

УДК 656.25

МОРОЗ В. П., к.т.н., доцент (УкрДАЗТ);
ЦЕБРО Є. М., студент (УкрДАЗТ).

Розробка методики моделювання елементів та пристроїв залізничної автоматики в мережах Петрі

Мета статті

Запропонувати методику моделювання елементів існуючих систем залізничної автоматики (СЗА) мережами Петрі.

Вступ

Відомо, що СЗА відрізняються значною структурною і функціональною складністю та ієрархічною розподіленістю, отже, відносяться до класу складних систем. Обмеженість можливостей експериментального дослідження складних систем робить актуальною розробку методики їх моделювання, яка б дозволила у відповідній формі представити процеси функціонування систем, надати опис протікання цих процесів за допомогою математичних моделей та отримати результати експериментів з моделями по оцінці характеристик об'єктів, що досліджуються [1]. Як показано в [2], моделювання СЗА доцільно проводити за допомогою мереж Петрі. Модель всієї системи може бути отримана шляхом композиції моделей підсистем і елементів. Таким чином, для моделювання СЗА в мережах Петрі, необхідно розробити адекватні моделі елементів, з яких складаються дані системи.

Постановка задачі

Для розробки методики моделювання, необхідно:

- розглянути основні елементи та пристрої СЗА;
- розглянути існуючі методики моделювання дискретних процесів за допомогою мереж Петрі;

– запропонувати моделі елементів та пристроїв СЗА;

– довести адекватність отриманих моделей.

Основна частина

Відомо [1, 3, 4], що мережа Петрі являє собою п'ятірку: (P, T, I, O, M) , де P – кінцева множина позицій, T – кінцева множина переходів, I – вхідна функція, O – вихідна функція, M – маркування мережі Петрі. Мережа Петрі дозволяє представити процес, що досліджується у вигляді потоку подій. Події – це дії, що мають місце в системі. Зв'язок між подіями встановлюється за допомогою умов. Подія може відбутись при виконанні всіх умов, від яких ця подія залежить. Подіям відповідають переходи, а умовам – позиції мережі Петрі. Графічно мережа Петрі може бути представлена за допомогою розміченого дводольного орієнтованого графу.

Розглянемо два різних підходу до моделювання дискретних процесів за допомогою мереж Петрі:

– представлення процесу за допомогою блок-схеми та перетворення отриманої блок-схеми в мережу Петрі;

– декомпозиція процесу на множини подій та умов і встановлення зв'язків між елементами цих множин.

Перший підхід базується на представленні процесу алгоритмом (блок-схемою). Методику представлення блок-схем мережами Петрі наведено в [3, 4]. Відомо, що блок-схеми складаються з вузлів та дуг, що їх об'єднують. Існують два основних типи вузлів в блок-схемах: обчислення та прийняття рішення. На рисунках 1, а та 1, б наведено, відповідно, пе-

ревід вузлів обчислення та прийняття рішення в мережу Петрі. При переведенні елементів блок-схеми в мережу Петрі, вузли блок-схеми замінюються на переходи мережі Петрі, а дуги блок-схеми – на по-

зиції мережі Петрі. Кожна дуга блок-схеми відповідає точно одній позиції в мережі Петрі. Вузли блок-схеми представляються по різному, в залежності від їхнього типу.

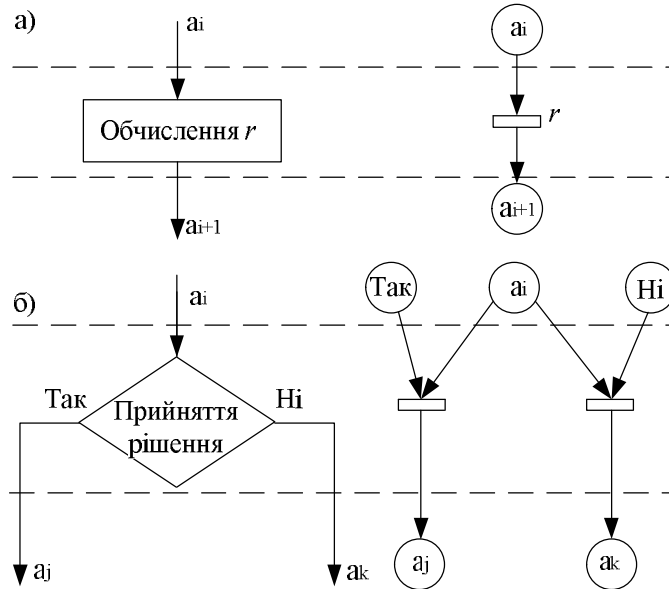


Рис. 1. Переведення елементів блок-схеми в мережу Петрі

Другий підхід [3] базується на виявленні подій та умов (станів), з яких складається досліджуваний процес та встановленні зв'язків між цими подіями та умовами. Мережа Петрі, що моделює досліджуваний процес, будується шляхом зображення кожної умови за допомогою позиції, а кожної події за допомогою переходу. Зв'язки між подіями та умовами зображуються у вигляді дуг дводольного

графу, що зв'язують відповідні позиції та переходи.

Розглянемо релейні елементи СЗА з позицій моделювання в мережах Петрі.

Нейтральне електромагнітне реле [5] – це реле, робота якого не залежить від напрямку струму, що протікає по його обмотці. Позначення нейтрального реле та його контактів наведено на рисунку 2.

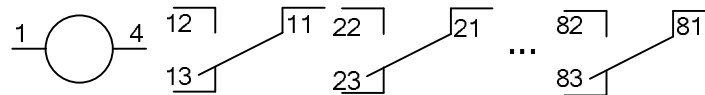


Рис.2. Позначення нейтрального реле та його контактів

Відомо, що реле має два стани: під струмом та знеструмлений. Якщо до обмотки реле прикладена напруга – U_{ϕ} , що дорівнює або перевищує напругу надійного спрацьовування – $U_{нс}$: то реле спрацьовує, та замикаються загальні і фронтові контакти. Якщо напруга на обмотці реле

менше або дорівнює напрузі надійного повернення – $U_{нп}$: то реле переходить в знеструмлений стан, та замикаються загальні і тилові контакти. Описаний процес може бути представлений алгоритмом, який наведено на рисунку 3, а.

Використовуючи перший підхід до моделювання дискретних процесів за допомогою мереж Петрі, даний алгоритм було перетворено в мережу Петрі та отримано модель, яку зображено на рисунку 3, б. Підписи блоків алгоритму (рисунк 3, а) в дужках містять назви відповідних переходів мережі Петрі (рисунк 3, б), а номери дуг алгоритму (рисунк 3, а) ві-

дповідають номерам позицій мережі Петрі (рисунк 3, б). Деякі позиції мережі Петрі (рисунк 3, б) мають позначення у вигляді логічних виразів, наприклад: $U_{\phi} \geq U_{nc}$. Поява фішки в даних позиціях інтерпретується як виконання відповідної логічної умови.

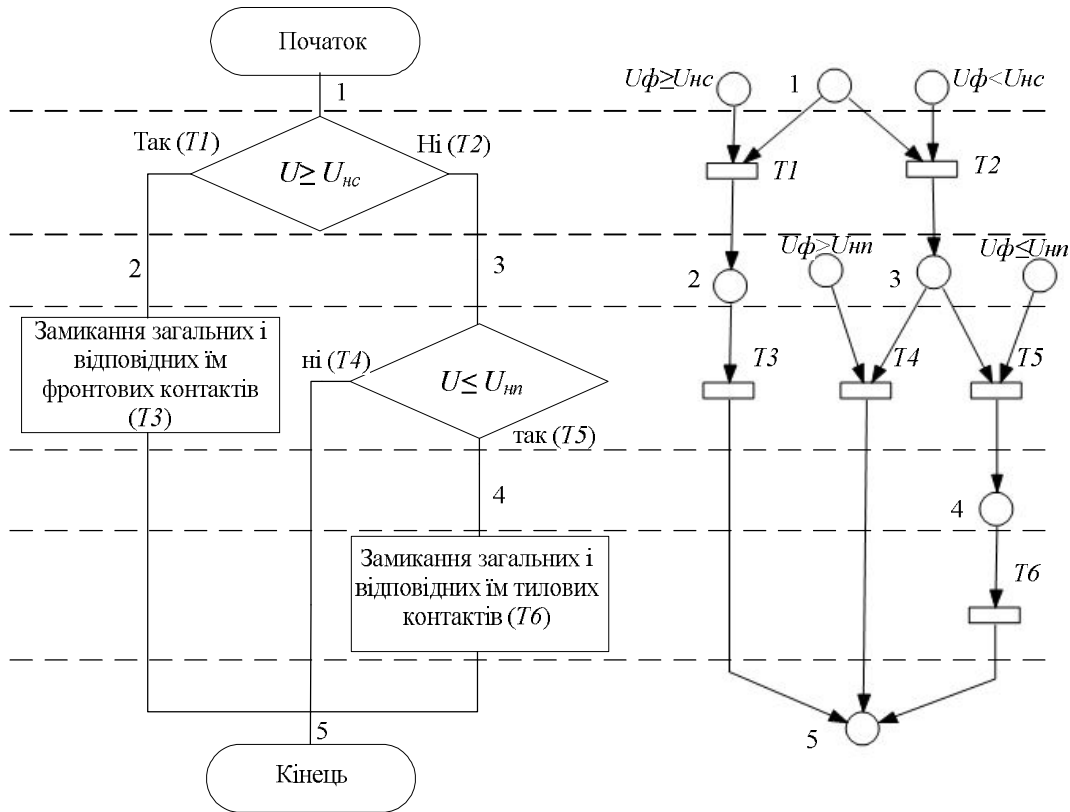


Рис. 3. Алгоритм функціонування нейтрального реле та відповідна йому мережа Петрі

Отримана мережа Петрі дозволяє моделювати алгоритм функціонування реле, але має суттєвий недолік – не несе інформацію про стан реле та його контактів у конкретний момент часу.

Проведемо моделювання процесу функціонування реле за допомогою другого підходу. Спочатку визначимо події, що мають місце в процесі функціонування реле:

1. Замикання контактів загальних (11, 21, ..., 81) та тилових (13, 23, ..., 83), відповідно.

2. Замикання контактів загальних (11, 21, ..., 81) та фронтних (12, 21, ..., 82), відповідно;

Тепер визначимо умови:

1. $U_{\phi} \leq U_{nt}$;
2. $U_{\phi} \geq U_{nc}$;
3. Замкнені контакти загальні і тилові;
4. Замкнені контакти загальні і фронтні.

Зв'язки між подіями та умовами, тобто визначення перед- і постумов для кожної події наведено в таблиці 1.

Таблиця 1
Зв'язки між подіями та умовами при функціонуванні нейтрального реле

Подія	Передумови	Постумови
1	1 4	1 3
2	2 3	2 4

Поставивши у відповідність кожній умові позицію, а кожній події – перехід, отримаємо мережу Петрі (рисунок 4).

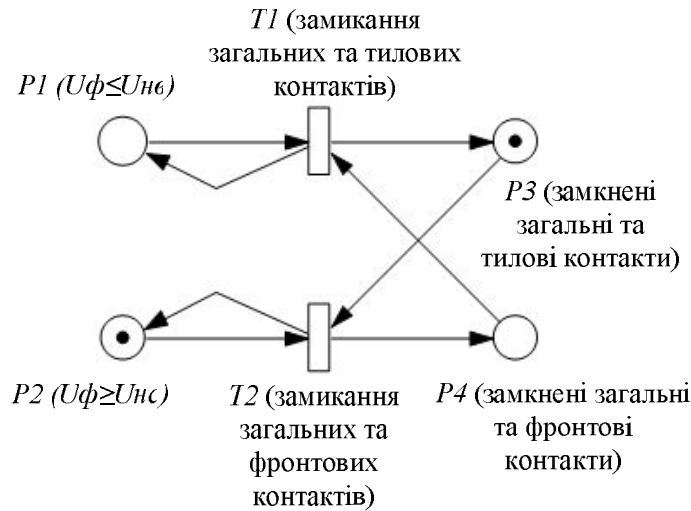


Рис. 4. Модель нейтрального реле в мережах Петрі

Переходи в даній мережі Петрі відповідають подіям:

- $T1$ відповідає події 1;
- $T2$ відповідає події 2.

Позиції в даній мережі Петрі відповідають умовам:

- $P1$ відповідає умові 1;
- $P2$ відповідає умові 2;
- $P3$ відповідає умові 3;
- $P4$ відповідає умові 4.

Початкове маркування отриманої мережі Петрі: $M=(0, 1, 1, 0)$ відповідає знеструмленому стану реле і прикладенні до обмотки реле напруги $U \geq U_{нс}$. В даному маркуванні єдиним дозволеним переходом є $T2$. При спрацюванні цього переходу, фішка із позиції $P3$ видаляється, а в позицію $P4$ додається. Ця подія відповідає збудженню реле. Аналогічно при початковому маркуванні $M=(1, 0, 0, 1)$, що відповідає збудженому стану реле та зменшенні напруги на обмотках реле до рівня $U_{нт}$: спрацьовує перехід $T1$, при цьому із

позиції $P4$ фішка видаляється, а в позицію $P3$ – додається. Дана подія відповідає знеструмленню реле.

Умови, що представляються позиціями $P1$ та $P2$ виключають одна одну, тому одночасно в цих позиціях не повинно бути фішок.

Отримана модель дозволяє описати причинно-наслідкові зв'язки між напругою на обмотці реле та положенням контактів, а отже і описати процес функціонування реле. Перевагами даної моделі, у порівнянні з попередньою, є неперервне відображення стану реле, а також незначні її розміри.

В СЗА широко використовуються нейтральні реле з двома обмотками, що увімкнені в різні кола, наприклад, реле НПС в схемах керування стрілкою. Позначення реле даного типу та його контактів наведено на рисунку 5, а. По аналогії з тим, як це було запропоновано для нейтрального реле з послідовно увімкненими обмотками, для даного типу реле було ви-

значено множини подій та умов, а також встановлено зв'язки між елементами цих множин. У результаті отримано мережу Петрі, що моделює процес функціонуван-

ня нейтрального реле з двома обмотками, які включені в різні кола (рисунок 5, б).

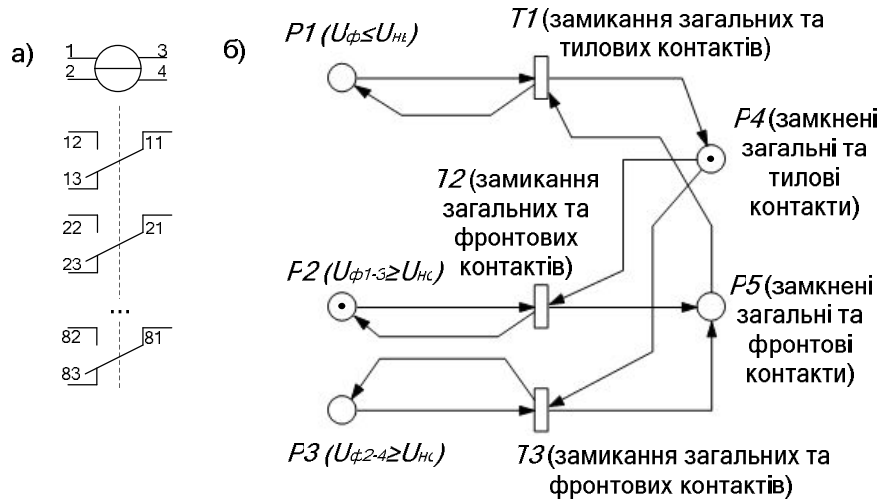


Рис. 5. Умовне позначення нейтрального реле з двома обмотками та відповідна мережа Петрі

Дана мережа Петрі відрізняється від мережі, яку наведено на рисунку 4 тим, що в новій мережі подія, яка імітує замикання загальних та фронтних контактів, моделюється двома переходами: $T2$ та $T3$. Виникнення даної події (спрацювання одного з переходів) може відбутися при знаходженні фішки в позиції $P2$ або $P3$, що інтерпретується як прикладання напруги надійного спрацювання до обмотки 1-3 або 2-4 відповідно.

прикладанні напруги надійного спрацювання до обмотки 1-3.

Початкове маркування (рисунок 5, б) відповідає знеструмленому стану реле та

Поляризоване реле – це реле, стан якого залежить від напрямку струму, що проходить по його обмоткам [5]. Позначення поляризованого реле і його контактів наведено на рисунку 6, а. Аналогічно, як це було запропоновано при моделюванні нейтрального реле, визначено події та умови, що мають місце при функціонуванні поляризованого реле, встановлено між ними зв'язки та створено мережу Петрі, яку наведено на рисунку 6, б.

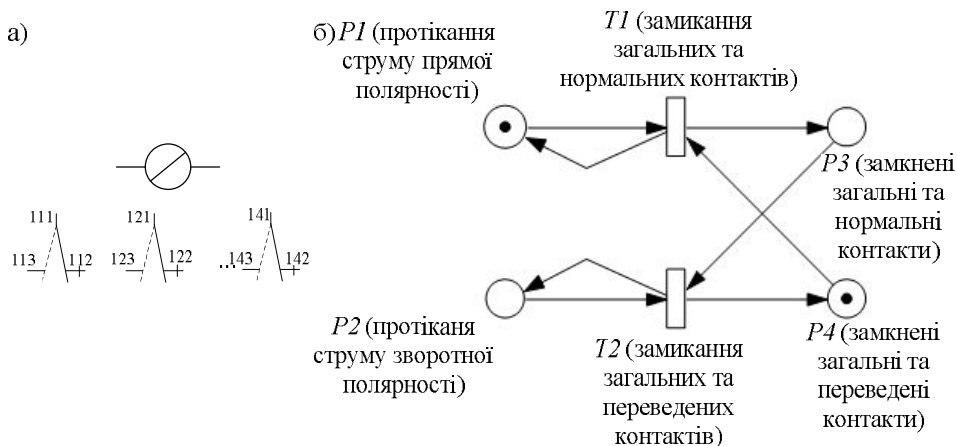


Рис. 6. Умовне позначення поляризованого реле та відповідна мережа Петрі

Вихідне маркування відповідає знаходженню якоря в переведеному положенні та протіканні струму прямої полярності по обмотках реле. Структура та виконання даної мережі Петрі аналогічні структурі та виконанню мережі, яку зображено на рисунку 4. Відмінності цих двох мереж полягають лише у різній інтерпретації подій та умов, що зображуються за допомогою переходів та позицій.

Комбіноване реле [5] – це поєднання нейтрального та поляризованого реле із загальною магнітною системою. Дане реле має нейтральний та поляризований якорі. Позначення реле та його контактів наведено на рисунку 7, а. Мережу Петрі для моделювання даного реле (рисунком 7, б) було створено аналогічно попереднім.

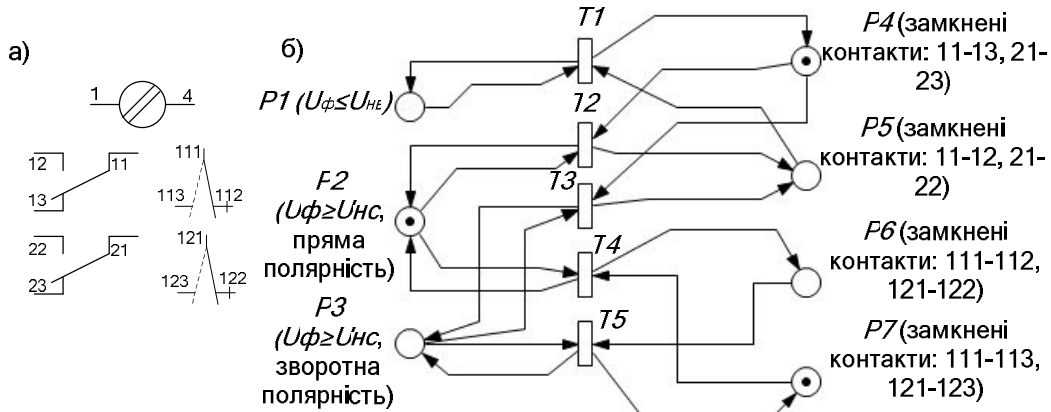


Рис. 7. Умовне позначення поляризованого реле та відповідна мережа Петрі

Отримана модель містить наступні позиції та переходи:

- *T1*: замикання контактів загальних та тилових (11-13, 21-23);
- *T2, T3*: замикання контактів загальних та фронткових (11-21, 21-22);
- *T4*: замикання контактів загальних та нормальних (111-112, 121-122);
- *T5*: замикання контактів загальних та переведених (111-113, 121-123);
- *P1*: до обмоток прикладена напруга $U_{\phi} \leq U_{нє}$;
- *P2*: прикладання напруги надійного спрацьовування прямої полярності до обмоток реле;
- *P3*: прикладання напруги надійного спрацьовування зворотної полярності до обмоток реле;
- *P4*: нейтральний якорь відпущений, замкнені контакти загальні та тилові;
- *P5*: нейтральний якорь притягнутий, замкнені загальні та фронткові контакти;
- *P6*: поляризований якорь у нормальному положенні, замкнені контакти загальні та нормальні;

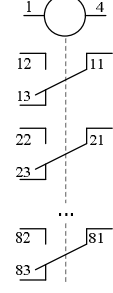
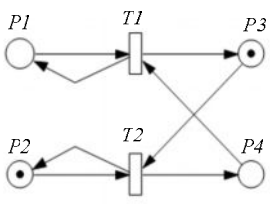
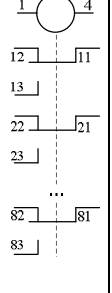
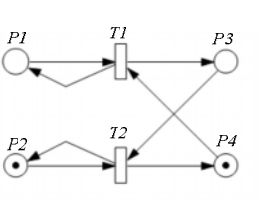
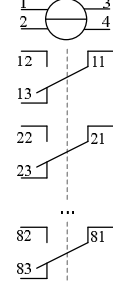
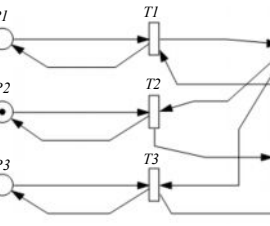
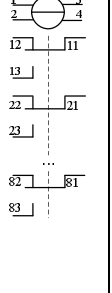
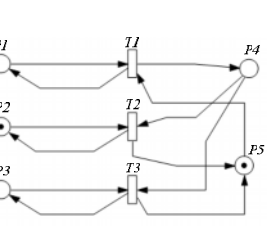
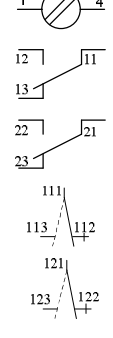
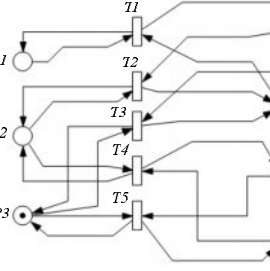
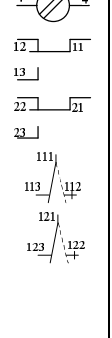
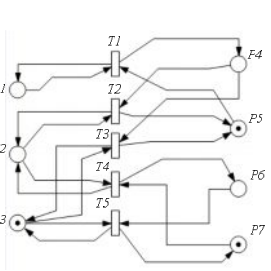
– *P7*: поляризований якорь у переведеному положенні, замкнені контакти загальні та переведені.

Початкове маркування даної мережі $M=(0, 1, 0, 1, 0, 0, 1)$ відповідає знеструмленому стану реле (рисунком 7, б), при якому замкнені загальні та тилові контакти нейтральної системи (*P4*) та загальні й переведені контакти поляризованої системи (*P7*), а також прикладанні до обмоток реле напруги надійного спрацьовування прямої полярності. У даному маркуванні дозволеними переходами є: *T2* та *T4*. При спрацьованні даних переходів видаляються фішки з позицій *P4* і *P7* та одночасно в позиції *P5* та *P6* надходить по одній фішці.

Для доведення адекватності отриманих моделей реле залізничної автоматики було проведено аналіз виконання відповідних мереж Петрі при початкових маркуваннях, що можуть виникнути в процесі моделювання (таблиця 2).

Таблиця 2

Аналіз можливих станів мереж Петрі, що моделюють реле залізничної автоматики

Умовне позначення реле та його контактів до спрацювання	Вихідний стан розміченої мережі при $U\phi \geq U_{нс}$	Умовне позначення реле та його контактів після спрацювання	Стан розміченої мережі після спрацювання всіх можливих переходів при $U\phi \geq U_{нс}$	Графи досяжності мереж для початкових маркувань, що можуть мати місце при моделюванні
				$\begin{aligned} (0, 1, 1, 0) &\xrightarrow{T2} (0, 1, 0, 1) \\ (1, 0, 0, 1) &\xrightarrow{T1} (1, 0, 1, 0) \end{aligned}$
				$\begin{aligned} (0, 1, 0, 1, 0) &\xrightarrow{T2} (0, 1, 0, 0, 1) \\ (0, 0, 1, 1, 0) &\xrightarrow{T3} (0, 0, 1, 0, 1) \\ (1, 0, 0, 0, 1) &\xrightarrow{T1} (1, 0, 0, 1, 0) \end{aligned}$
				$\begin{aligned} &(0, 0, 1, 1, 0, 0, 1) \xrightarrow{T7} (1, 0, 0, 0, 1, 1, 0) \\ &(0, 1, 0, 1, 0, 0, 0) \xrightarrow{T5} (0, 0, 1, 0, 1, 0, 1) \\ &(0, 1, 0, 1, 0, 0, 0) \xrightarrow{T2} (1, 0, 0, 0, 1, 0, 0) \\ &(0, 1, 0, 1, 0, 0, 0) \xrightarrow{T4} (0, 0, 1, 0, 1, 0, 1) \\ &(0, 1, 0, 1, 0, 0, 0) \xrightarrow{T3} (0, 0, 1, 0, 1, 0, 1) \\ &(0, 1, 0, 1, 0, 0, 0) \xrightarrow{T1} (1, 0, 0, 1, 0, 0, 0) \end{aligned}$

Висновки

Представлена методика моделювання дискретних процесів в мережах Петрі дозволяє надати опис функціонування елементів СЗА.

Отримані моделі релейних елементів можуть бути використані в подальшому для моделювання підсистем і систем залізничної автоматики.

Література

1. Советов Б. Я. Моделирование систем: учеб. для вузов / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. – М.: Высш. шк., 2001. – 343 с.
2. Мороз В. П. Аналіз методів моделювання асинхронних паралельних процесів / В. П. Мороз, Є. М. Цebro // Зб. наук. праць. – Донецьк.: ДонІЗТ, 2012. – Вип. 29. – С. 44-48.
3. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем: Пер. с англ. / Дж. Питерсон. – М.: Мир, 1984. – 264 с.
4. Автоматное управление асинхронными процессами в ЭВМ и дискретных системах / В. И. Варшавский, М. А. Кишиневский, В. Б. Мараховский [и др.]; под ред. В. И. Варшавского. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 400с.
5. Теоретические основы железнодорожной автоматики и телемеханики:

Учебник для вузов / А. С. Переборов, А. М. Брылеев, В. В. Сапожников [и др]; под ред. А. С. Переборова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1984. – 384 с.

Анотації:

Запропоновано методику моделювання елементів систем залізничної автоматики в мережах Петрі. Розроблено моделі релейних елементів залізничної автоматики.

Предложена методика моделирования элементов систем железнодорожной автоматики в сетях Петри. Разработаны модели релейных элементов железнодорожной автоматики.

The method of modeling of railway automation system elements was proposed. The models of the relay elements of railway automation systems were developed.

Ключові слова: мережа Петрі, реле