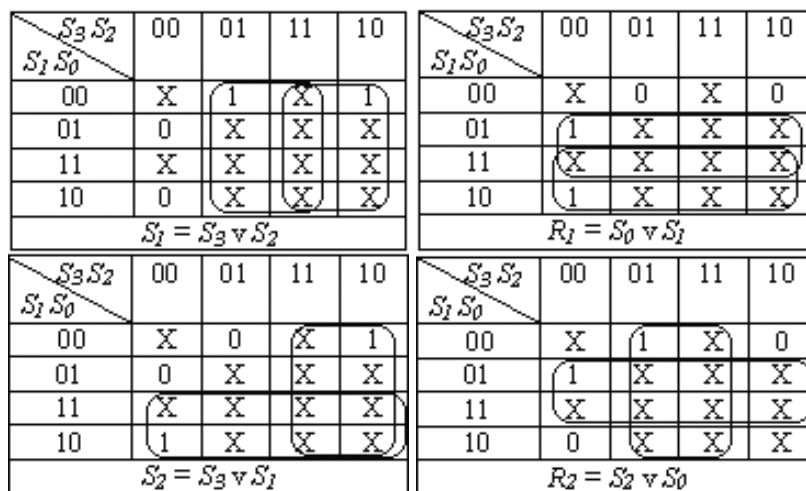


Рис. 2 Мінімізація функцій збудження тригерів за допомогою карт Карно

В результаті створення математичної моделі роботи стрілочного переводу як елементу станційної автоматики з'являється можливість дослідження роботи стрілки, як частини більш складної системи (ЕЦ стрілок та сигналів), що дозволяє імітувати роботу пристрою в різних режимах.

Використовуючи абстрактний дискретний автомат з'являється можливість виконати моделювання роботи стрілки за допомогою обчислювальної техніки. А використовуючи структурний синтез, можна створити фізичну схему на базі безконтактних логічних елементів та тригерних схем, яка дозволить імітувати роботу стрілочного переводу в системі ЕЦ.

Використовуючи запропоновані математичні моделі роботи стрілочного переводу у вигляді дискретного автомату системи Мура з'являється можливість створення як окремої математичної моделі роботи стрілки, так і застосування даної моделі в якості вузла більш складної математичної моделі роботи ЕЦ. В залежності від поставлених вимог, змінюючи вхідні величини, внутрішні стани та вихідні величини можна суттєво змінювати процеси, що відображаються математичною моделлю роботи стрілочного переводу. В якості вхідних величин є можливість використати стан контрольних ламп на табло, як додатковий внутрішній стан – взріз стрілки, а вихідною величиною прийняти вмикання в роботу стрілочного двигуна. Зі зміною цих величин зміниться структура моделі, але її розробку можна виконати користуючись наведеною вище методикою, за якою створювалась приведена математична модель.

#### Бібліографічний список

1. Сапожников, Вл. В. Станционные системы автоматики и телемеханики [Текст]: учеб. для вузов ж.-д. трансп. / Вл. В. Сапожников, Б. Н. Елкин, И. М. Кокурин и др. – М.: Транспорт, 1997. – 432 с.
2. Буряк, С. Ю. Використання простору станів для створення моделі стрілочного двигуна постійного струму [Текст] /

- С. Ю. Буряк, В. В. Маловічко, Р. В. Рибалка // Збірник наукових праць. Донецький інститут залізничного транспорту Української державної академії залізничного транспорту. – 2012. – Вип. 29. – с. 19-23.
3. Буряк, С. Ю. Математичне моделювання стрілочного електропривода [Текст] / Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2010. Вип. 34. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2010. – с. 172-175.
4. Скалозуб, В. В. Нейросетевые модели диагностики электродвигателей постоянного тока [Текст] / В. В. Скалозуб, О. М. Швец // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2009. – №4. – с. 7-11.
5. Сапожников, В. В. Теория дискретных устройств железнодорожной автоматики, телемеханики и связи : учеб. для вузов ж.-д. трансп [Текст] / В. В. Сапожников, Ю. А. Кравцов, Вл. В. Сапожникова // Под ред. В. В. Сапожников, 2-е изд., перераб. и доп. – М.: УМК МПС России – 2001. – с. 312.
6. Тишин, В. В. Дискретная математика в примерах и задачах [Текст] – Спб.: БХВ-Петербург. – 2008. – с. 352.
7. Кирсанов, М. Н. Графы в MAPLE. Задачи, алгоритмы, программы [Текст] – М.: Издательство ФИЗМАТЛИТ. – 2007. – с. 168.

**Ключові слова:** стрілочний перевід, математична модель, дискретний автомат, направлений граф, секвенціальні вирази.

**Ключевые слова:** стрелочный перевод, математическая модель, дискретный автомат, направленный граф, секвенциальные выражения.

**Keywords:** railroad switch, mathematical model, discrete automaton, oriented graph, sequential expressions.

Надійшла до редколегії 18.10.2013