

УДК 656.25

В. В. МАЛОВІЧКО – к.т.н., доцент, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, vladimir_35@ukr.net

Н. В. МАЛОВІЧКО – асистент, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, natali_mv@i.ua

**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РОБОТИ ЧОТИРЬОХЗНАЧНОГО
СТАНЦІЙНОГО ВИХІДНОГО СВІТЛОФОРА У ВИГЛЯДІ
ДИСКРЕТНОГО АВТОМАТУ МОДЕЛІ МУРА**

Вступ

Релейні системи електричної централізації, якими обладнано більшість станцій в Україні, не забезпечують реалізацію сучасних інформаційних технологій таких як дистанційна діагностика, обмін даними з автоматизованими системами верхніх рівнів і т.д.. Електрична централізація (ЕЦ) стрілок та сигналів, базується на релейній техніці, яка має значні габарити, матеріалоемність, енергоспоживання та потребує істотних експлуатаційних витрат. Незважаючи на всі заходи щодо запобігання виходу з ладу пристроїв автоматики та порушення умов роботи систем електричної централізації, кількість відмов пристроїв автоматики на станції практично не зменшується. Однак масове впровадження мікропроцесорної централізації (МПЦ) на залізничному транспорті стримується проблемою гарантування безпеки її використання, яка впливає із неочевидності безпечної поведінки мікроелектронних елементів та програмного забезпечення.

При використанні будь якої нової системи, на етапі проектування та впровадження необхідно перевірити можливість роботи системи в заданих за технічною документацією режимах, можливість відновлення системи при різних типах відмов, взаємодію вузлів системи між собою та правильність функціонування програмного забезпечення. Крім цього також бажано перевірити працездатність системи при вини-

кненні не типових відмов та її поведінку при комбінаціях різних відмов та різних поїзних ситуаціях. Для вирішення подібних задач, досить часто використовується математичне моделювання систем, що проектується, з використанням комп'ютерної техніки. Недоліком таких моделей є те, що вони допускають досить багато спрощень що не дозволяє повною мірою дослідити роботу кожного вузла системи. Якщо будувати математичну модель з максимально можливим рівнем опису, то вона буде надто складною і її реалізація за допомогою комп'ютерної техніки значно ускладнюється. Тому для дослідження роботи системи електричної централізації стрілок та сигналів на станції, доцільно створювати окремі математичні моделі для кожного з напільних пристроїв окремо, які дозволять імітувати роботу пристроїв в різних режимах та їх взаємодію з системою в цілому. В зв'язку з цим, робота по створенню математичної моделі роботи станційного вхідного світлофора поєднаного з маневровим є актуальною.

В даній роботі створюється математична модель роботи напільного об'єкта залізничної автоматики за допомогою абстрактного та структурного скінченного автомату, так як це дозволяє досить просто реалізувати залежності між сигналами на вході, сигналами на виході та внутрішніми станами пристрою робота якого описується розробленою моделлю.

Метою роботи є створення математичної моделі роботи чотирьохзначного вихідного станційного світлофора, як скінченного дискретного автомату.

Створення математичної моделі чотирьохзначного вихідного світлофору

Перехід на нову елементну базу станційних систем призводить до підвищення надійності їх роботи, кращого контролю роботи як самої системи так і обслуговуючого персоналу, більш простого обігу документів та ведення електронних журналів, поглибленого контролю стану об'єктів централізації та ін. Але в той же час використання систем Мікропроцесорного типу викликає необхідність застосовувати нові заходи для підвищення надійності роботи систем та потребує використання нових шляхів підвищення безпеки їх функціонування [1]. Однією з проблем які виникають при використанні мікропроцесорних ЕЦ є необхідність перевірки роботи системи в граничних режимах роботи та при виході з ладу напільних пристроїв ЕЦ. Необхідно перевіряти реакцію системи на відмови напільних пристроїв, які досить часто виникають на залізничному транспорті, з їх прив'язкою до поїзної ситуації [2]. При цьому таку перевірку необхідно виконувати до впровадження системи в експлуатацію щоб виключити можливість виникнення аварійних ситуацій. В системі МПЦ-У, яка на даний час впроваджується на залізничних станціях, таку перевірку виконують за допомогою технічних засобів комплексної перевірки функціонування які імітують роботу напільних пристроїв безпосередньо перед запуском системи [3]. В інших системах мікропроцесорної централізації така перевірка в основному виконується за допомогою засобів відтворення роботи пристроїв нижнього рівня на етапі створення системи. Але в усіх системах МПЦ переви-

рка робота колійних пристроїв імітується або простою комутацією необхідних електричних кіл, або підключенням окремих реальних об'єктів. При цьому питання створення математичних моделей окремих напільних об'єктів не розглядається, а тільки виконується імітація їх роботи, що значно звужує можливості перевірки працездатності систем МПЦ. Тому розробка математичних моделей станційних напільних пристроїв є важливою та актуальною задачею.

Пристроями, для яких необхідно створити математичні моделі їх функціонування для підвищення надійності роботи системи МПЦ є стрілочні переводи, рейкові кола та станційні світлофори, так як від правильної роботи даних пристроїв в основному залежить безпека всієї системи [4].

Для стрілки електричної централізації створювалась значна кількість різних математичних моделей. В основному математичні моделі створювались тільки для стрілочного двигуна, а з математичних моделей стрілочного перевodu слід відзначити модель з застосуванням нейромережевих технологій [5], так як вона досить точно імітує роботу стрілочного перевodu саме під час експлуатації. Але всі ці моделі відображають процеси, які відбуваються в середині самого об'єкту, але не моделюють роботу стрілочного перевodu як елементу системи ЕЦ. У випадку перевірки функціонування мікропроцесорної системи ЕЦ необхідно математично описати роботу об'єкту саме як одного із елементів більш складної системи для перевірки всіх взаємозв'язків між об'єктом та системою.

Найефективніше для вирішення цієї задачі можна використати модель стрілочного перевodu у вигляді дискретного автомату моделі Мура [6], так як в ній за допомогою вибору вхідних та вихідних величин легко реалізувати зв'язок стрілки з системою ЕЦ.

Модель функціонування вихідного світлофору з трьома сигнальними показання-

ми без суміщення з маневровим сигналом розроблена у вигляді дискретного автомату моделі Мура у попередній роботі авторів [7]. В даній роботі наведено розробку моделі вихідного світлофору з чотирма сигнальними показаннями, тобто світлофор поєднує в собі і поїзний і маневровий сигнал. При цьому модель виконана у вигляді скінченного дискретного автомату з таких самих міркувань, як і для моделі стрілочного переводу та трьохзначного світлофора.

На вихідному світлофорі в залежності від типу станції, типу системи інтервального регулювання на перегоні та колійного розвитку може бути різна кількість сигнальних показань [8]. На двоколієних лініях, як правило, виникає необхідність в маневровій сигналізації і маршрутизації всіх пересувань на станції, оскільки на виконання маневрів залишаються лише короткі проміжки часу, вільні від руху потягів. У таких умовах виконання маневрів з місцевим керуванням стрілками і без маневрових вогнів на світлофорах може несприятливо позначитися на пропускній спроможності станції. На таких станціях вихідні світлофори поєднують з маневровими, тобто окрім жовтого, зеленого і червоного вогнів є ще і місячно-білий вогонь.

Для пояснення роботи даного вихідного сигналу приведемо спрощену схему керування вогнями світлофору (рис. 1). В даній схемі задіяні два основні сигнальні реле: поїзне С і маневрове МС. Також є додаткове сигнальне реле ЛС, для вибору зеленого або жовтого вогню світлофора, в залежності від стану ділянок віддалення [9].

Для розробки дискретного автомату виконаємо кодування внутрішніх станів, вхідних та вихідних сигналів (табл.1).

На етапі побудови спрямованого графа, використовуємо представлення автомата

моделлю Мура, оскільки вихідний сигнал повністю визначається внутрішнім станом автомата і не залежить від комбінації сигналів на вході (рис.2).

При графічному представленні, автомат що описує роботу світлофора, має вершини (S_0, S_1, S_2, S_3), які є станами автомата, і ребра – комбінації вхідних сигналів ($x_1, x_2, x_3, x_4, \bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, \bar{x}_4$). Кожному стану автомата відповідає вихідний сигнал (y, \bar{y}). Певні комбінації вхідних сигналів викликають перехід автомата з одного стану в інший, що відповідно веде до зміни вихідного сигналу. В якості вихідного стану S_0 прийнято сигнальне показання з червоним вогнем світлофора, так як при відсутності встановлених маршрутів вихідні світлофори повинні бути закриті.

Всю інформацію функцій переходів (табл.2) і функцій виходів (табл.3), для отриманого спрямованого графа, зводимо в таблиці. На перетині рядків і стовпців автоматних таблиць вказуються внутрішні стани, в які переходить автомат під дією вхідних сигналів і вихідні сигнали, які він при цьому створює [10].

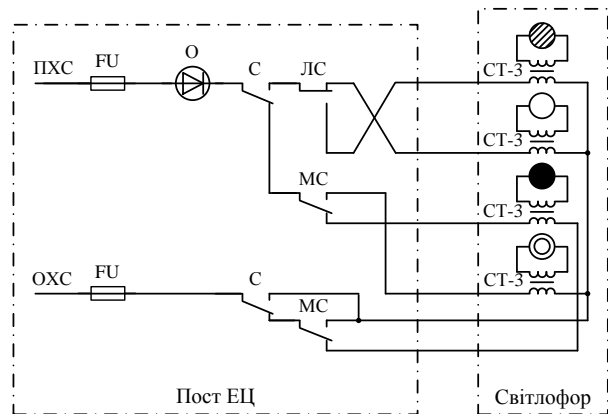


Рис.1. Схема включення вогнів вихідного світлофора поєднаного з маневровим

Таблиця 1

Вхідні сигнали	
x_1 – натиснута кнопка відкриття світлофору; \bar{x}_1 – кнопка відкриття світлофору не натиснута;	При завданні маршруту ДСП переводить стрілки в необхідне положення і натискає кнопку керування світлофором. Після перевірки виконання умов безпеки спрацьовує сигнальне реле, світлофор перемикається на дозволяюче сигнальне показання.
x_2 – друга ділянка віддалення вільна, реле ЛС під струмом; \bar{x}_2 – друга ділянка віддалення зайнята, реле ЛС без струму;	Реле ЛС контролює вільність двох блоків ділянок віддалення, тому коли ЛС знеструмлене, реле С комутує ланцюг лампи жовтого вогню, а коли ЛС під струмом – ланцюг лампи зеленого вогню (рис. 1).
x_3 – поїзд у повному складі прослідував світлофор; \bar{x}_3 – поїзд не прослідував світлофор;	Момент закриття світлофора залежить від маршруту, що реалізовується. Якщо заданий поїзний маршрут, то світлофор закривається при вступі потягу на першу секцію маршруту. При реалізації маневрового маршруту, закриття світлофора на забороняюче показання відбувається при звільненні ділянки наближення.
x_4 – задається маневровий маршрут; \bar{x}_4 – задається поїзний маршрут;	Маршрутний набір передбачає завдання маршруту натисненням на пульті управління початкової і кінцевої кнопок. При цьому визначається початок маршруту, його вид (поїзний або маневровий) і напрям. Далі визначається траса маршруту, а після натиснення кінцевої кнопки – кінець маршруту.
Вихідні сигнали	
y – світлофор відкритий;	В даний момент світлофор включений на дозволяюче показання (зелений, жовтий, місячно-білий).
\bar{y} – світлофор закритий;	В даний момент світлофор включений на червоне показання.
Внутрішні стани	
S_0 – на світлофорі сигнальне показання червоний вогонь; S_1 – на світлофорі сигнальне показання жовтий вогонь; S_2 – на світлофорі сигнальне показання зелений вогонь; S_3 – на світлофорі сигнальне показання місячно-білий вогонь.	

	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
1	0	0	0	0
2	0	0	0	1
3	0	0	1	0
4	0	0	1	1
5	0	1	0	0
6	0	1	0	1
7	0	1	1	0
8	0	1	1	1
9	1	0	0	0
10	1	0	0	1
11	1	0	1	0
12	1	0	1	1
13	1	1	0	0
14	1	1	0	1
15	1	1	1	0
16	1	1	1	1

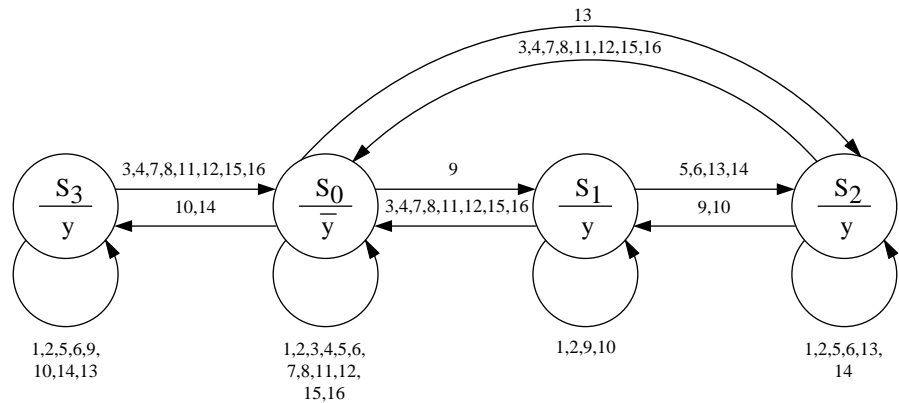


Рис. 2. Спрямований граф дискретного автомату що описує роботу вихідного світлофору поєднаного з маневровим.

Таблиця 2

Стани	Вхідні сигнали															
	0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1000	1001	1010	1011	1100	1101	1110	1111
S ₀	S ₀	S ₀	S ₀	S ₀	S ₀	S ₀	S ₀	S ₀	S ₁	S ₃	S ₀	S ₀	S ₂	S ₃	S ₀	S ₀
S ₁	S ₁	S ₁	S ₀	S ₀	S ₂	S ₂	S ₀	S ₀	S ₁	S ₁	S ₀	S ₀	S ₂	S ₂	S ₀	S ₀
S ₂	S ₂	S ₂	S ₀	S ₀	S ₂	S ₂	S ₀	S ₀	S ₁	S ₁	S ₀	S ₀	S ₂	S ₂	S ₀	S ₀
S ₃	S ₃	S ₃	S ₀	S ₀	S ₃	S ₃	S ₀	S ₀	S ₃	S ₃	S ₀	S ₀	S ₃	S ₃	S ₀	S ₀

Таблиця 3

Стани	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
Вихідні сигнали	\bar{y}	y	y	y

Приводимо аналітичний опис автомата системою секвенціальних рівнянь, отриманих на підставі графа. Кожна з елементарних секвенцій описує лише одну клітинку таблиці.

$$\begin{aligned}
 &\bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3\bar{x}_4S_0 \mapsto S_0; \bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3\bar{x}_4S_2 \mapsto S_2; \\
 &\bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3x_4S_0 \mapsto S_0; \bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3x_4S_2 \mapsto S_2; \\
 &\bar{x}_1\bar{x}_2x_3\bar{x}_4S_0 \mapsto S_0; \bar{x}_1\bar{x}_2x_3\bar{x}_4S_2 \mapsto S_0; \\
 &\bar{x}_1\bar{x}_2x_3x_4S_0 \mapsto S_0; \bar{x}_1\bar{x}_2x_3x_4S_2 \mapsto S_0; \\
 &\bar{x}_1x_2\bar{x}_3\bar{x}_4S_0 \mapsto S_0; \bar{x}_1x_2\bar{x}_3\bar{x}_4S_2 \mapsto S_2; \\
 &\bar{x}_1x_2\bar{x}_3x_4S_0 \mapsto S_0; \bar{x}_1x_2\bar{x}_3x_4S_2 \mapsto S_2; \\
 &\bar{x}_1x_2x_3\bar{x}_4S_0 \mapsto S_0; \bar{x}_1x_2x_3\bar{x}_4S_2 \mapsto S_0; \\
 &\bar{x}_1x_2x_3x_4S_0 \mapsto S_0; \bar{x}_1x_2x_3x_4S_2 \mapsto S_0; \\
 &x_1\bar{x}_2\bar{x}_3\bar{x}_4S_0 \mapsto S_1; x_1\bar{x}_2\bar{x}_3\bar{x}_4S_2 \mapsto S_1;
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &x_1\bar{x}_2\bar{x}_3x_4S_0 \mapsto S_3; x_1\bar{x}_2\bar{x}_3x_4S_2 \mapsto S_1; \\
 &x_1\bar{x}_2x_3\bar{x}_4S_0 \mapsto S_0; x_1\bar{x}_2x_3\bar{x}_4S_2 \mapsto S_0; \\
 &x_1\bar{x}_2x_3x_4S_0 \mapsto S_0; x_1\bar{x}_2x_3x_4S_2 \mapsto S_0; \\
 &x_1x_2\bar{x}_3\bar{x}_4S_0 \mapsto S_2; x_1x_2\bar{x}_3\bar{x}_4S_2 \mapsto S_2; \\
 &x_1x_2\bar{x}_3x_4S_0 \mapsto S_3; x_1x_2\bar{x}_3x_4S_2 \mapsto S_2; \\
 &x_1x_2x_3\bar{x}_4S_0 \mapsto S_0; x_1x_2x_3\bar{x}_4S_2 \mapsto S_0; \\
 &x_1x_2x_3x_4S_0 \mapsto S_0; x_1x_2x_3x_4S_2 \mapsto S_0; \\
 &\bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3\bar{x}_4S_1 \mapsto S_1; \bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3\bar{x}_4S_3 \mapsto S_3; \\
 &\bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3x_4S_1 \mapsto S_1; \bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3x_4S_3 \mapsto S_3; \\
 &\bar{x}_1\bar{x}_2x_3\bar{x}_4S_1 \mapsto S_0; \bar{x}_1\bar{x}_2x_3\bar{x}_4S_3 \mapsto S_0; \\
 &\bar{x}_1\bar{x}_2x_3x_4S_1 \mapsto S_0; \bar{x}_1\bar{x}_2x_3x_4S_3 \mapsto S_0; \\
 &\bar{x}_1x_2\bar{x}_3\bar{x}_4S_1 \mapsto S_2; \bar{x}_1x_2\bar{x}_3\bar{x}_4S_3 \mapsto S_3; \\
 &\bar{x}_1x_2\bar{x}_3x_4S_1 \mapsto S_2; \bar{x}_1x_2\bar{x}_3x_4S_3 \mapsto S_3;
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{x}_1 x_2 x_3 \bar{x}_4 S_1 &\mapsto S_0; \bar{x}_1 x_2 x_3 \bar{x}_4 S_3 \mapsto S_0; \\ \bar{x}_1 x_2 x_3 x_4 S_1 &\mapsto S_0; \bar{x}_1 x_2 x_3 x_4 S_3 \mapsto S_0; \\ x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \bar{x}_4 S_1 &\mapsto S_1; x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \bar{x}_4 S_3 \mapsto S_3; \\ x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 x_4 S_1 &\mapsto S_1; x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 x_4 S_3 \mapsto S_3; \\ x_1 \bar{x}_2 x_3 \bar{x}_4 S_1 &\mapsto S_0; x_1 \bar{x}_2 x_3 \bar{x}_4 S_3 \mapsto S_0; \\ x_1 \bar{x}_2 x_3 x_4 S_1 &\mapsto S_0; x_1 \bar{x}_2 x_3 x_4 S_3 \mapsto S_0; \\ x_1 x_2 \bar{x}_3 \bar{x}_4 S_1 &\mapsto S_2; x_1 x_2 \bar{x}_3 \bar{x}_4 S_3 \mapsto S_3; \\ x_1 x_2 \bar{x}_3 x_4 S_1 &\mapsto S_2; x_1 x_2 \bar{x}_3 x_4 S_3 \mapsto S_3; \\ x_1 x_2 x_3 \bar{x}_4 S_1 &\mapsto S_0; x_1 x_2 x_3 \bar{x}_4 S_3 \mapsto S_0; \\ x_1 x_2 x_3 x_4 S_1 &\mapsto S_0; x_1 x_2 x_3 x_4 S_3 \mapsto S_0; \end{aligned}$$

Далі елементарні секвенції потрібно об'єднати і скоротити. Для цього кожену секвенцію, яка прямує до однієї і тієї ж змінної, записуємо через знак диз'юнкції і спрямовуємо до даної змінної.

Використовуючи закони та тотожності алгебри логіки, проводимо мінімізацію секвенційних рівнянь. Після мінімізації рівняння приймають такий вигляд:

$$\begin{aligned} (\bar{x}_1 \vee x_3) S_0 \vee x_3 (S_1 \vee S_2 \vee S_3) &\mapsto S_0; \\ x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 x_4 S_0 \vee \bar{x}_2 \bar{x}_3 S_1 \vee x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 S_2 &\mapsto S_1; \\ x_1 x_2 \bar{x}_3 \bar{x}_4 S_0 \vee x_2 \bar{x}_3 S_1 \vee S_2 \bar{x}_3 (\bar{x}_1 \vee x_2) &\mapsto S_2; \\ x_1 \bar{x}_3 x_4 S_0 \vee \bar{x}_3 S_3 &\mapsto S_3. \\ (S_1 \vee S_2 \vee S_3) &\mapsto y; \quad S_0 \mapsto \bar{y}. \end{aligned}$$

Дані мінімізовані секвенціальні рівняння представляють собою абстрактний дискретний автомат моделі Мура, що описує роботу вихідного світлофора з чотирма сигнальними показаннями. Щоб побудувати, на базі приведених рівнянь структурну схему автомату, необхідно реалізувати також блок елементів пам'яті, для того щоб автомат в роботі враховував свій попередній стан [11]. Зважаючи на те, що у даного автомату чотири внутрішніх стани, для побудови елементів пам'яті використаємо два тригери RS типу. Реалізація блоку пам'яті можлива на тригерах будь якого типу, складність схеми автомату при цьому практично не змінюється.

Для зменшення необхідного об'єму пам'яті, для кожного стану автомату поста-

вимо у відповідність одну з можливих комбінацій станів тригерних схем (табл. 4):

Таблиця 4

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

Щоб виконати реалізацію відповідності між тригерними схемами та станом автомату складаємо таблицю функцій збудження для кожного тригера (табл. 5).

Таблиця 5

Стани 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	-	-	-	-

Для рядків таблиці в яких схема має не визначений стан не записуються значення 0 та 1 і в подальшій роботі по створенню автомату вони можуть враховуватись з тим значенням, яке зручніше використати для

більш ефективною подальшою мінімізацією. Для мінімізації функцій збудження кожного триггеру скористаємось методом карт Карно (рис.3). Для невизначених станів в клітинки карт Карно ставиться символ «X».

Для даного світлофору по результатам мінімізації функцій збудження тригерів та на базі секвенціальних рівнянь, будемо дискретний автомат моделі Мура у вигляді структурної схеми на безконтактних елементах (рис.4).

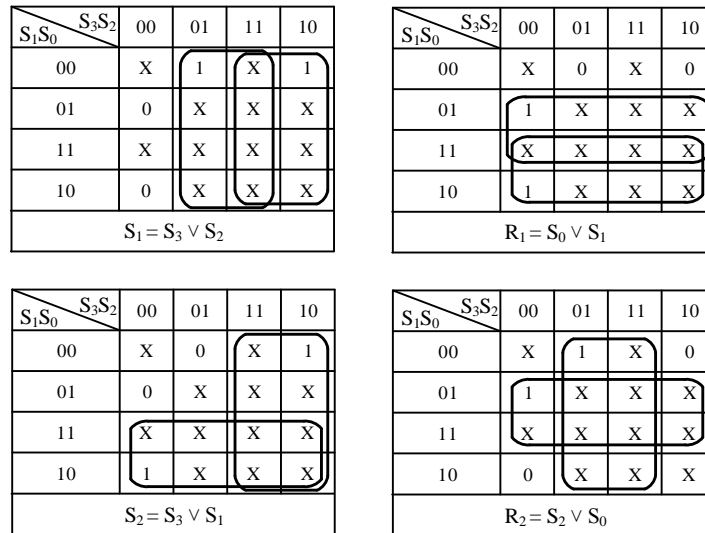


Рис.3.Мінімізація функцій збудження тригерів за допомогою карт Карно.

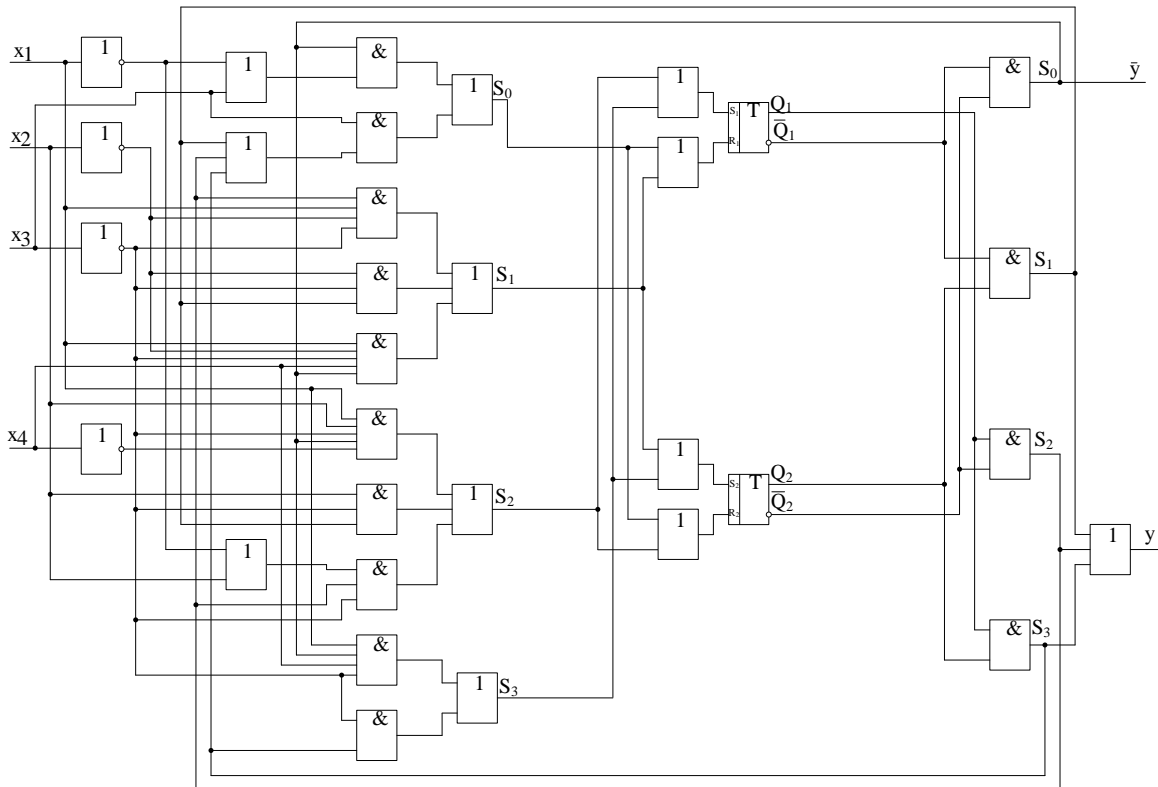


Рис.4. Структурна схема дискретного автомату вихідного світлофору поєднаного з маневровим.

Отримана структурна схема, що дозволяє реалізувати математичну модель функціонування вихідного світлофора з чотирма сигнальними показаннями може бути використана як елемент перевірки системи МПЦ на адекватність функціонування в основних режимах роботи при завданні поїзних та маневрових маршрутів. Тобто реалізація даної моделі на приведеній схемі та підключення її до системи МПЦ під час запуску в експлуатацію, дозволить перевірити правильність функціонування системи при різних поїзних ситуаціях. Використання абстрактного дискретного автомату дає можливість виконати моделювання роботи вихідного сигналу за допомогою обчислювальної техніки, без фізичної реалізації структурної схеми [12].

Висновки

Створення моделей напільних пристроїв у вигляді дискретних автоматів є пріоритетним завданням при перевірці МПЦ, так як завдяки легкості завдання необхідних величин, відносно простим розрахункам, лаконічній і не громіздкій структурі моделі, легкості зміни структури в залежності від представлених вимог є можливість тестувати систему на роботу в не типових режимах. Завдяки можливості моделювання роботи пристрою за допомогою обчислювальної техніки можливо комбінувати виникнення різних типів відмов в різні моменти часу при русі поїздів по станції та створенні маршрутів. Це дає змогу відслідковувати реакцію системи та об'єкту на відмови більш детально.

В залежності від поставлених задач, для математичної моделі роботи схеми вихідного світлофора, в якості вхідної величини можливо додати контроль перегорання ламп світлофора, як внутрішній стани можна додати згаслий світлофор та додатково другий жовтий вогонь. Практична цінність роботи полягає в тому, що використовуючи запропоновану модель при перевірці функціонування систем МПЦ є можливість зна-

чно підвищити надійність роботи систем даного типу та уникнути виникнення небезпечних ситуацій під час їх експлуатації.

Бібліографічний список

1. Бойнік, А. Б. Шляхи підвищення безпеки функціонування станційних мікропроцесорних систем залізничної автоматики / А. Б. Бойнік, В. І. Мойсеєнко // Залізничний транспорт України. – 2010. – № 4. – С. 42–46.
2. Каменєв, О. Ю. Проблематика підходів до дослідження безпеки використання ергатичних систем керування на залізничному транспорті / О. Ю. Каменєв // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – 2013. – Вип. 44. – С. 7–16.
3. Басов, В. І. Мікропроцесорна система централізації МПЦ-У : навчальний посібник для студентів вузів залізничного транспорту. / В. І. Басов, В. В. Єлисеєв, О. В. Петренко, та ін. – К., 2014. – 430 с.
4. Маловічко, В. В. Визначення пріоритетів вибору об'єктів діагностування та контролю електричної централізації з урахуванням затримок поїздів / В. В. Маловічко, Р. В. Рибалка, Н. В. Маловічко, В. В. Мелешко // Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту Української державної академії залізничного транспорту, Вип. №31. – Донецьк, 2012. – с. 57–61.
5. Гаврилюк, В. І. Застосування нейромережних технологій для діагностування стрілочних переводів з двигунами постійного струму / В. І. Гаврилюк, В. Ю. Дуб, В. В. Маловічко // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2010. – № 31. – С. 209–213.
6. Маловічко, В. В. Представлення роботи стрілочного переводу у вигляді дискретного автомату моделі Мура / В. В. Маловічко, Р. В. Рибалка, Н. В. Маловічко, та ін. // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – 2013. – Ном. 6. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2013.

7. Маловічко, В. В. Представлення роботи вихідного сигналу станції у вигляді дискретного автомата/ В. В. Маловічко, Н. В. Маловічко // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – 2016. – Ном. 12. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2016.
8. Інструкція з сигналізації на залізницях України. ЦШ-0001 : Затв.: Наказ Мінтрансу та зв'язку України 23.06.08. № 747 / Мін-во трансп. та зв'язку України. – К., 2009. – 82 с.
9. Сапожников, Вл. В. Станционные системы автоматики и телемеханики : учеб. для вузов ж.-д. трансп. / Вл. В. Сапожников, Б. Н. Елкин, И. М. Кокурин и др. – М.: Транспорт, 1997. – 432 с.
10. Матвієнко, М. П. Комп'ютерна логіка : Навчальний посібник. – К.: Видавництво Ліра-К, 2012. – 288 с.
11. 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. Сапожников. // Под ред. В. В. Сапожникова, 2-е изд., перераб. и доп. – М.: УМК МПС России – 2001. – с. 312.
12. Кирсанов, М. Н. Графы в MAPLE. Задачи, алгоритмы, программы – М.: Издательство ФИЗМАТЛИТ. – 2007. – с. 168.

Ключові слова: електрична централізація, математична модель, безпека функціонування, вихідний світлофор, направлений граф, секвенціальні вирази.

Ключевые слова: электрическая централизация, математическая модель, безопасность функционирования, выходной светофор, направленный граф, секвенциальные выражения.

Keywords: electric interlocking, mathematical model, operation safety, exit light signal, oriented graph, sequential expressions.

Рецензенти:

д.т.н., проф. А. Б. Бойник,
д.ф.-м.н., проф. В. І. Гаврилюк.

Надійшла до редколегії 17.04.2018.

Прийнята до друку 26.04.2018.